

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

**SULARIN DEZENFEKSİYONUNDA KULLANILAN  
YÜKSELTGEN CİNSİNE BAĞLI OLARAK OLUŞAN  
İSTENMEYEN YAN ÜRÜNLERİN UYGUN  
YÖNTEMLERLE GİDERİLMESİ**

**Nur TAŞKIN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ**

**Mayıs 2016  
ÇORUM**

Nur TAŞKIN tarafından hazırlanan “Suların Dezenfeksiyonunda Kullanılan Yükseltgen Cinsine Bağlı Olarak Oluşan İstenmeyen Yan Ürünlerin Uygun Yöntemlerle Giderilmesi” adlı tez çalışması 16./05./2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy~~ çoğunluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora tezi~~ olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Feza GEYİKÇİ

Yrd. Doç. Serap FINDIK

Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ



Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 18/05/2016 tarih ve 2016/100..sayılı kararı ile Nur TAŞKIN’ın Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans / ~~Doktora~~ derecesi alması onanmıştır.



Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**TEZ BEYANI**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.



Nur TAŞKIN

**SULARIN DEZENFEKSİYONUNDA KULLANILAN YÜKSELTGEN  
CİNSİNE BAĞLI OLARAK OLUŞAN İSTENMEYEN YAN ÜRÜNLERİN  
UYGUN YÖNTEMLERLE GİDERİLMESİ**

NUR TAŞKIN

HİTİT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2016

**ÖZET**

İçme ve kullanma sularında bulunan bromür iyonu dezenfektan özelliğine bağlı olarak bromat iyonuna dönüşmektedir. İnsani tüketim amaçlı kullanılacak suyun 3  $\mu\text{g/L}$ ' nin üzerinde bromat iyonu içermesi durumunda kanserojen özellik taşıdığı Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda doğal su kaynaklarında bromür içeren sulara rastlanmaktadır. Özellikle ambalajlı suların dezenfeksiyonunda ozon tercih edilmesi sonucu bromür iyonu bromat iyonuna dönüşmektedir. Bu çalışmada olumsuz yan ürün olan bromat iyonu giderimi için uygun yöntemlerden adsorpsiyon kullanılmıştır.

Adsorban olarak saf aktif karbon ve modifiye edilmiş granüler aktif karbon kullanılmıştır. Modifikasyon işleminde HCl, NaOH ve  $\text{NH}_3$  tercih edilmiştir. Modifikasyon ürünleri üzerinde SEM, FT-IR, BET analizleri yapılmıştır. Farklı özellikteki aktif karbonlar, çapları 1,2,3 cm ve yükseklikleri 2,5,10 cm arasında değişen farklı çap ve farklı kolon yüksekliklerinde farklı adsorban boyutlarında dolgu malzemesi kullanılarak değişik akış hızlarında kesikli çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalar öncelikle 350-2000  $\mu\text{g}$  bromat iyonu/L arasında 4 farklı derişimde, 200-1000  $\mu\text{g}$  bromür iyonu/L arasında değişen 3 farklı derişimde sentetik olarak

hazırlanan bromür ve bromat iyonu çözeltileri kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra bölgesel içme suyu kaynaklarından alınan numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Sentetik bromür iyonu çözeltileri yeterli düzeyde ozonlamaya tabi tutularak bromat iyonu oluşumu gerçekleştirilmiş bunun yanı sıra sentetik bromat iyonu çözeltileri çalışmada direk kullanılmıştır. Bu çözeltilerdeki bromat miktarları tayin edildikten sonra hazırlanan farklı aktif karbon kolonlarında giderim sağlanmıştır.

Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki en uygun adsorban  $\text{NH}_3$  modifikasyon ile elde edilen aktif karbondur. Bu adsorban ile 2 cm çap ve 10 cm yüksekliğindeki 25 ml/dk akış hızı koşullarında hazırlanan kolondan elde edilen bromat iyonu giderim yüzdesi % 99,4 değerine kadar çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bromat iyonu giderimi, aktif karbon, modifikasyon

**REMOVAL OF UNDESIRED BY-PRODUCTS FORMED DUE TO TYPE OF  
OXIDIZERS USED IN WATER DISINFECTION BY APPROPRIATE  
METHODS**

NUR TAŞKIN

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2016

**ABSTRACT**

Bromide ion in drinking and potable waters is transformed into bromate ions depending on the disinfectant. The water used for human consumption is defined as carcinogenic by World health organization, if it contains more than 3 µg/L bromate ions. Previous studies in literature show that the natural water sources may contain bromide ion. Especially, as a result of using ozone disinfection in bottled waters, bromide ions are converted into bromate ions. In this study, adsorption is used for removal of unwanted bromate ions.

Pure activated carbon and modified granular activated carbon were used as an adsorbent. HCl, NaOH and NH<sub>3</sub> were used in the modification process. SEM, FT-IR and BET analysis were performed on adsorbents. A series of batch adsorption columns were used in order to evaluate the performances of adsorbents and operating conditions. Activated carbons with different characteristics were tested by using various column diameters (between 1 – 3 cm) and column heights (between 2 – 10 cm). Effect of flow rate and adsorbent dimensions were also tested.

Experiments were conducted by using synthetically prepared four different bromate ion solutions which were in the range of 350 – 2000 µg/L and three different synthetically prepared bromide ion solutions which were in the range of 200 – 1000

$\mu\text{g/L}$ . Experiments were also conducted by using samples taken from the local drinking water supply. Synthetically prepared bromide ion solutions were subjected to ozone in order to produce bromate ion solutions. Additionally, synthetically prepared bromate ion solutions were used directly. Bromate ion concentration in these solutions was determined analytically and then were removed by using different adsorbents and operating conditions.

The results show that the activated carbon modified using  $\text{NH}_3$  was the optimal adsorbent for bromate ion removal. When this adsorbent used in a column with a diameter of 2 cm and a height of 10 cm, the bromate ions removal percentage was up to 99.4 with a 25ml/min liquid flow rate.

**Keywords:** Bromate ion removal, activated carbon, modification

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca desteğini esirgemeyen ve tecrübelerinden yararlandığım değerli tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADURMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince manevi desteği ve sağladığı kolaylıklar için çalışmakta olduğum Deniz Yalıtım Şirket Müdürü Yurdagül SİVRİ'ye teşekkür ederim.

Tezimin deneysel çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan Arzu PORTAKAL ve Hasret KANOĞLU'na, konuşmaları ile beni motive eden ablam Çağlar FIRAT'a, ilgi ve desteği ile her zaman yanımda olan arkadaşım Emel ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde her türlü desteği sağlayan, hayatım boyunca bana olan güvenlerini her zaman hissettiğim ve hayatıma anlam katan annem Şengül TAŞKIN, babam Kadir TAŞKIN ve kardeşim Burcu TAŞKIN'a içtenlikle teşekkür ediyorum ve bu yüksek lisans tezimi çok sevgili aileme ithaf ediyorum.



**Bu tez çalışmasına, MUH19004.13.003 numaralı proje kapsamında vermiş oldukları destekten dolayı, Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatrlği'ne teşekkür ederiz.**

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vii
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiiiiv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
RESİMLER DİZİNİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xviii
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1. İçme Suyu .....	3
2.2. İçme Suyu Kaynakları .....	3
2.3. İçme Suyu Kalitesi ve Standartları.....	4
2.4. Dezenfeksiyon.....	7
2.5. Dezenfeksiyon Yöntemleri .....	9
2.5.1. Isıyla dezenfeksiyon.....	10
2.5.2. Ultraviyole (UV) ışınlarıyla dezenfeksiyon .....	10
2.5.3. Asitler ve alkalilerle dezenfeksiyon.....	10
2.5.4. Potasyum permanganatla dezenfeksiyon .....	10
2.5.5. Metal iyonlarıyla dezenfeksiyon .....	11
2.5.6. Yüzey aktif kimyasal maddelerle dezenfeksiyon .....	11
2.5.7. Klorla dezenfeksiyon .....	11

2.5.8. Ozonla dezenfeksiyon .....	14
2.6. Klorlama ve Ozonlama Sonucu Oluşan Dezenfeksiyon Yan Ürünleri .....	18
2.7. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Dezenfeksiyon Öncüllerinin Giderimi .....	23
2.7.1. Koagülasyon yöntemi ile giderim .....	23
2.7.2. Membran filtrasyon yöntemi ile giderim .....	24
2.7.3. Adsorpsiyon yöntemi ile giderim .....	24
2.7. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Dezenfeksiyon Öncüllerinin Giderimi İle İlgili Çalışmalar .....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Aktif Karbon Modifikasyonları .....	35
3.1.1. Saf aktif karbonun hazırlanması .....	36
3.1.2. Aktif karbonun HCl ile modifikasyonu .....	36
3.1.3. Aktif karbonun NaOH ile modifikasyonu .....	36
3.1.4. Aktif karbonun NH <sub>3</sub> ile modifikasyonu .....	36
3.2. Sentetik Çalışmalar .....	37
3.3. Bölgesel İçme Suyu Kaynaklarıyla Yapılan Çalışmalar .....	41
3.4. Bromat İyonu Ölçüm Yöntemi .....	41
4. SONUÇLAR.....	43
4.1. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin SEM Görüntüleri .....	43
4.2. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin FT-IR Sonuçları.....	47
4.3. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin Yüzey Alanı Ölçüm Sonuçları .....	49
4.4. Sentetik Çalışmaların Sonuçları.....	49
4.5. Bölgesel İçme Suyu Kaynaklarıyla Yapılan Çalışmaların Sonuçları.....	56
5. DEĞERLENDİRME.....	57

KAYNAKLAR.....70

ÖZGEÇMİŞ.....76



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1.</b> TS 266, DSÖ, EPA ve EC'ye göre içme suyu kalite parametreleri.....	6
<b>Çizelge 2.2.</b> Evsel atıksularda bulunması muhtemel hastalık yapıcı mikroorganizmalar .....	8
<b>Çizelge 2.3.</b> Dezenfektan maddelerin özellikleri.....	9
<b>Çizelge 2.4.</b> Çeşitli pH değerlerinde HOCl ve OCl <sup>-</sup> oranları.....	12
<b>Çizelge 2.5.</b> Ozonun sıcaklığa bağlı suda çözünürlükleri.....	17
<b>Çizelge 2.6.</b> Ozonun fizikokimyasal özellikleri .....	17
<b>Çizelge 2.7.</b> Bazı oksidasyon ajanlarının bağlı oksidasyon potansiyelleri .....	18
<b>Çizelge 2.8.</b> Klorlama sonucu oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri ve DSÖ'ye göre limit değerleri .....	20
<b>Çizelge 2.9.</b> Ozonlama sonucu oluşan önemli dezenfeksiyon yan ürünleri .....	21
<b>Çizelge 2.10.</b> Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar.....	26
<b>Çizelge 3.1.</b> Ozon ölçüm cihazı için mV-ppm O <sub>3</sub> dönüşüm değerleri .....	38
<b>Çizelge 3.2.</b> Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonu miktarları.....	39
<b>Çizelge 3.3.</b> Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonlarının gideriminde kullanılan granüler aktif karbon kolonlarının özellikleri .....	39
<b>Çizelge 3.4.</b> Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonlarının gideriminde kullanılan iyon değiştirici kolonun özellikleri .....	39
<b>Çizelge 3.5.</b> Bromat iyonu gideriminde aktif karbon modifiyesinin etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri .....	40
<b>Çizelge 3.6.</b> Bromat iyonu gideriminde farklı kolon yüksekliklerinin etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri .....	40

<b>Çizelge 3.7.</b> Bromat iyonu gideriminde farklı kolon çaplarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri .....	40
<b>Çizelge 3.8.</b> Bromat iyonu gideriminde farklı akış hızlarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri .....	40
<b>Çizelge 3.9.</b> Bromat iyonu gideriminde farklı aktif karbon boyutlarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri .....	41
<b>Çizelge 3.10.</b> Bölgesel içme suyu kaynaklarında ozonlama ile oluşan bromat iyonunun gideriminde kullanılan kolonun özellikleri.....	41
<b>Çizelge 4.1.</b> Saf ve modifiye edilmiş aktif karbonların BET yüzey alanları .....	49
<b>Çizelge 4.2.</b> Bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması sonucu oluşan bromat iyonlarının aktif karbon kolonu ile giderim sonuçları .....	50
<b>Çizelge 4.3.</b> Bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması sonucu oluşan bromat iyonlarının iyon değiştirici reçine kullanılarak giderim sonuçları .....	50
<b>Çizelge 4.4.</b> Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde aktif karbon modifikasyonlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar .....	51
<b>Çizelge 4.5.</b> Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı kolon yüksekliği kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar.....	52
<b>Çizelge 4.6.</b> Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı kolon çaplarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar .....	53
<b>Çizelge 4.7.</b> Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı akış hızlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar .....	54
<b>Çizelge 4.8.</b> Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı boyutlarda aktif karbon kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar ....	55
<b>Çizelge 4.9.</b> Çorum ili içme suyu kaynaklarına ait su örneklerinde yapılan bromür ve bromat iyonu analiz sonuçları .....	56
<b>Çizelge 5.1.</b> Çizilen farklı izotermlere ait korelasyon katsayıları .....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Temiz sulardaki serbest kalıntı klor grafiği.....	13
Şekil 2.2. Temiz olmayan sulardaki kırılma noktası grafiği .....	14
Şekil 2.3. Ozonun rezonans yapısı .....	14
Şekil 2.4. Doğal ozon oluşum mekanizması .....	15
Şekil 2.5. Yapay ozon oluşum meknizması .....	16
Şekil 2.6. Ozonlama sonucu oluşan önemli yan ürünlerin reaksiyonları.....	21
Şekil 2.7. Bromür iyonu içeren sulardaki ozon ve hidroksil iyonları ile açığa çıkan bromlanmış yan ürünlerin oluşma mekanizmaları .....	22
Şekil 2.8. Sabit sıcaklık adsorpsiyonlarının bazı yaygın tipleri .....	27
Şekil 3.1. Bromat iyonu giderimi için kullnılan dikey granüler aktif karbon kolonu .....	34
Şekil 3.2. Ozon ölçüm cihazı için mV-ppm O <sub>3</sub> kalibrasyon eğrisi .....	38
Şekil 4.1. Aktif karbon modifikasyonlarının bromat iyonu giderimindeki etkisi .....	51
Şekil 4.2. Kolon yüksekliğinin bromat iyonu giderimindeki etkisi .....	52
Şekil 4.3. Kolon çapının bromat iyonu giderimindeki etkisi .....	53
Şekil 4.4. Akış hızının bromat iyonu giderimindeki etkisi .....	54
Şekil 4.5. Aktif karbon boyutunun bromat iyonu giderimindeki etkisi.....	55
Şekil 5.1. AK-0 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izotermeler .....	58
Şekil 5.2. AK-2 ve AK-1 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izotermeler.....	59
Şekil 5.3. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Lineer izotermeler .....	59
Şekil 5.4. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Lineer izotermeler (1, 2 cm) .	59

<b>Şekil 5.5.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (3 cm) .....	60
<b>Şekil 5.6.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (10 ml/dk).....	60
<b>Şekil 5.7.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (25, 50 ml/dk).....	60
<b>Şekil 5.8.</b> Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izoterm .....	61
<b>Şekil 5.9.</b> AK-0 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi .....	61
<b>Şekil 5.10.</b> AK-1 ve AK-2 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi .....	61
<b>Şekil 5.11.</b> Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (2, 10 cm) .....	62
<b>Şekil 5.12.</b> Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (5 cm) .....	62
<b>Şekil 5.13.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (1 cm).....	62
<b>Şekil 5.14.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (2 cm).....	63
<b>Şekil 5.15.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (3 cm).....	63
<b>Şekil 5.16.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (10 ml/dk).....	63
<b>Şekil 5.17.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (25, 50 ml/dk) .....	64
<b>Şekil 5.18.</b> Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (25, 50 ml/dk) .....	64
<b>Şekil 5.19.</b> AK-0 ve AK-2 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi .....	64
<b>Şekil 5.20.</b> AK-1 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi .....	65



<b>Şekil 5.21.</b> Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (2,10 cm) .....	65
<b>Şekil 5.22.</b> Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (5 cm) .....	65
<b>Şekil 5.23.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (1 cm).....	66
<b>Şekil 5.24.</b> Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (2,3 cm) .....	66
<b>Şekil 5.25.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (10, 50 ml/dk) .....	66
<b>Şekil 5.26.</b> Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri (25 ml/dk).....	67
<b>Şekil 5.27.</b> Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri.....	67

**RESİMLER DİZİNİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1.</b> SEM cihazı .....	35
<b>Resim 3.2.</b> Laboratuvar tipi ozon cihazı .....	37
<b>Resim 3.3.</b> Bromat iyonu ölçümü için kullanılan HPLC.....	42
<b>Resim 4.1.</b> AK-0'ın SEM görüntüleri .....	43
<b>Resim 4.2.</b> AK-1'in SEM görüntüleri .....	44
<b>Resim 4.3.</b> AK-2'nin SEM görüntüleri .....	45
<b>Resim 4.4.</b> AK-3'ün SEM görüntüleri .....	46
<b>Resim 4.5.</b> AK-0'ın FT-IR sonucu.....	47
<b>Resim 4.6.</b> AK-1'in FT-IR sonucu.....	47
<b>Resim 4.7.</b> AK-2'nin FT-IR sonucu.....	48
<b>Resim 4.8.</b> AK-3'ün FT-IR sonucu .....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

h	Kolon yüksekliği
R	Kolon çapı,
M	Kolondaki aktif karbon miktarı
V	Akış hızı
$C_0$	Başlangıç derişimi
$C_e$	Adsorpsiyon sonrası derişim
X	Adsorplanan derişim
$q_e$	Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi

### Kısaltmalar

AK-0	Saf granüler aktif karbon
AK-1	HCl ile modifiye edilmiş gramüler aktif karbon
AK-2	NaOH ile modifiye edilmiş gramüler aktif karbon
AK-3	NH <sub>3</sub> ile modifiye edilmiş gramüler aktif karbon
AOC	Özümsenebilir organik karbon
BET	Brunauer, Emmet ve Teller
DOM	Doğal organik maddeler
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
DYÜ	Dezenfeksiyon yan ürünleri
EBCT	Boş yatak temas süresi
EC	Avrupa Birliği
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
FT-IR	Fourier Transform Infrared
HAA	Haloasetikasit
RSSCT	Küçük ölçekli dik bir kolon test metodu
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
THM	Trihalometanlar

TS  
UV

Türk Standartları  
Ultraviyole



## 1. GİRİŞ

Su insanların hayatta kalabilmesi ve sağlıklı yaşayabilmesi için zorunludur ve ekonominin birçok sektörü için önemlidir. Yüzölçümü 510.000.000 km<sup>2</sup> olan dünyanın %29,2'si karalar, %70,8'i sularla kaplıdır. 361.000.000 km<sup>2</sup> alan kaplayan suyun %97,4'ü deniz ve okyanus gibi tuzlu sular, %2,6'sı ise tatlı sulardır. Bu sınırlı miktardaki tatlı sularında tamamı her an kullanıma hazır bulunmamaktadır. Tatlı suların ise %2,0'ı kutuplardaki buzullar, %0,58'i yer altı suları, %0,02'si göller ve nehirler, %0,0001'i atmosferdeki buhardır.

Dünyadaki hızla artan nüfus, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerle tatlı su ihtiyacı da artmaktadır. Artan bu su ihtiyacına karşın çevre kirlenmesi ve halkın bilinçsiz tüketimi sonucu sınırlı olan bu tatlı su kaynakları da tehdit altındadır. Son yıllarda oluşan bu ciddi tehdit ile birlikte su kullanımı ile ilgili bilinç artsa bile bu yeterli olmamaktadır. Su yönetimi ve kullanımı hakkında daha iyi karar vermeli ve bu konudaki çalışmalar arttırılmalıdır. Tarımda damlama ve püskürtme gibi az su tüketen sulama sistemleri kullanılmalı, yağmur suları toplanarak değerlendirilmeli, üretimde en az su kullanılan ve suyun geri kazanılabildiği prosesler tercih edilmeli, hızlı nüfus artışı önlenmeli, yer altı su kaynaklarının kirlenmesi önlenmeli, su bilincinin arttırılmasına yönelik eğitimler düzenlenmeli ve aşırı derecede yer altı suyu kullanımına yasal sınırlamalar getirilmelidir. Bu gibi önlemlerle tatlı su kaynakları kontrol alınarak tehdit oluşturmaları önlenebilir ancak su kirlenmesi kaçınılmaz bir durumdur. Kirlenen su kaynaklarının da artırılması gerekmektedir.

İçme ve kullanma suyu arıtımının en önemli adımlarından biri dezenfeksiyondur. Dezenfeksiyon suda bulunması hastalığa neden olan her türlü mikroorganizma ve maddelerin giderimini sağlamak amacı ile gerçekleştirilir. Dezenfeksiyon işlemi klor, ozon, UV ışınlar vb. yöntemler ile yapılabilmektedir. Kullanılan dezenfektan sudaki zararlı mikroorganizma ve maddeler dışında diğer bazı zararsız mikroorganizma ve organik maddelerle de tepkime verebilmektedir. Tepkimeler sonucunda da dezenfektan olarak kullanılan yükseltgenlere bağlı olarak bazı dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) açığa çıkmaktadır. Sularda bulunan doğal organik maddeler (DOM)

ve inorganik maddeler kullanılan dezenfektanla reaksiyona girerek trihalometanlar (THM), haloasetik asitler (HAA), bromlu trihalometanlar, bromlu ve brom-klor karışimli asetik asitler, bromat iyonu gibi DYÜ'ler açığa çıkmaktadır. İstenmeyen bu yan ürünler kanserojendir, oluşumları takip edilmeli ve giderilmelidirler.

DYÜ'nün iki şekilde önüne geçilebilir. Bunlardan ilki yan ürün oluşumuna etkisi olan öncüllerin dezenfeksiyon öncesi giderimi ikincisi ise dezenfeksiyon sonrasında oluşan yan ürünlerin giderimi şeklindedir. Giderim adsorban doldurulmuş kolonlar, anaerobik bakteriler ve membran reaktörler ile sağlanabilmektedir.



## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. İçme Suyu**

Temiz bir içme suyu insan sağlığı açısından en önemli faktörlerden birisidir. Ancak, dünyada 2 milyardan fazla insan güvenli içme suyu kaynağına sahip değildir. Dünya genelinde her yıl 15 ile 20 milyon bebek su kaynaklı hastalıklardan (tifo, dizanteri, kolera vb.) dolayı hayatını kaybetmektedir. İçme sularındaki bu hastalıkların kaynağı bakteriler, virüsler ve protozalar (Hunter, 2003; Percival, 2004). Az gelişmiş ülkelerdeki kirlenmiş su kaynakları ve yetersiz sağlık koruma sistemi hastalıkların %80'inin nedenini oluşturmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, belediye su arıtma sistemlerindeki geçen yüzyılda gerçekleşen gelişmeler daha sağlıklı suların elde edilmesine ve su kaynaklı hastalıkların azalmasına neden olmuştur (Siddiqui ve ark., 1997). Örneğin içme sularının filtrasyonu ve dezenfeksiyonu, kolera ve tifo gibi hastalıkları büyük oranda ortadan kaldırmıştır. Ancak, 1974 yılında yapılan bir araştırma, dezenfeksiyon sonucunda oluşan yan ürünlerin insan sağlığı açısından risk taşıyabileceğini göstermişti (Richardson ve ark., 2000; Hua ve Reckhow, 2007; Richardson ve ark., 2007). Bundan dolayı araştırmacılar farklı dezenfeksiyon yöntemleri araştırma başlamışlardır.

### **2.2. İçme Suyu Kaynakları**

İçme suyu kaynakları yeraltı suları ve yüzeysel sular olmak üzere ikiye ayrılırlar. Amerika Birleşik Devletlerinde, yeraltı suları ve kuyular, içme suyunun %53'ünü, rezervuarlar, nehirler ve göller gibi yüzey suları ise %47'sini oluşturmaktadırlar. Yeraltı suları, yeraltı akiferlerinden açılan sondaj kuyularından elde edilmektedir. Bu kuyular onlarca veya yüzlerce metre derinliğe sahip olabilirler. Genellikle, derin akiferlerdeki sular yüzeyden sızan suyla yer değiştirirler ve bu durum yüzler veya binlerce yılda yavaş yavaş gerçekleşir. Yeraltı suları yüzeysel sulardan daha az kirlilik gösterirler. Yüzeydeki organik maddelerin bakterilerce parçalanıp yeraltı sularına ulaşmaları uzun zaman aldığından, yeraltı suları yüzey kirliliğinden daha fazla korunmuş durumdadırlar. Toprağın kendisi filtre görevi görür ve daha az

kirliliğin geçişine izin verir. Yüzeysel sular göllerden, nehirlerden ve rezervuarlardan meydana gelir. İçerisinde genellikle yeraltı sularından daha fazla askıda katı madde vardır ve güvenli bir şekilde içmek için daha fazla işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Yüzeysel suları içme suyundan ziyade başka amaçlar için kullanılır ve sıklıkla lağım ve endüstriyel atık sularla kirlenirler. Nehirlerin başlangıcından sonuna doğru gidildikçe, suyun tekrar tekrar kullanımından dolayı kirlilik artar (Weiner, 2000).

### 2.3. İçme Suyu Kalitesi ve Standartları

Bir içme suyunun, tüketicinin kullanımına sunulmadan önce su kalite parametrelerine ilişkin limit değerleri sağlanması gerekir. Toplum sağlığı açısından, içme sularının aşağıdaki özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Su, kokusuz, renksiz, berrak ve içimi serinletici olmalıdır. Sularda fenoller, yağlar gibi suya kötü koku ve tad veren maddeler olmamalıdır. İçme suyu için en uygun sıcaklık 8 ile 12°C arasındadır. Ayrıca sulardaki çözülmüş oksijen derişimi 5 mg/l'ten daha büyük olmalıdır.
- Su hastalık yapan mikroorganizma ihtiva etmemelidir. Suda bulunabilen bazı mikroorganizmalar çeşitli hastalıklara sebep olurlar. Bu hastalıklara “suyun sebep olduğu hastalıklar” denir. Sudaki zararlı mikroorganizmaları yok etmek için en etkili yol dezenfeksiyondur.
- Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır. Arsenik, kurşun, kadmiyum, selenyum, krom, cıva gibi bazı kimyasal maddeler insan sağlığı açısından zehirlidir.
- Su, kullanma maksatlarına uygun olmalıdır. Su, içme suyu ve sanayide kullanma suları olarak kullanılabilir. İçme suyu olarak kullanılması halinde sudaki demir ve manganez muhtevaları düşük olmalıdır. Demir, özellikle yeraltı sularında (2) değerlikli  $Fe^{++}$  olarak, genellikle demir bikarbonat



$\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  şeklinde bulunur.  $\text{Fe}^{++}$ , oksijenle temas ederse sarı - kırmızı bir bileşik olan demir hidroksit halinde çökelir. Bu sebeple suyun tadı ve rengi değişir. Suda bulunan demir, borularda demir bakterilerinin çoğalmasına ve boruların tıkanmasına sebep olur. İki değerlikli mangan de demire benzer özellikler gösterir.  $\text{Mn}^{++}$  su ile birleştiğinde siyah bir çökelek halinde gelen mangan dioksiti ( $\text{MnO}_2$ ) oluşturur. Suyun sertliğinin de kullanma maksatlarına uygun olması gerekir.

- Sular agresif olmamalıdır. Suların agresifliği, serbest karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) ile bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) iyonunun dengede olmamasından ileri gelir. Suların agresifliği, boruların korozyonuna sebep olur, onların kısa zamanda harap olmalarına, dolayısıyla ilave masraflara yol açar. Ayrıca boruların aşınması halinde borudan ayrılan elementler suyun özelliklerinin bozulmasına sebep olur.
- Suyun bu özellikleri sağlayabilmesi ve sudaki istenmeyen maddelerin belli bir seviyenin altında tutulmasını sağlamak için bazı standartlar geliştirilmiştir. Bunlardan Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından oluşturulan içme suyu standartları yaygın kullanılmaktadır. Aynı zamanda, her ülkenin kendine göre bir içme suyu standardı vardır. Bu standartlar zaman zaman günün koşullarına uyarlanmaktadır. Ülkemiz için kabul edilen ve kullanımda olan içme suyu standardı ise TS 266 İnsani tüketim amaçlı sulardır. TS 266 standardı ilk 1965 yılında çıkarılmış en son ise 2005 yılında güncellenmiştir. Diğer taraftan Avrupa Birliğince, birliğe dahil ülkeler için ortak bir içme suyu kriteri önerilmiştir. TS 266, EC ve DSÖ'ye göre içme suyu kalite parametreleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** TS 266, DSÖ, EPA ve EC'ye göre içme suyu kalite parametreleri

Parametreler	TÜRK STANDARTLARI	DÜNYA SAĞLIK ÖRGÜTÜ	ABD ÇEVRE KORUMA AJANSI	AVRUPA BİRLİĞİ
	TS 266 2005	DSÖ 2011	EPA 2008	EC 1998
Bulanıklık (NTU birimi)	1	5	1	1
<b>Birincil Standartlar - Mikrobiyolojik (EMS/100 mL)</b>				
<i>Toplam Koliform</i>	0	0	0	0
<i>Escherichia Coli</i>	0	0	0	0
<i>Enterokok</i>	0	0	0	0
<b>Birincil Standartlar - Dezenfeksiyon Yan Ürünleri (µg/L)</b>				
Toplam Trihalometanlar	100	460	80	100
Bromat	3	10	10	10
<b>Birincil Standartlar – İnorganik Kimyasallar (mg/L)</b>				
Alüminyum	0,200	0,200	0,200	0,200
Arsenik	0,01	0,01	0,01	0,01
Bor	1,0	2,4	-	1,0
Nikel	0,02	0,02	-	0,02
Baryum	-	0,7	2,0	-
Kadmiyum	0,005	0,003	0,005	0,005
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,10	0,05
Bromür	-	-	-	-
Florür	1,5	1,5	2,0	1,5
Siyanür	0,05	0,07	0,2	0,05
Kurşun	0,010	0,010	0,015	0,010
Civa	0,001	0,001	0,002	0,001
Nitrat	50	50	45	50
Selenyum	0,01	0,01	0,05	0,01
Gümüş	-	0,10	0,10	-
Antimon	0,005	0,020	0,006	0,005
Berilyum	-	-	0,004	-
<b>İkincil Standartlar - Estetik (mg/L)</b>				
Klorür	250	250	250	250
Renk (PC birimi)	20	15	15	-
Bakır	2,0	2,0	1,0	2,0
Demir	0,2	0,3	0,3	0,2
Mangan	0,05	0,1	0,05	0,05
pH	6,5-9,5	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-9,5
Sülfat	250	500	250	250
Toplam Çözülmüş Madde	-	1000	500	-
Çinko	-	3,0	5,0	-
<b>İlave Parametreler (mg/L)</b>				
Kalsiyum	-	300	-	-
Sertlik (CaCO <sub>3</sub> olarak)	-	500	-	-
Magnezyum	-	-	-	-
Potasyum	-	-	-	-
Sodyum	200	200	-	200
Serbest Klor	-	5,0	4,0	-
Amonyum	0,5	1,5	-	0,5

## 2.4. Dezenfeksiyon

Su kaynaklı hastalıkların yayılmasını engellemek için su içerisinde bulunan patojenik mikroorganizmaların aktivitelerinin durdurulması veya öldürülmesi için yapılan işlemlere suyun dezenfeksiyonu denir (Anonim, 2002). Bir dezenfeksiyonun verimliliği, hedef alınan mikroorganizmayı etkilemesine, temas zamanına ve dezenfektanın derişimine bağlıdır. Su arıtım proseslerinin en önemli adımı bakterilerin, virüslerin ve protozaların öldürülmesi veya aktivitelerinin durdurulması olayıdır (Gunten, 2003). İyi bir dezenfeksiyon işleminde, su dağıtım şebekesi boyunca yeterli miktarda kalıntı dezenfektan bulunması istenir. Kalıntı dezenfektan suyun şebekede beklemesi sırasında tekrardan oluşabilecek kirlenmeye karşı suyu korur. Düşük basınç bakterilerin çoğalması için uygun bir ortamdır bu nedenle su depolarında tekrar kirlenme gerçekleşebilir. Bundan dolayı, etkili bir dezenfeksiyon ancak suda yeterli miktarda kalıntı dezenfektan kalması ile sağlanabilir (Spellman, 2003). Suda bulunabilecek patojenik mikroorganizmalar ve bunların neden oldukları hastalıklar Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Evsel atık sularında bulunması muhtemel hastalık yapıcı mikroorganizmalar (EPA, 1999)

<b>Organizma</b>	<b>Hastalık</b>
<b>Bakteriler</b>	
<i>Compylobacter jejuni</i>	Mide bağırsak hastalıkları
<i>Escherichia coli</i>	Mide bağırsak hastalıkları
<i>Legionella pneumophila</i>	Lejyoner hastalığı
<i>Leptospira</i>	Leptospirosis
<i>Salmonella</i>	Tifo, paratifo
<i>Salmonella typhi</i>	Tifo
<i>Shigella</i>	Basilli dizanteri
<i>Vibrio cholerae</i>	Kolera
<i>Yersinia enterocolitica</i>	İnce bağırsak ve kolon iltihabı
<b>Protozoa</b>	
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Cryptosporidiasis
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Cyclosporiasis
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amipli dizanteri
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis
<b>Helminths</b>	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Yuvarlak solucan çoğalması
<i>Enterobius vermicularis</i>	Bağırsak paraziti
<i>Fasciola hepatica</i>	Fascioliasis
<i>Hymenolepis nana</i>	Hymenolepiasis
<i>Taenia saginata</i>	Taeniasis
<i>Taenia solium</i>	Taeniasis
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis
<b>Virüsler</b>	
<i>Adenovirüsler</i>	Solunum hastalıkları
<i>Enterovirüsler</i>	Mide bağırsak hastalığı, Kalp hastalığı, Gayritabilik, Menenjit
<i>Hepatit a virüs</i>	Enfeksiyöz Hepatit
<i>Norwalk agent</i>	Mide bağırsak hastalıkları
<i>Parvovirüs</i>	Mide bağırsak hastalıkları
<i>Rotavirüs</i>	Mide bağırsak hastalıkları

## 2.5. Dezenfeksiyon Yöntemleri

Dezenfeksiyon yöntemleri genellikle fiziksel ve kimyasal olarak ikiye ayrılır. Bunların yanı sıra mekanik ve radyasyonla dezenfeksiyon yöntemleri de vardır. Fiziksel yöntemler hiçbir kimyasal dezenfektan kullanılmadan UV ışınları ve ısı ile yapılan dezenfeksiyondur. Kimyasal yöntemlerde ise klor, iyot, ozon, fenol, alkol, sabun ve deterjanlar, hidrojen peroksit, bazı alkali ve asitler gibi dezenfektanlar kullanılır. İyi bir dezenfektanda bulunması gereken özellikler Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** Dezenfektan maddelerin özellikleri (EPA, 1999)

Şartlar	Klor	Ozon	Klor dioksit	Permanganat	Kloramin	Ozon/peroksit
TOK ile THM oluşumu	+	~	-	-	+	~
Okside olmuş organiklerin oluşumu	~	+	~	~	-	+
Halojenli organiklerin oluşumu	+	~	-	-	+	~
İnorganik yan ürünlerin oluşumu	-	~	+	-	-	~
BOM oluşumu	~	+	~	-	-	+
MRDL uygulanması	+	-	+	-	+	-
Kireçle sertlik gidermenin etkisi	+	-	-	-	+	-
Bulanıklığın etkisi	-	~	-	-	-	~
<i>Giardia</i> için < 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
<i>Giardia</i> için > 2-log'un sağlanması	-	+	+	-	-	-
<i>Crypto</i> için < 2-log'un sağlanması	-	+	+	-	-	-
<i>Crypto</i> için > 2-log'un sağlanması	-	+	-	-	-	-
Virüsler için < 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
Virüsler için > 2-log'un sağlanması	+	+	+	-	-	-
Son dezenfeksiyon	+	-	~	-	+	-
Operatör gerekliliği (1=düşük, 5=yüksek)	1	5	5	1	2	5
Büyük kaynaklara uygulanabilirliği	+	+	+	+	+	+
Küçük kaynaklara uygulanabilirliği	+	+	+	+	+	+

+: evet, -: hayır, ~: bazen

### **2.5.1. Isıyla dezenfeksiyon**

Isıyla dezenfeksiyonun esası kaynatmaya dayanır. Kontrolü kolay fakat pahalı bir yöntemdir. Bu nedenle büyük ölçekli uygulamalarda tercih edilmez genellikle evlerde kullanılır. Bu yöntemin performansı su içerisinde bulunan mikroorganizmaların ısıya olan dayanıklılıklarına bağlıdır.

### **2.5.2. Ultraviyole (UV) ışınla dezenfeksiyon**

Su içerisinde bulunabilecek olan mikroorganizmaların 254 nm dalgaboylu UV-C ışınlarıyla zararsız hale getirilmesi ile sağlanır. Mikroorganizmalar UV-C ışınlarına maruz bırakıldıklarında DNA'larında "fotooksidasyon" gerçekleşir ve DNA'ları tahrip olarak hücre ölümleri gerçekleşir (Aydın, 2009).

### **2.5.3. Asit ve alkalilerle dezenfeksiyon**

Asit ve alkalilerle dezenfeksiyon içme suyu dezenfeksiyonunda çok fazla kullanılan bir yöntem değildir. Genellikle kireç – soda ile yumuşatma işlemi sırasında kendiliğinden oluşan bir olaydır. Kireç suda bulunan bazı mikroorganizmaları azaltır. Asit ve bazlar dezenfeksiyon için kullanılacaklarında temas süreleri uzundur. Asit ve bazların mikroorganizmalar üzerindeki etkisi en iyi pH 3 ve pH 11'de görülür. Bu etki asit ve bazın cinsine bağlı değil, hidrojen ve hidroksil iyonları derişimine bağlıdır.

### **2.5.4. Potasyum permanganatla dezenfeksiyon**

Potasyum permanganat içme suyu dezenfeksiyonunda demir, manganez, hidrojen sülfür vs. gideriminde kullanılır. Kuvvetli bir oksidant olan potasyum permanganat Escherichia coli bakterisinin gideriminde klor, ozon gibi dezenfektanlara göre daha düşük performanstadır ve daha pahalıdır. Bu nedenle içme suyu dezenfeksiyonunda fazla tercih edilmemektedir. 1 litre suya 500 mg'den fazla potasyum permanganat

ilavesi suyun rengini değiştirir ancak bu deşişim kolera vibriyonu haricindeki patojenlerde etkili değildir.

#### **2.5.5. Metal iyonlarıyla dezenfeksiyon**

Dezenfeksiyon amaçlı kullanılan metal iyonları Hg, Au, Ag, Pb, Cu'dur ve bu iyonlarından insan sağlığı için en az zararlı olanı Ag'dir. Dezenfeksiyon için sudaki bulanıklık ve organik madde miktarına bağlı olarak 0,1-1 mg/L arasında Ag iyonu kullanılır. Bakır bakterisit ve g¼çlü bir algisidaldır. Oligodinamik etkileri nedeni ile Ag ve Hg gibi metal iyonları sterilizasyonda kullanılırlar. Düşük deşişimlerde bile etkindirler. Metal iyonları bazı mantar ve alglerin üremesi ve büyümesini yavaşlatırlar. Düşük sıcaklık ve pH değerlerinde metal iyonlarının germisidal aktivitesi azalır.

#### **2.5.6. Yüzey aktif kimyasal maddelerle dezenfeksiyon**

Yüzeyler arası enerji ilişkilerini değiştirebilen maddelere yüzey aktif maddeler denir. Yüzey aktif maddeler katyonik ve anyonik olarak ikiye ayrılırlar. Dezenfeksiyon için genellikle katyonik yüzey aktif maddeler kullanılır. Gram pozitif ve Gram negatif yüzey aktif maddeler geniş bir bakteri grubu yanı sıra mantar ve virüslere de etkindirler.

#### **2.5.7. Klorla dezenfeksiyon**

1774 yılında kimyacı Scheele tarafından bulunan klor gazı sıkıştırılarak sıvı hale getirilip basınçlı tüplerde saklanmaktadır. Sıvılaştırılmış klor gazını su dezenfeksiyonunda ilk olarak kullanan Carl Darnall olmuştur. (řeng¼l ve Küç¼kg¼l, 1995). Klor ve klorlu bileşikler dezenfeksiyonu mikroorganizmaların yapısındaki organiklerin oksidasyonu ile sağlarlar. Genel olarak dezenfektan olarak kullanılan kimyasalların organizmaları tahribi ve etkisiz hale getirmeleri, başlıca hücre duvarlarının tahribi, hücre zarı geçirgenliğinin zarar görmesi, plazmanın yapısının değişmesi ve enzim inhibisyonu seklindedir (Yalçın ve Gür¼, 2002). Klor gazı suya

ilave edildiğinde arka arkaya iki reaksiyon gerçekleşir. Bunlar hidroliz ve iyonizasyon reaksiyonları olarak tanımlanır. Hidroliz reaksiyonu sonucu hipokloröz (HOCl), iyonizasyon reaksiyonu sonucu hipoklorit (OCl<sup>-</sup>) açığa çıkar.

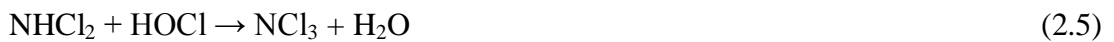


Bu reaksiyonlardan hidroliz reaksiyonunun sağa doğru, iyonizasyon reaksiyonunun ise sola doğru olması istenir. Çünkü hipokloröz, hipokloritten 80 kat daha kuvvetli bir dezenfektandır. Bu özellikler ise ortamın pH aralığı ile ilgilidir. Çeşitli pH değerlerindeki HOCl ve OCl<sup>-</sup> oranları Çizelge 2.4'te verilmiştir (Şengül ve Küçükgül, 1995).

**Çizelge 2.4.** Çeşitli pH değerlerinde HOCl ve OCl<sup>-</sup> oranları (Şengül ve Küçükgül, 1995)

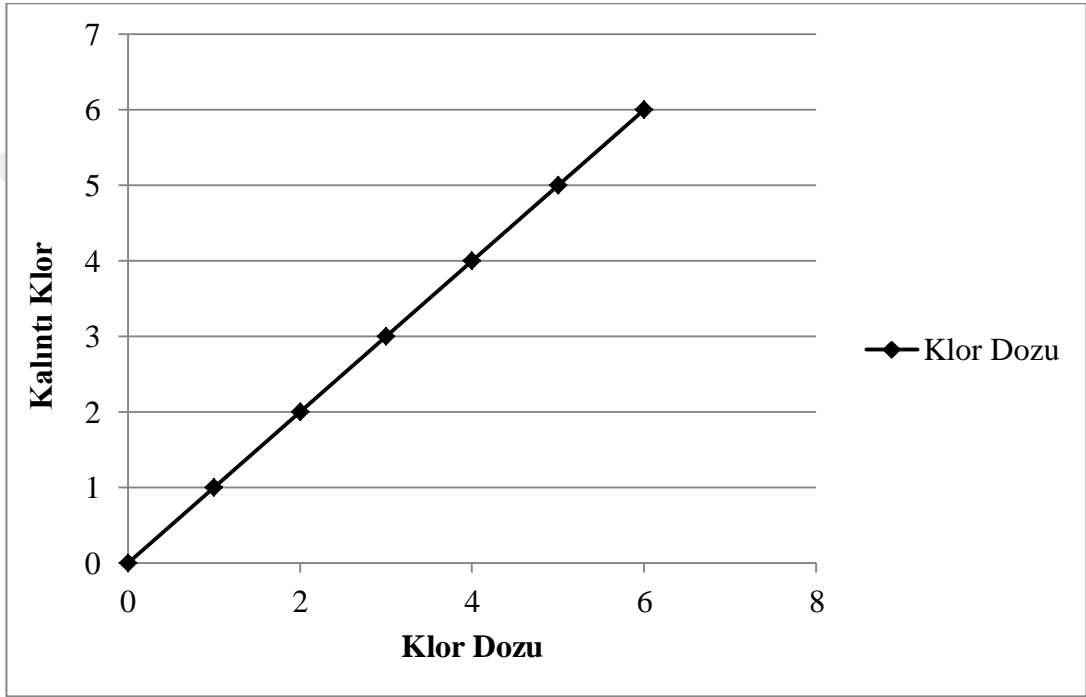
pH	Toplam Serbest Klor Yüzdesi (%)	
	HOCl	OCl <sup>-</sup>
6	96,8	3,2
7	75,2	24,8
7,5	49,1	50,9
8	23,2	76,8
9	2,9	97,1

Amonyak ihtiva eden suların klorlanması sonucu da bir dizi reaksiyonlar gerçekleşir. HOCl asidinin amonyakla reaksiyonu sonucu monokloramin (NH<sub>2</sub>Cl), dikloramin (NHCl<sub>2</sub>), trikloramin (NCl<sub>3</sub>), ortama klor eklenmeye devam edilmesi halinde ise daha ileri oksidasyon kademeleriyle gaz halde N<sub>2</sub> ve azot oksitler oluşur.



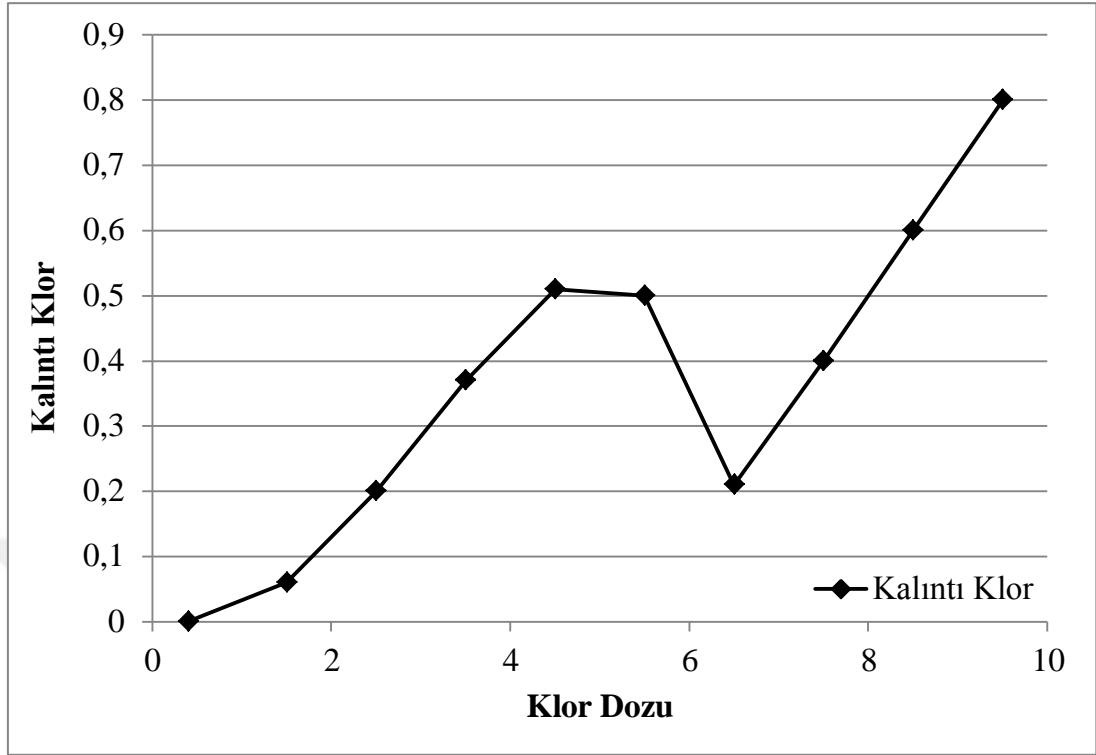


Trikloaminlerin oluşumundan sonra hala klor dozlanırsa ortamdaki artık klor, yani kullanılmayan serbest ve bağlı haldeki klor miktarında düşüş başlar. Bunun sebebi kloraminlerin klorla veya kendileriyle oluşturdukları reaksiyonlardır. Eğer klorlanacak su temizse suya verilen klor “serbest kalıntı klor” olarak su içerisinde birikir. Yani hiçbir indirgen ihtiva etmeyen sularda klor miktarına karşı, kalıntı klor eğrisi 45°lik açı oluşturur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Temiz sulardaki serbest kalıntı klor grafiği

Amonyak ve indirgen madde ihtiva eden sulara klor dozlandığında ise “kırılma noktası klorlaması” denen eğri elde edilir (Şekil 2.2). Dezenfekte edilecek suyun klor ihtiyacını belirlerken uygulanan klor dozunun suda oluşturduğu kalıntı klor değişim grafiği kullanılabilir (Şengül ve Küçükgül, 1995).



Şekil 2.2. Temiz olmayan sulardaki kırılma noktası grafiği

### 2.5.8. Ozonla dezenfeksiyon

Ozon ilk defa 1840'da Alman kimyacı Schonbein tarafından bulunmuştur. Ozon Şekil 2.3'te görüldüğü gibi iki rezonans yapısında da bir tek bir çift bağ bulunan ve rezonans yapıları arasındaki dönüşümün çok hızlı olduğu oksijen allotroplarının karışımından oluşmaktadır (Steven ve Kloos, 2002).

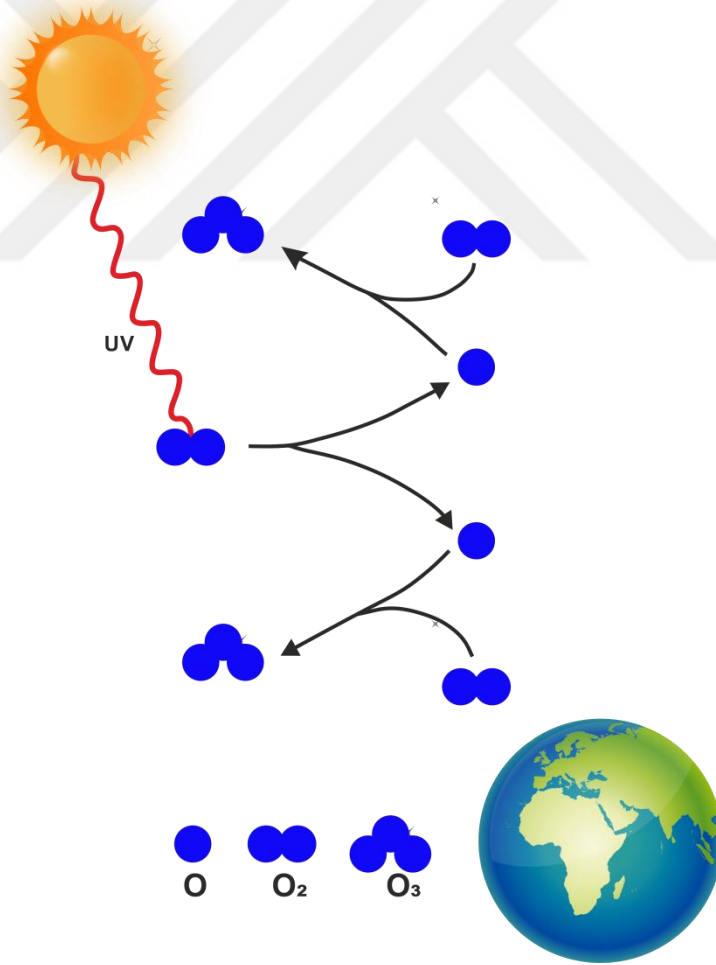


Şekil 2.3. Ozonun rezonans yapısı

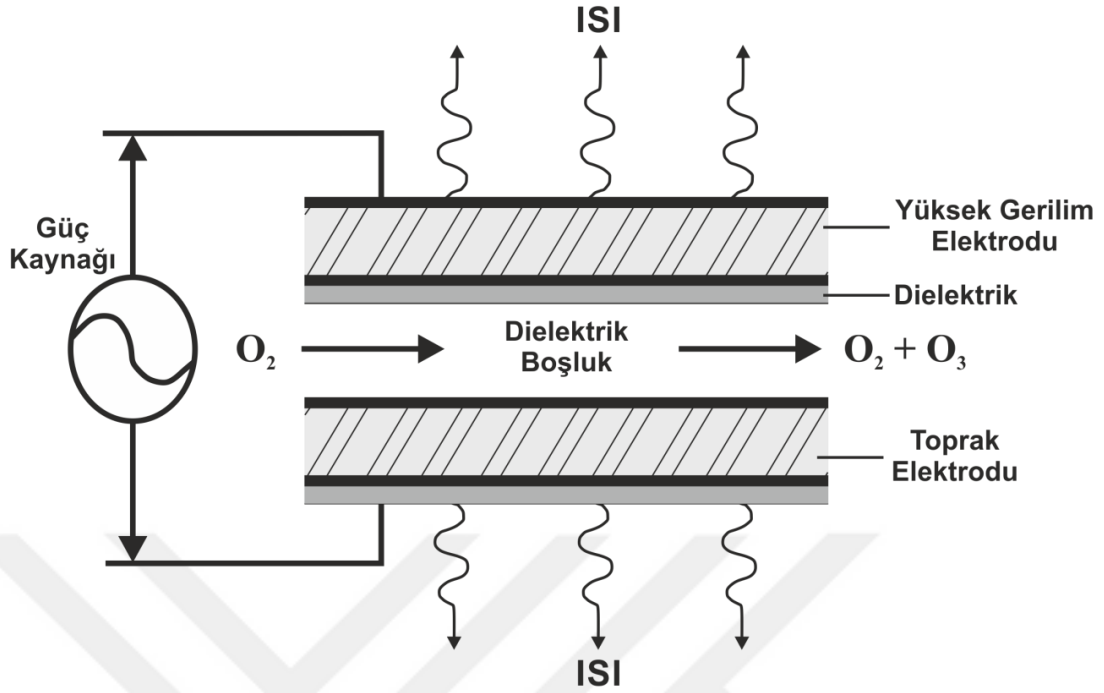
Ozon oluşumu endotermik bir reaksiyondur.



Ozon açık mavimsi renkte güçlü bir oksidantdır. Termodinamik olarak kararsızdır ve hemen oksijene dönüşür ( $E^\circ=2,07 \text{ V}$ ). Bu nedenle ozon kullanılacağı zaman imal edilir. Ozon güneşin ultraviyole ışınları veya yıldırımlar aracılığıyla doğal olarak ya da havadaki oksijene 7000 – 15000 V arası çok yüksek bir voltajda elektrik akımı verilmesi ile elde edilebilir. Ozon üretimi yüksek voltaj elektrik akımı ile gerçekleştirildiğinden pahalıdır ve düşük enerji ile üretilmediğinden acil durumlar için uygun değildir.



Şekil 2.4. Doğal ozon oluşum mekanizması



Şekil 2.5. Yapay ozon oluşum mekanizması

Ozon içme suyu dezenfeksiyonu için ilk defa 1893'de Hollanda'da kullanıldı. Avrupa'da suyun dezenfeksiyonu ve oksidasyonu için kullanılırken, Amerika'ya da yavaş yavaş yayılmaya başladı. Amerika'da da ilk önce ozonun uygulamaları renk ve koku giderimi gibi dezenfeksiyon olmayan amaçlar için olmuştur.

Klor, klordioksit, kloramin gibi dezenfektanlar *Giardia* ve *Cryptosporidium* gibi ciddi hastalıklara neden olan protozoaların gideriminde yetersiz kalmaktadır. Klorun dezenfektan etkisindeki bu yetersizlik ve dezenfeksiyon sırasında oluşturduğu yan ürünler ozonun yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Ozon hidroksil radikalleri oluşturabilen çok güçlü bir oksidanttır. Çoğu dezenfektana dayanıklı olan *Giardia* ve *Cryptosporidium* protozoaların giderilmesinde, sülfür, mangan ve demiri oksitleyip daha kolay çökmesinde ve suyun filtrelenerek temizlenmesinde, suyun tat ve koku kontrolünde klorla göre daha üstündür. Ozonla dezenfeksiyonun avantajlarından biri de geniş sıcaklık ve pH aralıklarında gerçekleştirilebilmesidir. Sulu fazda çözünürlüğü sıcaklığın azalması, basıncın artmasıyla artar (Ullmann, 1991). Çizelge 2.5'te saf suda ozonun sıcaklıkla değişen çözünürlük değerleri ve Çizelge 2.6'da ozonun fizikokimyasal özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Ozonun sıcaklığa bağlı suda çözünürlükleri (Ullmann, 1991)

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (kg/m <sup>3</sup> )
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

**Çizelge 2.6.** Ozonun fizikokimyasal özellikleri

Özellikleri	Ozon (O <sub>3</sub> )
Renk	Açık Mavi
Koku	0,02 ppm'den sonra keskin
Moleküler ağırlığı (g/mol)	47,998
Kaynama noktası (°C)	-111,9
Erime noktası (°C)	-192,5
Gaz yoğunluğu, 0 °C g/L	2,144
Bağıl yoğunluk (havada) (kg/m <sup>3</sup> )	1,7
Elektrokimyasal potansiyel (V)	2,07
Kritik sıcaklık (°C)	-12,1
Kritik basıncı (atm)	54,6
Kritik hacmi (ml/mol)	147,1
Bağlanma derecesi	116 °

Yüksek oksidasyon potansiyeline sahip olması sebebiyle ozon gazı çoğu dezenfektana göre daha etkilidir. Ozonun dezenfektan özelliği HOCl'den 25 kat, OCl<sup>-</sup>'den 2500 kat, NH<sub>2</sub>Cl'den 5000 kat daha etkindir. Bazı oksidantların oksidasyon potansiyelleri Çizelge 2.7'de verilmiştir. Filtrelenmiş ve bulanıklığı düşürülmüş sular için 0,5 - 1 mg/L arası ozon yeterlidir (Perry, 2015).

**Çizelge 2.7.** Bazı oksidasyon ajanlarının bağıl oksidasyon potansiyelleri

<b>Türler</b>	<b>Oksidasyon potansiyeli (eV)</b>
Flor	3,06
Hidroksil radikali	2,80
Oksijen	2,42
Ozon	2,07
Hidrojen peroksit	1,77
Per hidroksil radikali	1,70
Hipokloröz asit	1,49
Klor	1,36

Ozon ile dezenfeksiyonun en büyük dezavantajlarından biri dezenfeksiyon sonrası suda bakiye ozon kalmadığı için iletim hatlarında oluşabilecek enfeksiyonlar, diğeri ise dezenfeksiyon esnasında oluşabilecek yan ürünlerdir. Bu yan ürünlerin en önemlilerinden olan bromat iyonu, bromür ihtiva eden suların ozonlanması ile oluşmaktadır. Bromat iyonu insanlarda belirli bir maruziyetten sonra kanser riski oluşturmaktadır. Dünyada ve Türkiye’de de bromat iyonu için kabul edilen limit değer sırası ile 10 ve 3 µg/L’dir.

## **2.6. Klorlama ve Ozonlama Sonucu Oluşan Dezenfeksiyon Yan Ürünleri**

Farklı amaçlarla arıtılan veya arıtımsız suların kullanılabilirliğinin sağlanması amacıyla çeşitli dezenfeksiyon işlemleri uygulanmakta ve bu aşamada bazı istenmeyen yan ürünler oluşabilmektedir. Klorlama ve ozonlama sonucu oluşan yan ürünlerin araştırmaları genellikle yurtdışı kaynaklı olup yurt içinde de bazı çalışmalar yapılmıştır. Birçok çalışmada istenmeyen bu yan ürünlerin farklı sıcaklıkta ve farklı yerlerden alınan numunelerde belirli miktarlarda ozon ve klor ile dezenfeksiyonu sonucu oluşan yan ürünlerin miktarlarındaki değişimler gözlemlenmiştir. Oluşan bu yan ürünler çoğu zaman kritik seviyelere ulaşmaktadır. Bunların bilinmesi ve yakından takip edilmesinin pek çok çalışmada insan sağlığı açısından önem taşıdığı vurgulanmıştır (Atabek, 1997; Jackson ve ark., 1998; Weinberg ve ark., 1998;

Wagner ve ark., 2000; Ingrad ve ark., 2002; Wagner ve ark., 2002; Sohn ve ark., 2004; Cavallis ve ark., 2005; Zhu ve ark., 2006).

Yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarının kalitesini etkileyen en önemli parametreler sudaki DOM ve inorganik bileşiklerdir. DOM, başta büyük moleküllü hümik maddeler olmak üzere küçük moleküllü asitler, karbonhidratlar, yağlar, proteinler, karboksilik asitler, amino asitler, ve hidrokarbonlar gibi organik maddelerden oluşan heterojen bir karışımdır (Reckhow ve ark., 1990; Aiken ve Cotsaris, 1995). DOM'lerin ve inorganik maddelerin dezenfektanlarla reaksiyonu sonucu oluşan yapılar dezenfeksiyon yan ürünleri (DYÜ) olarak adlandırılır.

1974 yılında DYÜ ilk kez tespit edilmiştir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucu Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu oluşan bu yan ürünlerin insanlarda kanser oluşumu konusunda doğrudan bir ilişki kuramamış ve DYÜ'nün "insanlarda kansorejendir" sınıfına koyulamayacağına karar vermiştir. DSÖ'de "dezenfeksiyon yan ürünleri kaynaklı olabileceği ileri sürülen sağlık risklerinin, yetersiz dezenfeksiyon sonucu ortaya çıkabilecek sağlık risklerine göre son derece az olduğunu açıklamış ve dezenfeksiyon yan ürünleri oluşumunu azaltmak için, suların dezenfeksiyonunu engelleyecek veya azaltacak hiçbir uygulamayı onaylanamayacağını" belirtmiştir. Konuyla ilgili bir araştırmada dezenfekte edilmemiş bir içme suyunda bulunabilecek patojen mikroorganizmaların, dezenfekte edilmiş sulardaki dezenfeksiyon yan ürünlerine göre en az 100-1000 kat fazla tehdit oluşturacağı vurgulanmıştır. (Oğur ve ark., 2004)

İçme sularına dezenfeksiyon amacıyla klorlama işlemi uygulandığında, klor DOM'lerle reaksiyona girerek THM gibi kanserojen olduğu ve insan sağlığına zarar verdiği bilinen çeşitli DYÜ'lerini oluşturur (Gümüş ve Akbal, 2013). Metan ( $CH_4$ ) türevi olarak bilinen THM'ler,  $CH_4$ 'deki hidrojen atomlarının yerine klor, brom ve iyot halojenlerinden birinin bağlanmasıyla oluşmaktadırlar. THM'ler kimyasal formülle  $CHX_3$  olarak gösterilirler. Buradaki X yerine halojenler gelmekte olup, klor, brom ve iyot bilinen THM içeriğindeki halojenler olarak sayılabilir (Najm ve ark., 1994).

Birçok THM yan ürünü içinde miktar olarak en yüksek olanı kloroformdur. Yapılan bir çok çalışma sonuçlarında aşırı miktarda THM'ye maruz bırakılan hayvanlarda kanser oluşabileceği gözlemlenmiş, fakat suda izin verilen miktarlarda bulunduğu kanser oluşumu gözlemlenmemiştir (Folkner ve ark., 1988). THM dışında sularda oluşan dezenfeksiyon yan ürünlerinden birisi HAA'dır (Rook,1974; Pontius, 1990; Shukairy ve Summers, 1993; Peclaris ve ark., 1999; Xie, 2001; Liu ve ark., 2004; Qi ve ark., 2004). HAA'larında sağlık üzerindeki etkileri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır (Chlorine Chemistry Council, 2003).

İnsan sağlığı açısından tehdit oluşturabilecek olan THM ve HAA'ların daha fazla zararlı olmalarının engellenmesi amacıyla 1999 yılında DSÖ tarafından Çizelge 2.8'deki limitler getirilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Klorlama sonucu oluşan dezenfeksiyon yan ürünleri ve DSÖ'ye göre limit değerleri

	<b>Klorlama Sonucu Oluşan DYÜ</b>	<b>Limit Değerler (µg/L)</b>
THM	Kloroform (CHCl <sub>3</sub> )	200
	Bromodiklorometan (CHCl <sub>2</sub> Br)	60
	Dibromodiklorometan (CHClBr <sub>2</sub> )	100
	Bromoform (CHBr <sub>3</sub> )	100
HAA	Monokloroasetik asit (CH <sub>2</sub> ClCOOH)	50
	Dikloroasetik asit (CHCl <sub>2</sub> COOH)	50
	Trikloroasetik asit (CCl <sub>3</sub> COOH)	100

Yapılan pek çok çalışmada DOM ve inorganik madde ihtiva eden suların dezenfeksiyonunda ozon kullanılması sonucu oluşan DYÜ'nün klor kullanılması sonucu oluşan DYÜ'lerinden daha az toksik olduğu bildirilmiştir.

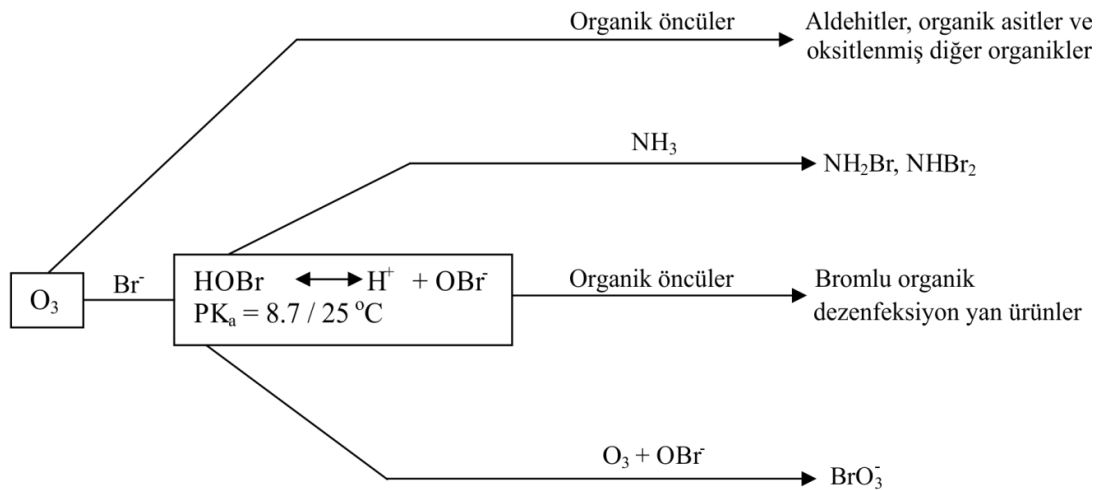
Ozonlama sonucu oluşabilecek yan ürünler aldehitler, asitler, aldo-ketoasitlerdir. Bromür iyonları içeren suların ozonlanmasıyla oluşan yan ürünler; bromat iyonu, bromoform, bromlu asetik asit ve eğer azot ihtiva ediyorsa asetonitril, bromopikrin ve siyanojen bromürdür (Iriarte ve ark., 2003). 2 mg/L bromür iyonu içeren suya 2



mg/L ozon dozlanması 53 µg/L bromoform ve 17 µg/L dibromoasetik asit oluşumuna neden olmaktadır. Bunun yanı sıra ozon, hipobromit iyonları ile bromat iyonları oluşturmak üzere reaksiyona girmektedir (Hu ve ark. 1999). Ozonlama sonucu oluşan yan ürünler Çizelge 2.9 ve Şekil 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2.9.** Ozonlama sonucu oluşan önemli dezenfeksiyon yan ürünleri

	<b>Ozonlama Sonucu Oluşan DYÜ</b>
<b>Aldehitler</b>	Formaldehit (CH <sub>2</sub> O)
	Asetaldehit (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)
	Glioksal (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
	Metilglioksal (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )
<b>Asitler</b>	Oksalik Asit (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )
	Formik Asit (CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
	Asetik Asit (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> )
	Süksinik Asit (C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>5</sub> )
<b>Aldo-Ketoasitler</b>	Pirüvik Asit (C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub> )
<b>Brom Bileşikleri</b>	Bromat İyonu (BrO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )
	Bromoform (CHBr <sub>3</sub> )
	Bromopikrin
	Bromlu asetik asit
<b>Diğer</b>	Hidrojen peroksit (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )
	Aromatik bileşiklerin ve pestisitlerin yan ürünleri



**Şekil 2.6.** Ozonlama sonucu oluşan önemli yan ürünlerin reaksiyonları



Çeşitli dezenfeksiyon işlemleri sırasında birtakım yan ürünler açığa çıkabilmektedir. Bunların çoğu zaman kritik düzeylere ulaşmamalarına karşın, bilinmesi ve yakından izlenmesi yararlı olabilir. Yapılan çalışmalarda bir karbonat çözücüsüyle Dionex AS9-HC anyon değiştirici kolonunun ve iletkenlik algılayıcısının kullanıldığı iyon kromatografi cihazı ile bromat gibi dezenfeksiyon yan ürünleri tespit edilmiştir (Jackson ve ark., 1998).

DYÜ'nün oluşumu arıtma sürecinde klorlama sırasında olduğundan, oluşumlarını önlemek ya da oluşumlarının miktarını azaltmak klorlamadan önce DOM giderimi ile mümkün olmaktadır (Gümüş ve Akbal, 2013).

## **2.7. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Dezenfeksiyon Öncüllerinin Giderimi**

Dezenfeksiyon sırasında oluşan ve insan sağlığı açısından tehlikeli olan istenmeyen yan ürünler ya dezenfeksiyon sonrası ya da dezenfeksiyon öncesinde bu oluşumlara sebep olan öncülleri giderilebilir. Giderim için genellikle koagülasyon, membran ve adsorpsiyon yöntemleri kullanılır.

### **2.7.1 Koagülasyon yöntemi ile giderim**

Sularda bulunan doğal organik maddeleri gidermek için  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeSO}_4$  gibi koagülantlar kullanılır. Su kalitesi ve ortam koşullarına bağlı olarak koagülantların performanslarında değişiklikler gözlemlenir. Koagülant cinsi, koagülant miktarı ve optimum koagülasyon pH 'sını belirlenirken jar testi kullanılır. Ayrıca uygun koagülasyon koşullarını belirledikten sonra verimi arttırmak için polielektrolitler kullanılabilir (Uyak, 2006).

$\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeSO}_4$  ile ilgili yapılan çalışmalarda  $\text{FeCl}_3$  ile birlikte anyonik polielektrolit kullanımı en verimli sonucu vermiştir (Alkan ve ark., 2006).

### 2.7.2 Membran filtrasyon yöntemi ile giderim

Basınç ile suyun yarı geçirgen membrandan geçirilmesi ile gerçekleştirilen bir yöntemdir. Yaklaşık otuz yıldır su arıtımındaki kullanılan önemli sistemlerden biridir ve son yıllarda sürekli geliştirilerek kullanım alanları artmaktadır. Membran filtrasyon prosesleri doğal ve sentetik organik maddelerin gideriminde kullanılmakta, çözülmüş maddelerin de sıvılardan ve gazlardan ayrılmasını sağlayabilmektedir. Bu proseslerin en büyük dezavantajı membran tıkanması ve konsantrasyon polarizasyonu problemidir. Konsantrasyon polarizasyonu, membran yüzeyindeki çözülmüş organik maddelerin neden olduğu jel tabakasıdır.

Membran prosesleri flok oluşturucu koagülantlar ve toz aktif karbon kullanımı ile organik madde giderimindeki verimleri artar. Membrandan önce kullanılacak olan aktif karbon çözülmüş organik maddelerin belirli bir miktarını gidererek membran tıkanma ve konsantrasyon polarizasyon oluşum süresini uzatır (Pirbazari ve ark., 1992)

Bu yöntemle trihalometanların hemen hemen tamamı ve diğer dezenfeksiyon yan ürünlerinin çoğunluğu sudan uzaklaştırılabilir.

### 2.7.3 Adsorpsiyon yöntemi ile giderim

Adsorpsiyon yöntemi dezenfeksiyon yan ürünlerini gidermede en çok kullanılan yöntemdir. Adsorban olarak genellikle saf ve modifiye edilmiş aktif karbon, demir sülfat ( $\text{FeSO}_4$ ) ve metalik demir ( $\text{Fe}^0$ ) kullanılır. Aktif karbonun iç yüzey alanının çok geniş olması ve bazı mikro kirleticileri de yüzeyine tutundurmasıyla etkin bir adsorpsiyon sağlar. Bu özellikleri ile en çok tercih edilen adsorbanlar arasında gelir. Farklı partikül boyutlarında granüler veya toz halinde kullanılırlar.

Adsorpsiyon, iki faz arasındaki sınır yüzeyde konsantrasyon değişmesi yani gaz ya da çözünen birikmesi olayına denir. Bu iki faz sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı veya sıvı katı olabilir (Weber, 1972). Adsorpsiyon olayında yüzeyde tutunan madde adsorbat

veya adsorplanan, yüzeyine tutunulan madde ise adsorban ya da adsorbent olarak adlandırılır (Kobyay, 2001).

Adsorpsiyon fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak 3 şekilde gerçekleşebilir. Fiziksel adsorpsiyon adsorban madde ile adsorplanan maddenin molekülleri arasındaki zayıf Van der Waals çekim kuvvetleriyle oluşan bir olaydır bu moleküller arasında elektron alışverişi ya da ortaklaşması olmaz. Kimyasal adsorpsiyon ise adsorplanan madde ile adsorban madde arasındaki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi sonucu oluşur. Biyolojik adsorpsiyon ise bir taşıyıcı üzerindeki mikroorganizmalar tarafından çözeltideki anyon ve kationların alıkonulması ve biyolojik bozunmanın gerçekleşmesi ile oluşur. Biyolojik adsorpsiyonda, bir inert madde üzerinde mikroorganizmaların taşınmasına bağlı olarak fiziksel adsorpsiyon ve biyolojik bozunma birlikte gerçekleşmektedir. Sıcaklık sınırı ve adsorpsiyon ısısı biyolojik adsorpsiyonu etkilemektedir. Bu yöntem de mikroorganizma türüne göre değişmektedir.

Fiziksel adsorpsiyon tersinir, kimyasal adsorpsiyon tersinmezdir. Fiziksel adsorpsiyon 10 – 20 kJ/mol gibi düşük, kimyasal adsorpsiyon ise 40 – 400 kJ/mol gibi daha yüksek bir adsorpsiyon enerjisine sahiptir. Kimyasal adsorpsiyon tek, fiziksel adsorpsiyon tek ya da çok tabakalı olabilir. İlk tabakadan sonraki tabakalar sadece fiziksel adsorpsiyon ile oluşabilir. Fiziksel adsorpsiyonun gerçekleşmesi için herhangi bir aktivasyon enerjine ihtiyaç yokken kimyasal adsorpsiyonda aktivasyon enerjisi gereklidir (Smith, 1981; Sarıkaya, 1993).

Fiziksel adsorpsiyon spesifik değildir. Adsorplanan maddenin kısmi basıncının doygunluk basıncına oranının yeterince büyük olması sağlanmışsa, verilen bir gaz için tüm yüzeylerde fiziksel adsorpsiyon oluşabilir. Kimyasal adsorpsiyonda ise katının yüzeyinde oluşan bir tepkime ve tepkime olasılığı maddenin doğasına bağlı olduğundan oldukça spesiftir. Ancak adsorban ve adsorplanan arasında kimyasal bağ oluşabilecek durumda ise gerçekleşir (Hill, 1977; Shoemaker ve ark., 1981). Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki temel farklar Çizelge 2.10'da verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar (Yıldız, 2004)

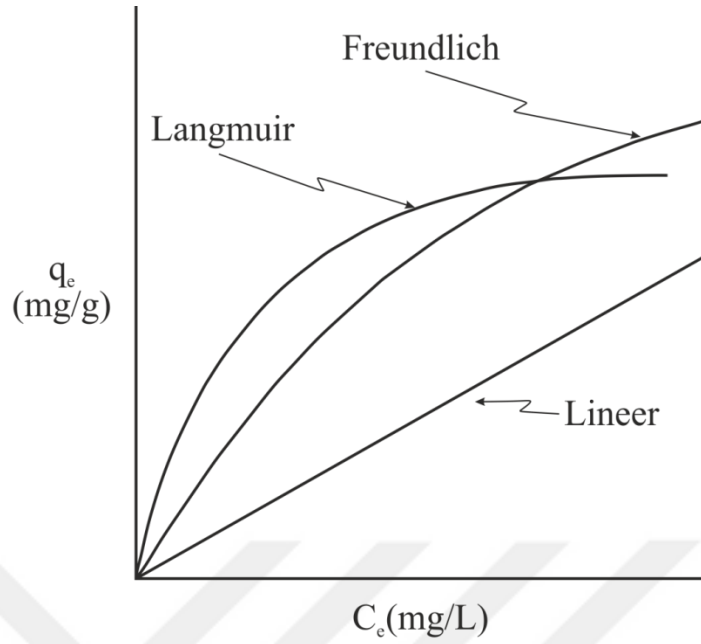
<b>Özellik</b>	<b>Fiziksel Adsorpsiyon</b>	<b>Kimyasal Adsorpsiyon</b>
Adsorpsiyon sıcaklığı	Düşük sıcaklıklarda gerçekleşir	Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir
Adsorban – adsorbat ilişkisi	Adsorpsiyon adsorban – adsorbat cinsine bağlı değildir. Herhangi bir adsorban – adsorbat arasında gerçekleşebilir	Adsorban – adsorbatın kimyasal uyumu ile gerçekleşebilir
Adsorpsiyonun etkin kuvvetleri	Zayıf Van der Waals kuvvetleri	Kuvvetli kimyasal bağlar
Tersinirlik	Tersinirdir	Tersinmezdir
Desorpsiyon	Kolaydır	Güçtür
Adsorpsiyon ısısı	10 – 20 kJ/mol	40 – 400 kJ/mol
Yüzeyin örtülmesi	Tek veya çok tabakalı	Tek tabakalı

#### Adsorpsiyon izotermi

Adsorplanan madde miktarı, adsorban ve adsorbat yapısına, adsorbanın yüzey özelliklerine, adsorbatın yığın derişimine, ortam sıcaklık ve basıncına bağlıdır.

Sabit sıcaklıkta birim adsorban tarafından adsorplanan miktarın denge çözeltisi derişimi ya da basıncı ile ilişkisine adsorpsiyon izotermi denir (Kertmen, 2006).

Yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon izotermi; Lineer, Freundlich ve Langmuir'dir. Akışkan faz içinde bir çözünenin derişimi ile onun katı üzerindeki derişimi arasındaki denge, bir sıvı içinde gazın denge çözünürlüğüne benzer. Veriler Şekil 2.8' de gösterildiği gibi, adsorpsiyon sabit sıcaklıkta denge çizgileri (izotermi) olarak grafiğe geçirilirler (Geankoplis, 1993).



**Şekil 2.8.** Sabit sıcaklık adsorpsiyonlarının bazı yaygın tipleri

Lineer (doğrusal) yasaya uyan veriler, Henry yasasına benzer bir eşitlik ile ifade edilebilir:

$$q_e = K C_e \quad (2.7)$$

$q_e$ : Birim adsorbent üzerinde toplanan madde miktarı (mg/g)

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrasında çözelti içerisinde kalan madde miktarı (mg/L)

$K$ : Deneysel olarak belirlenen lineer denge sabiti (L/g)

Bu doğrusal sabit sıcaklık izotermi çok yaygın değildir, fakat seyreltik bölgede birçok sistem için verilere yaklaşım yapmak amacıyla kullanılabilir.

Ampirik olan Freundlich sabit sıcaklık izoterm eşitliği, çoğu fiziksel adsorpsiyon sistemleri için çoğunlukla verilere bir yaklaşım sunar ve özellikle sıvılar için yararlıdır:

$$q_e = K C_e^n \quad (2.8)$$

Burada  $K$  ve  $n$  sabitler olup deneysel olarak belirlenmelidirler. Eğer  $c'$ 'ye karşı  $q$  için bir log-log grafiği çizilirse, eğim boyutsuz üs  $n$ 'dir.  $K$ 'nin boyutları  $n$ 'nin değerine bağlıdır.

Langmuir sabit sıcaklık çizgisi teorik bir temele sahiptir ve aşağıdaki ifade ile verilir.

$$q_e = (q_0 C_e) / (K + C_e) \quad (2.9)$$

$q_0$ : Adsorbent maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

## 2.7. Dezenfeksiyon Yan Ürünleri ve Dezenfeksiyon Öncüllerinin Giderimi İle İlgili Çalışmalar

Bao ve ark. (1999), içme suyunda bulunan bromat iyonunun giderilmesi için granül aktif karbon kullanımının uygunluğunu küçük ölçekli dik bir kolon test metodu (RSSCT) ve pilot ölçekli bir çalışma yaparak incelemiştir. RSSCT sonuçlarına göre, giderilen bromat iyonu miktarının kullanılan aktif karbon özelliğine, suyun kalitesine ve boş yatak temas süresine (EBCT) bağlı olduğunu belirtmiştir. Çözünmemiş organik karbon ve bromür, nitrat, sülfat gibi anyonların varlığı bromatın giderimini düşürmektedir. Diğer yandan, bromat iyonu giderimi artan EBCT ile artmıştır. Kullanılan granüler aktif karbonun uzaklaştırma kapasitesi termal rejenerasyon ile tamamen geri kazanılabilir. Yapılan pilot çalışmada 20 dk EBCT ile çalışılan, 10 cm çap, 130 cm uzunlukta, 0,09-0,11 mm çapa sahip aktif karbon ile doldurulmuş kolonda, 510 ml/dk akış hızıyla %92'lere varan bromat iyonu giderimi sağlanmıştır. Uzaklaştırılan bromat iyonu miktarı kolona giren bromat iyonu derişimiyle orantılıdır.

Kristis ve ark. (2000), işlenmemiş ve asitle yıkanmış granüler aktif karbon ile sudan bromat iyonu giderimini gözlemlemiştir. Ön arıtmada doğal organik kirleticilerin uzaklaştırılmasında biyolojik aktif karbon filtresi kullanılmış ve granüle aktif karbonun ömrünün uzatılması sağlanmıştır.



Huang ve ark. (2004), içme suyunda bulunan bromat iyonunun giderilmesi için granüler aktif karbon kullanımının uygunluğu RSSCT metodu ve pilot ölçekli bir çalışma yapılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre uzaklaştırılan bromat iyonu granüler aktif karbon kapasitesi, granüler aktif karbon yüzey karakteristiğine ve EBCT'ye bağlıdır. Granüler aktif karbon ile birlikte birçok bazik grup ve yüksek pH değerleri bromat iyonu uzaklaştırma kapasitesinin arttığını göstermiştir. Diğer yandan artan EBCT ile bromat iyonu giderimi de gelişmiştir. Granüler aktif karbon pilot işletmede, 15 dk EBCT ile çalıştırılan 12 ay önce yüklenmiş bir granüler aktif karbon kolonunda bromat iyonu giderimi ve özümsebilir organik karbon (AOC) giderimi sırasıyla %7-96 ve %41-85 arasındadır. Uzaklaştırılan bromat iyonu miktarı sisteme verilen bromat iyonu derişimiyle orantılıdır.

Deneyle sonucunda; bromat iyonu ve AOC uzaklaştırılma hızı başlangıçtaki granüler aktif karbondan biyolojik aktif karbona kadar sırasıyla %12 w/w ve %27 w/w olarak hesaplanmıştır. Ancak, işletme süresinin artmasıyla -3 ay sonra- bromat iyonu uzaklaştırma hızı azalmıştır.

Asami ve ark. (1999), granül aktif karbon ve biyolojik aktif karbon kullanarak kesikli bromat iyonu indirgeme deneyleleriyle bromatı bromüre indirgemedede granüler aktif karbonunun yeterliliğini ve Biyolojik aktif karbonun yetersizliğini onayladılar. Deneylede yeni granüler aktif karbon ile değiştirilebilir bromat iyonunun sınırlı olduğu belirtildi. Uzun süreli yapılan deney sonuçları temel alınarak; yeni granüler aktif karbonundan biyolojik aktif karbona geçiş sırasındaki bromat iyonu uzaklaştırma hızı 50 µg/L bromat derişimi için 1,5 mg BrO<sub>3</sub>/g karbon olarak hesaplanmıştır. Biyolojik aktif karbonun bromatı indirgemedeki yetersizliği organik madde hedef değerlerini korurken ozonlama şartlarını iyileştirmeyi, bromat iyonu ve diğer yan ürünlerin oluşumunu azaltmayı gerekli hale getirdiğini bulmuşlardır.

Konsowa (2009), granül aktif karbon kullanarak bromat iyonları ile kirlenmiş suyun temizlenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır. İçme suyunun dezenfeksiyonu sırasında oluşan bromat iyonunun, DSÖ çerçevesinde izin verilen 10 µg/L değerine ulaşabilmek için, granül aktif karbonlu yatak reaktörün bromat adsorpsiyonu ve

bromat giderim hızını etkileyen değişik parametreler (başlangıçtaki bromat derişimi, çözeltilinin akış hızı, kolonla temas süresi ve sıcaklık) incelenmiştir. Kolonla temas süresi ve sıcaklıktaki artış ile bromat giderim hızı artarken, başlangıçtaki bromat derişimi ve çözeltilinin akış hızının artması ile bromat giderim hızı azalmıştır. Başlangıçtaki bromat derişiminin 1 ppm'den 10 ppm'e artması durumunda, bromat giderimi %22 azalmıştır. Çözelti akış hızının 14 cm<sup>3</sup>/s 'den 333 cm<sup>3</sup>/s ' ye artması durumunda ise bromat giderim hızı beklenmedik bir şekilde %44 düşüş göstermiştir. Sıcaklığın 25 °C'den 60 °C'ye çıkması ile bromat iyonu giderimi %20 artış gösterirken, kolonla temas süresinin 0,2 dakikadan 4,67 dakikaya çıkması ile bromat giderimi %45 artış göstermiştir. Granül aktif karbonlu yatak reaktör ile bromat iyonu gideriminde %95 verim elde edilerek, bromat iyonu giderimi konusunda oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Wang ve ark. (2010), toz aktif karbonla bromat iyonu giderimini çeşitli koşullar altında yıkama yaparak gerçekleştirmişlerdir. Ahşap esaslı karbon, meyve esaslı karbon, kömür esaslı karbon ve bu üç karbonun azot atmosferi altında sıcaklıkla deokside edilmesiyle elde edilen altı çeşit toz aktif karbonun bromat iyonu giderme kapasiteleri üzerine araştırma yapılmıştır. En yüksek zeta potansiyel değeri, zengin gözenekli yapısıyla kömür esaslı aktif karbon bromat iyonu adsorpsiyonunda etkili sonuç vermiştir.

Matos ve ark. (2008), iyon değiştirici membran bioreaktör ile bromat iyonu giderimi nitrat miktarının bromür iyonu miktarından daha fazla olduğu durumlarda kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Bromat iyonunun azaltılması yavaş ve nitratın tam olarak azaltılması sonrasında yapılabilmektedir. Her iki iyon derişiminin limit değerinin altına düşürülmüştür. Biyohücrelerde bromat iyonu birikimi gözlemlenmemiştir.

Dong ve ark. (2009), içme suyundan demir sülfatla bromat iyonu gideriminde FeSO<sub>4</sub> derişimi, pH, reaksiyon süresi, çözülmüş oksijen derişiminin bromat üzerine etkisini araştırmışlardır. Başlangıçta yaklaşık 25 µg/L olan bromat iyonu derişimi, pH ise 7.2, DO derişimi ise 2,3 mg/L, sıcaklık ise 25 °C' dir. Bu koşullarda bromat miktarı 8,6

$\mu\text{g/L}$  azalarak, standartlardaki derişim miktarına ulaşmıştır. Bu çalışmada granüler aktif karbon kolonu 4 m yüksekliğinde olup 0,34 m çapındadır.

Westerhoff (2003), içme sularında bulunan nitrat, klorat, bromat'yi elektrokimyasal yöntemle gidermek için pH 7'nin altında kesikli ve sürekli sistem çalışmaları yapmıştır. BET yüzey alanları 0,016 dan 14,1  $\text{m}^2/\text{g}$  kadar, çapları ise tozdan 5 mm'e kadar değişen 7 farklı  $\text{Fe}^0$  kullanılmıştır. Çalışmalar sonucunda giderim sıralaması  $\text{BrO}_3^- > \text{ClO}_3^- > \text{NO}_3^-$  şeklindedir. En yüksek giderilme oranı %90 ile bromata aittir. Bu işlem yaklaşık olarak 20 dakika sürmüştür. Nitrat ise aynı sürede en düşük giderilme oranına sahip olan anyon olup sadece %10'u giderilmiştir. Fakat kullanılan bu metaller veya metal katalizörleri çeşitli yan ürünlerin oluşmalarına sebep olabilir. Yapılan bu çalışmada oluşan amonyak, hipobromit ve hipobromus asit bunlara örnektir.

Asuncao ve ark. (2011), sülfat azaltan bakteri zenginleştirme konsorsiyumundan, bromat giderme gücüne sahip ve son derece dirençli bir bakteri topluluğu elde etmişlerdir. Bu bakteri topluluğu sayesinde, 40  $\mu\text{M}$  bromat ve 10 mM sülfat içeren sulu çözeltiden %96 bromat giderimi ve %99 sülfat giderimi elde etmişlerdir. Bromatın %93'ü sülfat yokluğunda giderilmiştir. Bu koşullar altında bromat, stokiyometrik olarak bromüre indirgenmiştir. Sülfat varlığında bromatın ancak %88'i bromüre dönüştürülmüştür. Bromat gideriminin sülfat yokluğundan etkilenmemesine rağmen, bu anyon bakteri topluluğunun yapısı üzerinde bir değişiklik meydana getirmiştir. Filogenetik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, sülfat ve bromat iyonu varlığında büyüyen bakteri topluluğu, hemen hemen aynı cins olan Clostridium ve Citrobacter' den oluşurken; sülfat yokluğunda büyüyen bakteri topluluğu, ağırlıklı olmak üzere Clostridium cinsinden oluşmaktadır. İlk defa bu çalışma ile, Clostridium ve Citrobacter cinslerinin bromat iyonu giderim gücü üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca, çoğunluklu olarak Clostridium ve Citrobacter cinslerinden oluşan konsorsiyumun bromat iyonu giderimi, enzimatik indirgeme ve hücre dışı metabolik ürünleri kapsarken, Clostridium cinsinden oluşan konsorsiyumun bakteri giderimi sadece enzimatik süreci kapsamaktadır.

Downing ve Nerenberg (2006), sürdürülebilir biyolojik bromat giderimini, bir hidrojen bazlı membran biyofilm reaktörde gerçekleştirmişlerdir. Reaktöre giriş akımı, 1 mg/L bromat ve 5 mgN/L iken çıkış akımı 0,12 mg/L bromattır. Günlük bromat akışı 1,1 g bromat/m<sup>2</sup> 'dir. Bromat giriş akımı 4 mg/L'ye arttırıldığı durumda, bromat iyonu çıkış akımı 3,5 mg/L olurken günlük bromat iyonu akışı da 0,92 g bromat/m<sup>2</sup> 'ye ulaşmaktadır. Bu her iki koşulda da, nitrat tamamen giderilirken, bromatın da stokiyometrik olarak bromüre dönüştüğü belirlenmiştir. Giriş akımından nitratın çıkarılması durumunda, bromat ilk olarak 4 mg/L 'den 3,4 mg/L' ye düşmüş ve zamanla bu düşüş 2 mg/L 'ye kadar ulaşmıştır. Nitrat yokluğundaki bromat giderimi, hidrojen oksitleyen bromat giderici bakterilerin var olduğunu düşündürmektedir. Tüm bunlara ek olarak, 100 µg/L bromat, içme suyundaki değere yakın bir değer, ve 5 mgN/L nitrat ile çalışılmıştır. Çıkış akımında 10 µg/L bromat içeriğinin altına düşülerek, içme suyu standartlarına ulaşılmıştır. Bu veriler sonucunda, hidrojen bazlı membran biyofilm reaktörün, içme suyundaki bromat ve nitratın giderimi konusunda oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Farooq ve ark. (2012), içme suyu dezenfeksiyonu sırasında oluşabilecek bromat iyonu giderimi için, yüzeyi değiştirilmiş toz aktif karbon sentezlemiş ve bu aktif karbonu bromat iyonu giderimi için kullanmışlardır. Yüzey değiştirme işlemi için, üç tane yüzey aktif madde (CPC, CTAC, CTAB) kullanılmıştır. İşlem parametreleri, pH ve temas süresinin etkileri incelenmiştir. Ayrıca aktif karbon mekanizmasına, bromat iyonu adsorpsiyonu üzerinde çalışılmıştır. Aktif karbon uygulanmamış ile karşılaştırıldığında, CTAC yüzey aktif maddesi kullanılarak hazırlanan toz aktif karbonun, bromat iyonu adsorpsiyonunun üç kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında, aktif karbon ile içme suyundan bromat iyonu gideriminin etkili bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

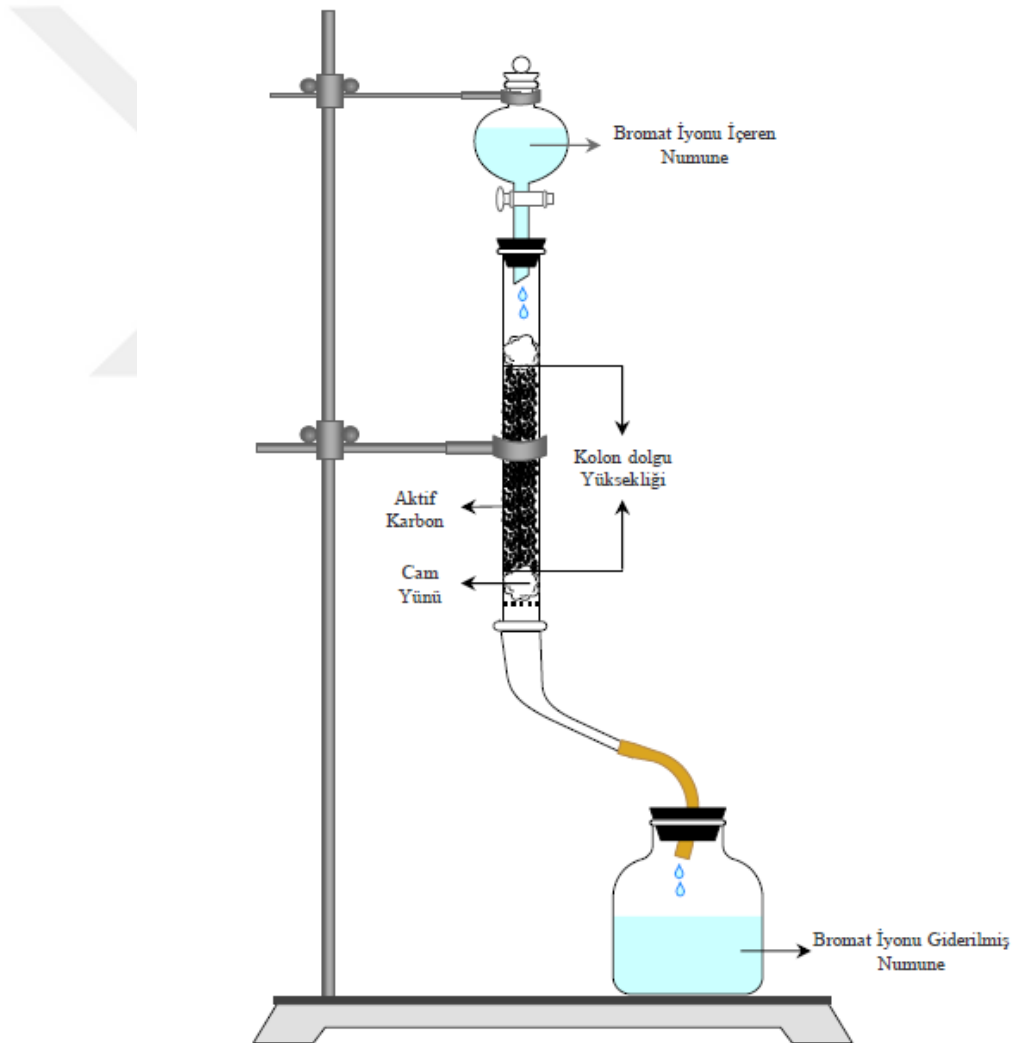
Kishimoto ve ark. (2012), elektrolitik akış hücresi kullanarak, sudan bromatın hızlı bir şekilde giderilmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bromat gideriminde kullanılacak bakır elektrot dönüşümlü voltmetre ile belirlenmiştir. Bakır tabakalı elektrolitik akış hücresi ile, pH 'ın nötr olduğu noktada bromatın bromüre dönüşümü başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Reaksiyon hız sabiti  $k=0,00224 \text{ s}^{-1}$  olarak

hesaplanmıştır. 3,6 dakika etkileşim sürecinin ardından, pH kontrolü olmadan musluk suyundaki bromat iyonu derişimi 30  $\mu\text{g/L}$  'den 10  $\mu\text{g/L}$  'ye düşmüştür. Bu nedenle, elektrokimyasal prosesin bromat iyonu giderimi için uygun bir yöntem olabileceği gözlemlenmiştir.

Mylykangas ve ark. (2005), su dezenfeksiyonu sırasında yan ürünlerin oluşumuna dezenfektanların etkisini incelemek için, yüksek bromür iyonu içeren suya, ozonlama veya hidrojen peroksitli ve hidrojen peroksitsiz klorlama işlemleri uygulanmıştır. pH 5,8 ve pH 7 de yapılan ozonlama işlemleri karşılaştırıldığında pH 5,8 'de daha az bromat oluşumu gözlemlenmiştir. Klor miktarı 2,3 mg/L'den 1 mg/L 'ye trihalometan oluşumu 100  $\mu\text{g/L}$ 'den 50  $\mu\text{g/L}$ 'ye düşmektedir. Dezenfeksiyon sırasında ozon kullanımının, yan ürünlerin oluşması adına iyi sonuçlar verebileceği gözlemlenmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, içme suyu kaynaklarının ozonlama ile dezenfeksiyonu sırasında bromür iyonu içeren sularda oluşabilecek olan bromat iyonunun giderimi için çalışmalar yapılmıştır. Giderim dikey kolonlarda (Şekil 3.1) adsorpsiyon yöntemi ile sağlanmıştır. Adsorbat olarak saf ve modifiye edilmiş granüler aktif karbonlar kullanılmıştır. Çalışmaların anlatımında bromür iyonu ve bromat iyonu ve granüler aktif karbon yerine sırası ile bromür, bromat ve aktif karbon denilecektir.



Şekil 3.1. Bromat iyonu giderimi için kullanılan dikey granüler aktif karbon kolonu

Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle sentetik bromür iyonu çözeltileri hazırlanıp ozonlanarak bromat iyonu oluşumu gerçekleştirilip giderimi sağlanmıştır. Daha sonra sentetik bromat iyonu çözeltileri hazırlanıp farklı aktif karbon kolonlarda giderimi sağlanmıştır. Son olarak da bromür içeren içme suyu kaynaklarından alınan numuneler ile çalışılmıştır.

### 3.1. Aktif Karbon Modifikasyonları

Adsorban olarak granüler aktif karbon kullanılan bu çalışmada aktif karbonun modifikasyonlarının bromat iyonu giderimi üzerindeki etkisini incelemek için 1 M HCl, 0,1 M NaOH ve %15 lik  $\text{NH}_3$ 'lik çözeltiler ile modifiye edilmiştir. Modifiye edilmiş aktif karbonlar Jeol marka JSM-7001F model SEM cihazı ile görüntüleri alınmıştır.



Resim 3.1. SEM cihazı

### **3.1.1. Saf aktif karbonun hazırlanması**

Piyasadan granüler halde teknik aktif karbon temin edilmiştir. Granüler aktif karbon karışık tanecik boyutuna sahip olduğundan elenerek ayrılmıştır. Kullanılan aktif karbon 0,4-0,8 mm ile 1,4-1,7 mm aralıklarında seçilmiş ve saf su ile tamamen berraklaşana kadar yıkanmıştır. Yıkanan aktif karbon 24 saat boyunca 105°C'de etüvde tutulmuştur. Kurutulmuş aktif karbonlardan 1,4-1,7 mm tane boyutunda olanı daha sonra modifiye aktif karbonların hazırlanmasında da kullanılmıştır. Aktif karbonun saf hali AK-0 olarak adlandırılmıştır.

### **3.1.2. Aktif karbonun HCl ile modifikasyonu**

Hazırlanmış AK-0 numunesinden 40gr±1gr üzerine 400mL 1 M HCl çözeltisi eklenmiş ve çalkalayıcıda 24 saat boyunca tutulmuştur. Modifiye edilen aktif karbon saf su ile yıkanarak 24 saat boyunca 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Aktif karbonun HCl ile modifikasyonu AK-1 olarak adlandırılmıştır.

### **3.1.3. Aktif karbonun NaOH ile modifikasyonu**

AK-0 numunesinden 40gr±1gr üzerine 400mL 0,1 M NaOH çözeltisi eklenmiş ve çalkalayıcıda 24 saat boyunca tutulmuştur. Modifiye edilen aktif karbon saf su ile yıkanarak 24 saat boyunca 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Aktif karbonun NaOH ile modifikasyonu AK-2 olarak adlandırılmıştır.

### **3.1.4. Aktif karbonun NH<sub>3</sub> ile modifikasyonu**

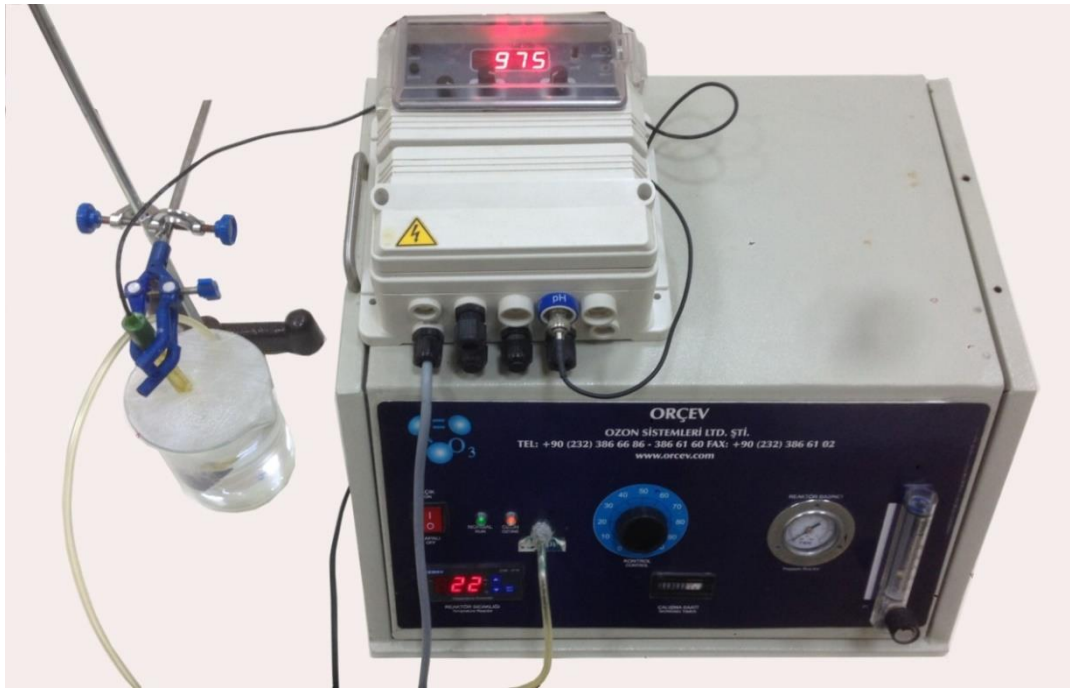
AK-0 numunesinden 40gr±1gr üzerine 200mL %15 lik NH<sub>3</sub> çözeltisi eklenmiş ve çalkalayıcıda 24 saat boyunca tutulmuştur. Modifiye edilen aktif karbon saf su ile yıkanarak 24 saat boyunca 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Aktif karbonun NH<sub>3</sub> ile modifikasyonu AK-3 olarak adlandırılmıştır.



### 3.2. Sentetik Çalışmalar

Sentetik bromür iyonu çözeltileri KBr kullanılarak 200, 600, 1000 µg bromür/L'lik derişimlerde, sentetik bromat iyonu çözeltileri ise KBrO<sub>3</sub> kullanılarak 350, 750, 1000 ve 2000 µg bromat/L derişimlerinde hazırlanmıştır.

Farklı başlangıç derişimleri kullanılarak yapılan bu çalışmada aktif karbon boyutunun, aktif karbon modifikasyonunun, kullanılan kolon çapının, kolon yüksekliğinin ve boş yatak temas süresinin bromat iyonu giderimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla adsorbant olarak 0,4-0,8 mm, 1,4-1,7 mm çaplarında 2 farklı boyutta saf aktif karbon, 1,4-1,7 mm çapındaki aktif karbonun HCl, NaOH, NH<sub>3</sub> ile modifiye edilmiş halleri ile çalışmalar yapılmıştır. Bu aktif karbonlar kullanılarak kolon çapının giderim üzerindeki etkisini incelemek için çapları 1, 2, 3 cm, kolon yüksekliği etksi için yükseklikleri 2, 5, 10 cm olan kolonlar hazırlanmıştır. Kolonda boş yatak temas süresinin etkisini gözlemlemek için ise akış hızı 10, 25 ve 50 ml/dk olan çalışmalar yapılmıştır. Hazırlanan sentetik bromür iyonu çözeltileri laboratuvar tipi ozon cihazı ile 30 dakika boyunca 2 ppm ozon miktarına kadar ozonlanmıştır.

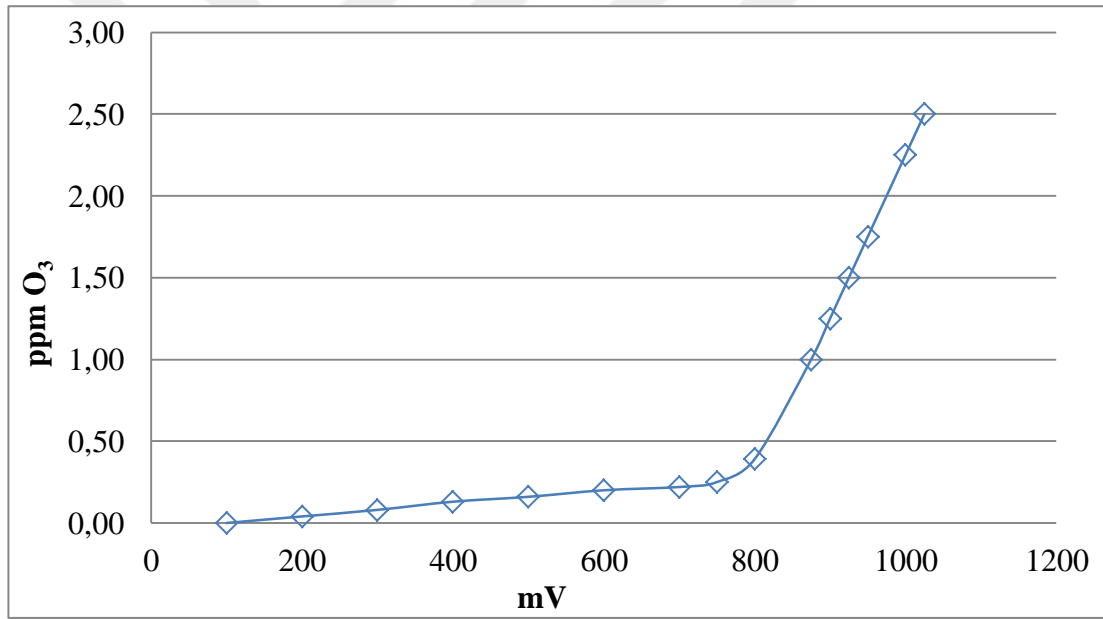


**Resim 3.2.** Laboratuvar tipi ozon cihazı

Ozon ölçümü için kullanılan ozon ölçüm cihazı ile mV olarak okumamızı sağlamaktadır. mV cinsinden okunan değerler Çizelge 3.1 kullanılarak ppm'e çevrilmiştir. Regülatörün mV-ppm O<sub>3</sub> kalibrasyon eğrisi Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Ozon ölçüm cihazı için mV-ppm O<sub>3</sub> dönüşüm değerleri

mV	100	200	300	400	500	600	650	700	750
ppm	0,00	0,04	0,08	0,13	0,16	0,20	0,21	0,22	0,25
mV	800	860	875	900	925	950	975	1000	1025
ppm	0,39	0,50	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50



**Şekil 3.2.** Ozon ölçüm cihazı için mV-ppm O<sub>3</sub> kalibrasyon eğrisi

200 ve 1000 µg/L'lik çözeltilerin ozonlaması ile oluşan bromat iyonunu gidermek için granüler aktif karbon kolonu, 600 µg/L'lik çözeltisinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonunu gidermek için ise iyon değiştirici reçine ile hazırlanmış kolon kullanılmıştır.

Sentetik bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması sonucu oluşan bromat iyon miktarları Çizelge 3.2’de, oluşan bromat iyonlarını gidermek için kullanılan kolonlarının özellikleri ise Çizelge 3.3’ ve Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonu miktarları

Hazırlanan sentetik bromür çözeltilerinin derişimi ( $\mu\text{g/L}$ )	Ozonlama sonrası çözeltideki bromat iyonu derişimi ( $\mu\text{g/L}$ )	Ozonlama verimi (%)
200	112	56,0
600	590	98,3
1000	718	71,8

**Çizelge 3.3.** Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonlarının gideriminde kullanılan granüler aktif karbon kolonlarının özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	112, 718
	Kullanılan AK	AK-0, AK-1, AK-2, AK-3
Sabitler	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7
	Kolon Yüksekliği (cm)	10
	Kolon Çapı (cm)	2
	Akış Hızı (ml/dk)	25

**Çizelge 3.4.** Sentetik bromür çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonlarının gideriminde kullanılan iyon değiştirici kolonun özellikleri

Başlangıç Derişimi ( $\mu\text{g/L}$ )	600
Kullanılan Kolon Malzemesi	İyon değiştirici reçine
Kolon Yüksekliği (cm)	10
Kolon Çapı (cm)	2
Akış Hızı (ml/dk)	25

Hazırlanan farklı başlangıç derişimlerindeki sentetik bromat iyonu çözeltilerinden bromat iyonunu gidermek için farklı granüler aktif karbon kolonları kullanılmıştır. Çizelge 3.5’de farklı AK, Çizelge 3.6’de farklı kolon yükseklikleri, Çizelge 3.7’te farklı kolon çapları, Çizelge 3.8’da farklı akış hızları, Çizelge 3.9’de ise farklı AK boyutları kullanılarak yapılan çalışmalardaki kolon özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.5.** Bromat iyonu gideriminde aktif karbon modifiyesinin etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonlarının özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	350, 750, 1000, 2000
	Kullanılan AK	AK-0, AK-1, AK-2, AK-3
Sabitler	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7
	Kolon Yüksekliği (cm)	10
	Kolon Çapı (cm)	2
	Akış Hızı (ml/dk)	25

**Çizelge 3.6.** Bromat iyonu gideriminde farklı kolon yüksekliklerinin etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonlarının özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	350, 750, 1000, 2000
	Kolon Yüksekliği (cm)	2, 5, 10
Sabitler	Kullanılan AK	AK-0
	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7
	Kolon Çapı (cm)	2
	Akış Hızı (ml/dk)	25

**Çizelge 3.7.** Bromat iyonu gideriminde farklı kolon çaplarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonlarının özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	350, 750, 1000, 2000
	Kolon Çapı (cm)	1, 2, 3
Sabitler	Kolon Yüksekliği (cm)	10
	Kullanılan AK	AK-0
	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7
	Akış Hızı (ml/dk)	25

**Çizelge 3.8.** Bromat iyonu gideriminde farklı akış hızlarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonlarının özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	350, 750, 1000, 2000
	Akış Hızı (ml/dk)	10, 25, 50
Sabitler	Kolon Çapı (cm)	2
	Kolon Yüksekliği (cm)	10
	Kullanılan AK	AK-0
	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7

**Çizelge 3.9.** Bromat iyonu gideriminde farklı aktif karbon boyutlarının etkisinin incelenmesi için kullanılan kolonların özellikleri

Değişkenler	Başlangıç Derişimleri ( $\mu\text{g/L}$ )	350, 750, 1000, 2000
	AK Boyutu (mm)	1,4-1,7; 0,4-0,8
Sabitler	Akış Hızı (ml/dk)	25
	Kolon Çapı (cm)	2
	Kolon Yüksekliği (cm)	10
	Kullanılan AK	AK-0

### 3.3. Bölgesel İçme Suyu Kaynaklarıyla Yapılan Çalışmalar

Sentetik çalışmalardan sonra Çorum ilinin bölgesel içme suyu kaynaklarının farklı noktalarından örnekler alınarak bromür iyonu tayin edilmiş ve ozonlanarak bromat iyonu oluşumu gözlemlenmiştir. Oluşan bromat iyonu giderimi için Çizelge 3.8’de verilen özelliklerdeki granüler aktif karbon kolonu kullanılmıştır.

**Çizelge 3.10.** Bölgesel içme suyu kaynaklarında ozonlama ile oluşan bromat iyonunun gideriminde kullanılan kolonun özellikleri

Kullanılan AK	AK-0
AK Boyutu (mm)	1,4-1,7
Kolon Çapı (cm)	1
Kolon Yüksekliği (cm)	2
Akış Hızı (ml/dk)	25

### 3.4. Bromat İyonu Ölçüm Yöntemi

Hazırlanan sentetik çözeltilerin ve bölgesel içme suyu numunelerinden alınan numunelerin ham halleri ve kolondan geçtikten sonraki son hallerinin bromat konsantrasyonu kromatografik analiz yöntemlerinden SM 4110 D IC ile tespit edilmiştir. Bromat iyonu ölçümünün yapıldığı Thermo ICS-3000 cihazı Resim 3.3’ te verilmiştir.



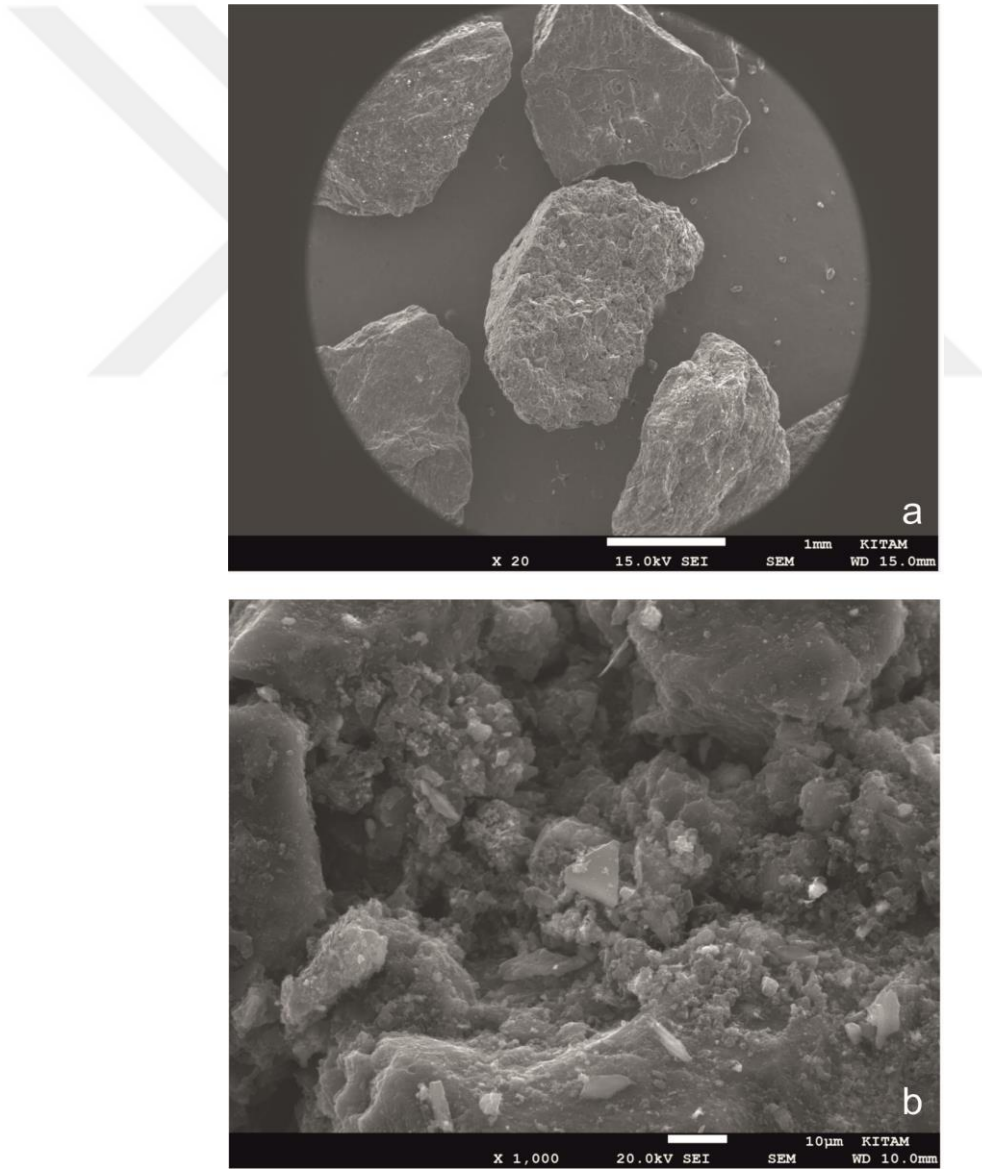
**Resim 3.3.** Bromat iyonu ölçümü için kullanılan HPLC

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin SEM Görüntüleri

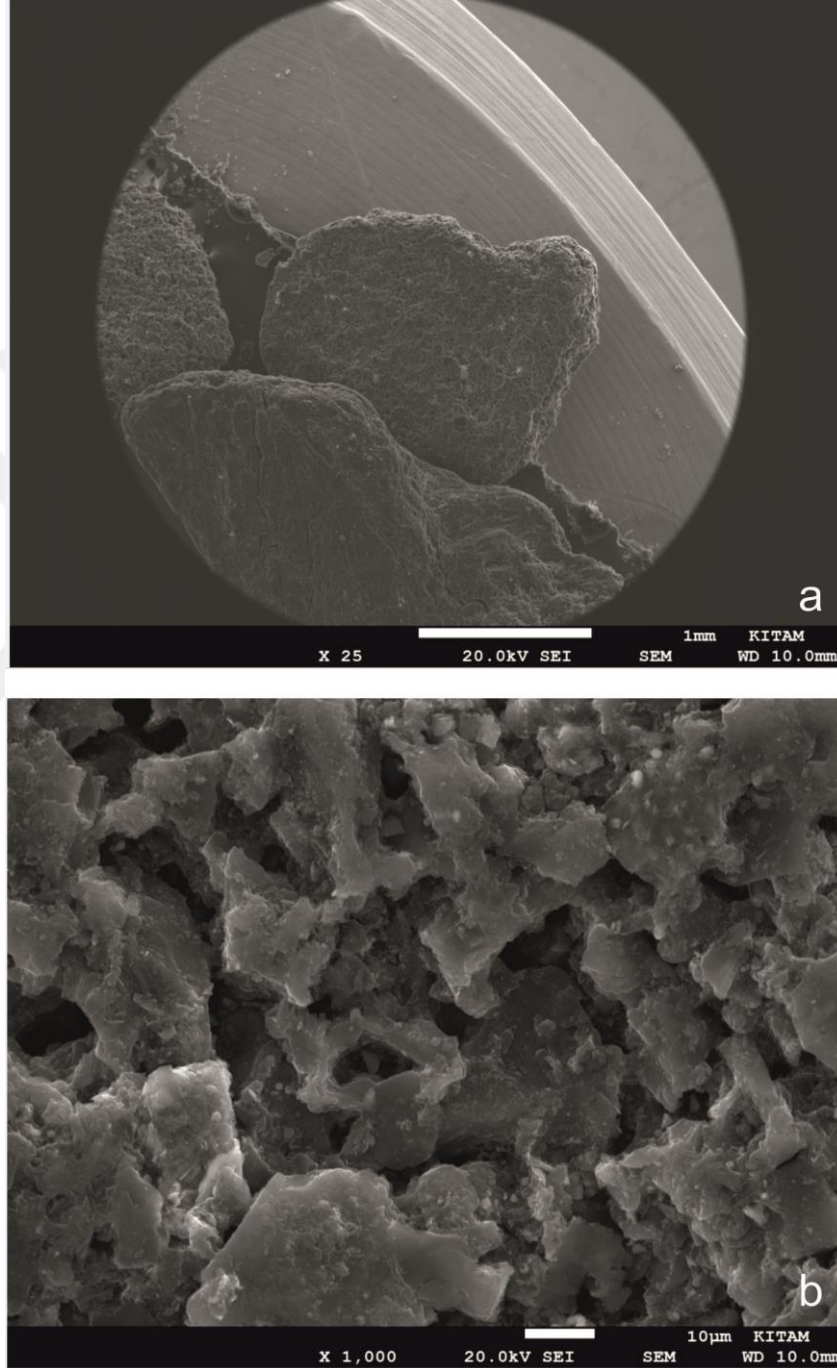
Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen saf ve modifiye edilmiş aktif karbonların Jeol marka JSM-7001F model SEM cihazı ile görüntüleri alınmıştır.

Resim 4.1-a'da saf haldeki aktif karbonun 20 kat büyütme SEM görüntüsü, Resim 4.1-b'de 1000 kat büyütme SEM görüntüsü görülmektedir.



**Resim 4.1.** AK-0'nin SEM görüntüleri a) 20 kat büyütme b) 1000 kat büyütme

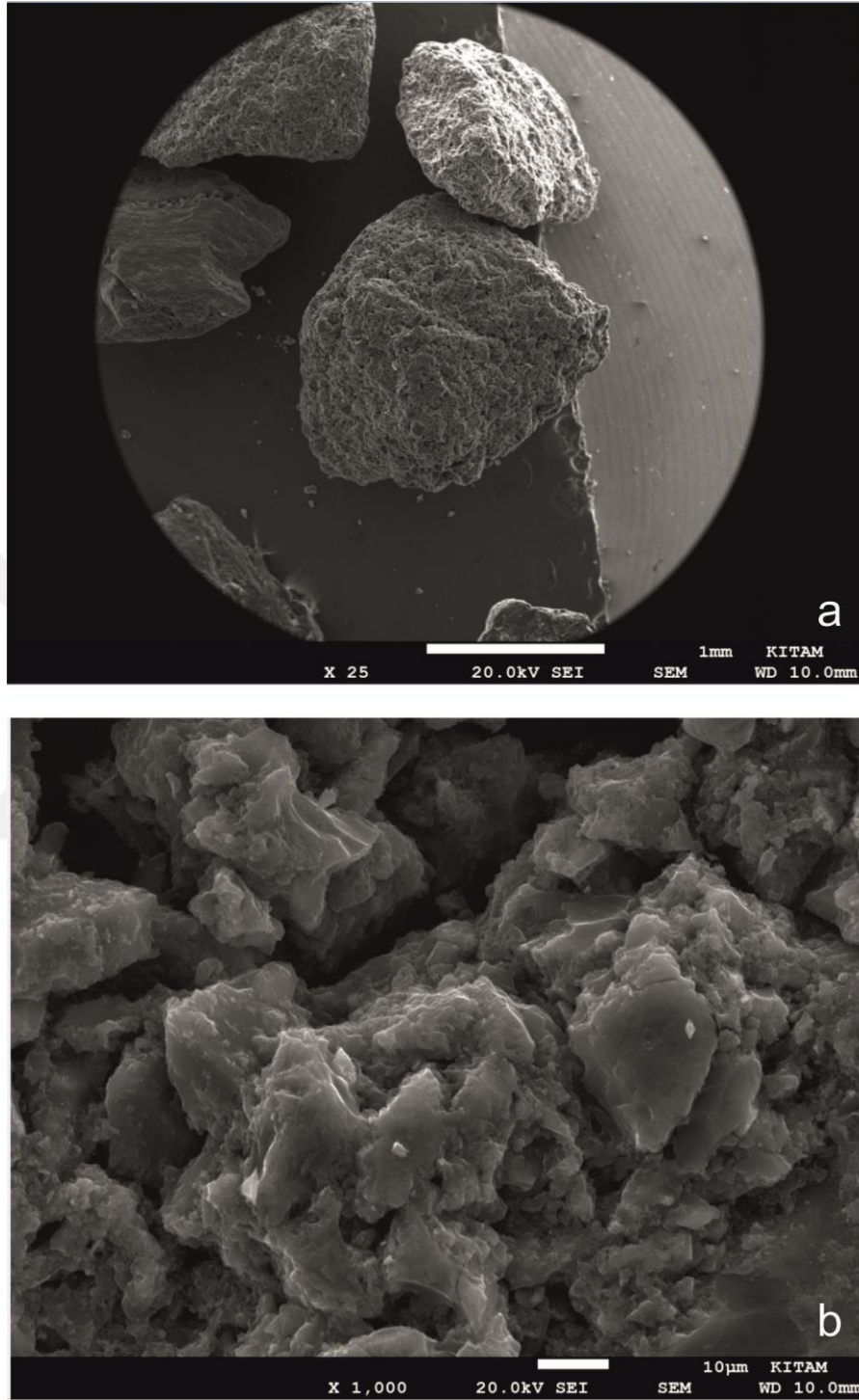
1 M HCL ile modifiye edilen aktif karbona ait 25 kat büyütme SEM görüntüsü Resim 4.2-a'da, 1000 kat büyütme SEM görüntüsü Resim 4.2-b'de görülmektedir.



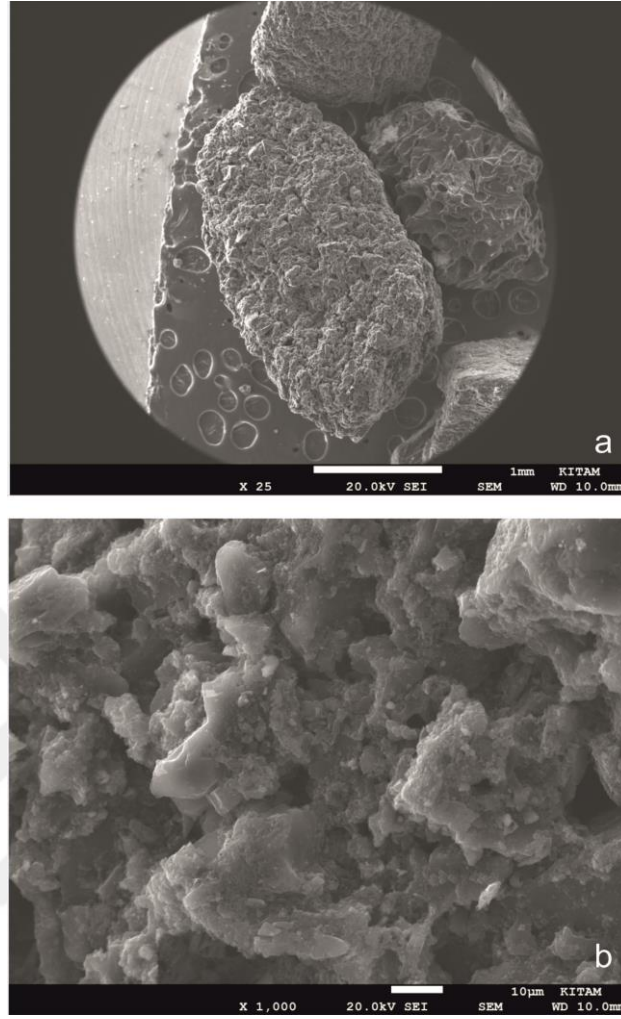
**Resim 4.2.** AK-1'in SEM görüntüleri a) 25 kat büyütme b) 1000 kat büyütme

0,1 M NaOH ile modifiye edilen aktif karbona ait 25 kat büyütme SEM görüntüsü Resim 4.3-a'da, 1000 kat büyütme SEM görüntüsü Resim 4.3-b'de görülmektedir.





**Resim 4.3.** AK-2'nin SEM görüntüleri a) 25 kat büyütme b) 1000 kat büyütme  
%15 lik  $\text{NH}_3$  ile modifiye edilen aktif karbona ait 25 kat büyütmeli SEM görüntüsü  
Resim 4.4-a'da, 1000 kat büyütmeli SEM görüntüsü Resim 4.4-b'de görülmektedir.



**Resim 4.4.** AK-3'ün SEM görüntüleri a) 25 kat büyütme b) 1000 kat büyütme

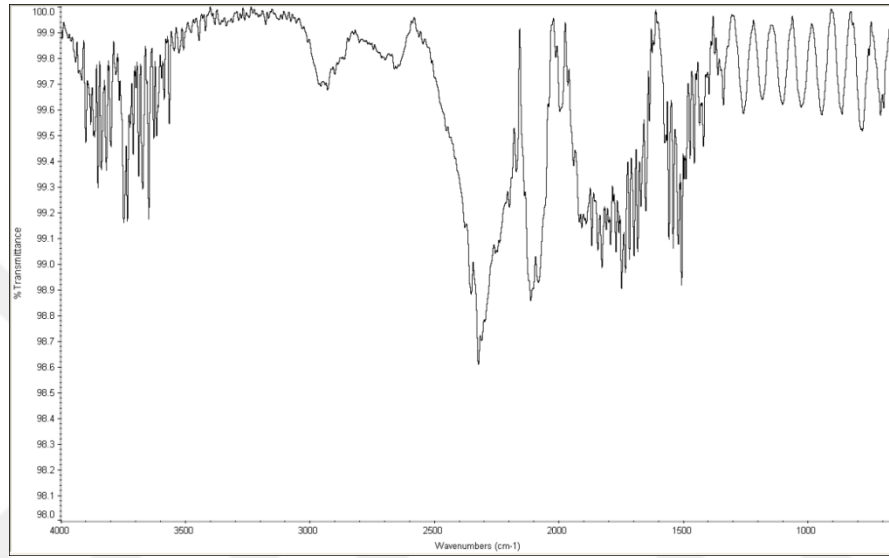
SEM görüntüleri incelendiğinde AK-0'nın 1000 kat büyütüldüğü Resim 4.1'de aktif yüzeyler yanı sıra safsızlıklar olduğu görülmektedir. Modifikasyon sonucu elde edilen AK-1 ve AK-2'nin görüntüleri olan Resim 4.2 ve Resim 4.3'de modifikasyonun olumsuz sonuçlandığı aktif yüzeylerde köelmeler olduğu AK-3'ün görüntüsü olan Resim 4.4'te ise modifikasyonun olumlu netice verdiği aktif yüzeylerin arttığı gözlemlenmiştir.

NaOH ve HCl'nin kuvvetli baz ve asit olması nedeniyle teknik aktif karbonun aktif yüzeylerine olumsuz etki ettiği görülmüştür. Aynı zamanda AK-3 modifikasyonunda kullanılan  $\text{NH}_3$ 'ün molekül ağırlığının AK-1 ve AK-2 modifikasyonunda kullanılan HCl ve NaOH'nin molekül ağırlıklarından oldukça düşük olması sebebi ile modifikasyonda daha olumlu sonuç verdiği düşünülmektedir.

## 4.2. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin FT-IR Sonuçları

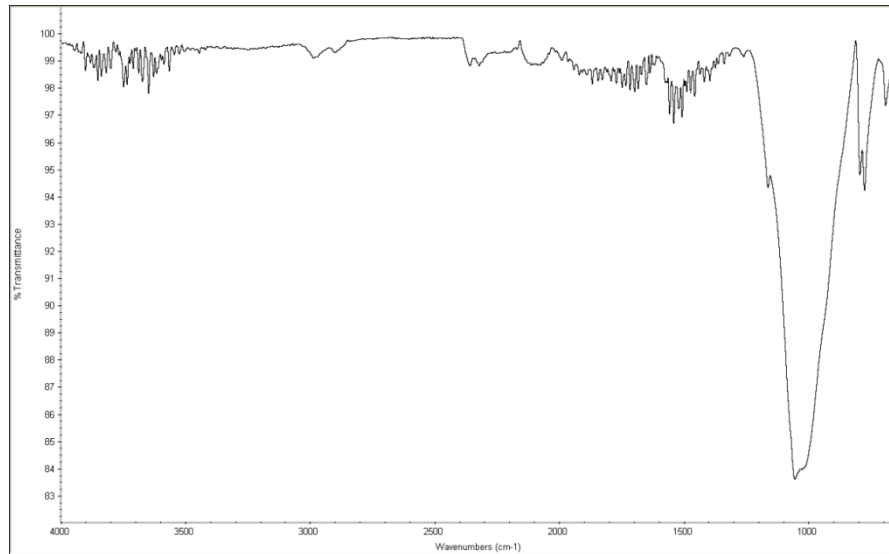
Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen saf ve modifiye edilmiş aktif karbonların THERMO SCIENTIFIC marka iS50 FT-IR model FT-IR cihazı ile pikleri alınmıştır.

Resim 4.5’de saf haldeki aktif karbonun FT-IR sonucu görülmektedir.



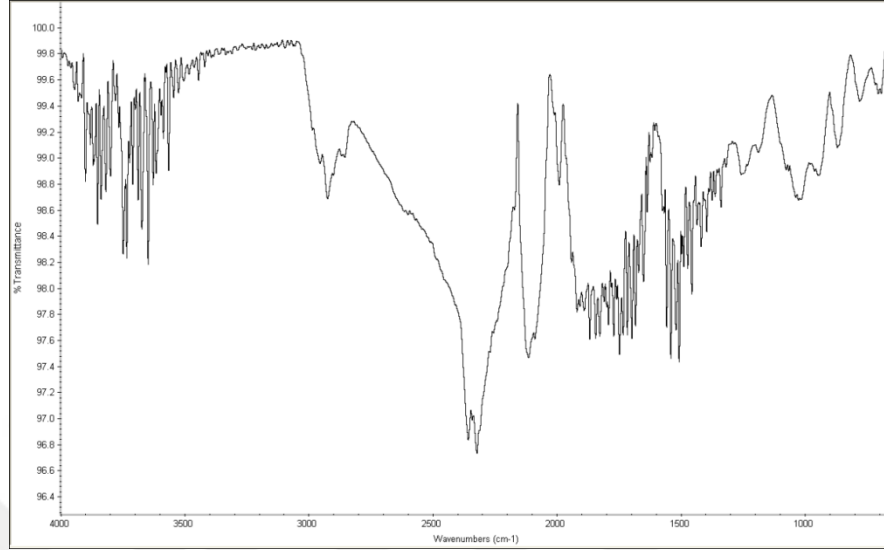
**Resim 4.5.** AK-0’in FT-IR sonucu

Resim 4.6’de 1 M HCL ile modifiye edilmiş aktif karbonun FT-IR sonucu görülmektedir.



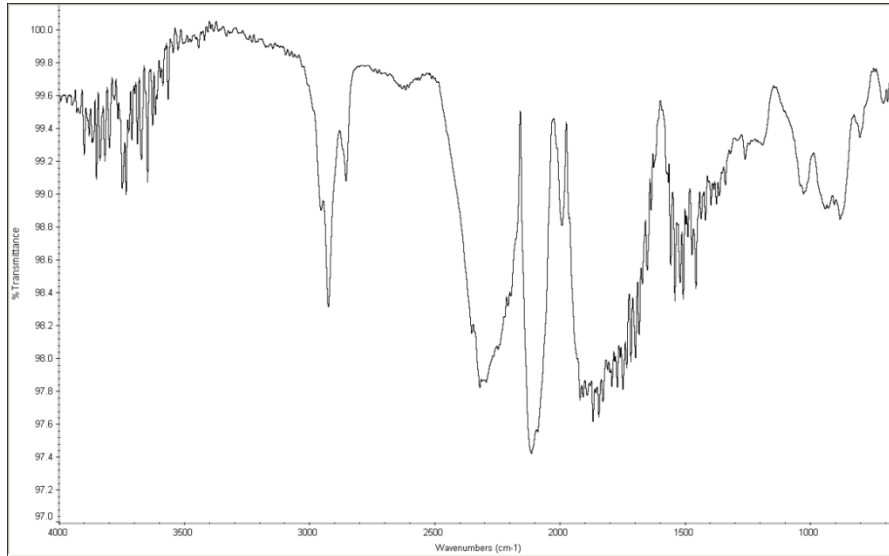
**Resim 4.6.** AK-1’in FT-IR sonucu

Resim 4.7’de 0,1 M NaOH ile modifiye edilmiş aktif karbonun FT-IR sonucu görülmektedir.



**Resim 4.7.** AK-2’nin FT-IR sonucu

Resim 4.8’de %15 lik NH<sub>3</sub> ile modifiye edilmiş aktif karbonun FT-IR sonucu görülmektedir.



**Resim 4.8.** AK-3’ün FT-IR sonucu

Resim 4.5’te saf haldeki aktif karbona ait FT-IR görüntüsü görülmektedir. Görüntü bazı safsızlıklar içermektedir. Resim 4.6-4.8 modifiye edilmiş aktif karbon FT-IR’ları görülmektedir. Aynı şekilde bu görüntülerde de aynı safsızlıklar

bulunmaktadır. Buna neden olarak kullanılan aktif karbonun teknik saflıkta olması gösterilebilir.

### 4.3. Granüler Aktif Karbon Modifiyelerinin Yüzey Alanı Ölçüm Sonuçları

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen saf ve modifiye edilmiş aktif karbonların QUANTACHORME marka cihaz ile sonuçlar alınmıştır. Yüzey alanı hesaplamada eşitlik 4.1 kullanılmıştır.

$$Blaine = \frac{K \text{ sabiti} \times 0,354 \times \sqrt{\text{Hava Geçiş Süresi}}}{\text{Özgül Ağırlık} \times 0,5 \times 0,01345} \quad (4.1)$$

**Çizelge 4.1.** Saf ve modifiye edilmiş aktif karbonların BET yüzey alanları

	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Hava Geçiş Süresi (sn)	SBET (m <sup>2</sup> /g)
Saf Aktif Karbon (Granüler)	2,30	2,0	585,84
NaOH ile Mod. Edilmiş (Granüler)	2,27	2,0	593,58
NH <sub>3</sub> ile Mod. Edilmiş (Granüler)	2,10	2,0	641,63
HNO <sub>3</sub> ile Mod. Edilmiş (Granüler)	2,43	2,0	554,50
Saf Aktif Karbon (Toz)	5,00	50,3	1351,46

### 4.4. Sentetik Çalışmaların Sonuçları

Hazırlanan farklı başlangıç derişimlerdeki sentetik bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması ile oluşan bromat iyonlarının giderim sonuçları Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması sonucu oluşan bromat iyonlarının aktif karbon kolonu ile giderim sonuçları

Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	Kolon Yüksekliği, h (cm)	Kolon Çapı, R (cm)	Kolondaki AK Miktarı, M (g)	Akış Hızı, V (ml/dk)	Başlangıç Derişimi, C <sub>0</sub> (µg/L)	Adsorpsiyon Sonrası Derişim, C <sub>e</sub> (µg/L)	Adsorplanan Derişim, X X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	Adsorbent Adsorpsiyon Kapasitesi, q <sub>e</sub> q <sub>e</sub> = X/M
AK-0	1,4-1,7	10	2	16	25	112	< 2	112	7,00
	1,4-1,7	10	2	16	25	718	200	518	32,38

**Çizelge 4.3.** Bromür iyonu çözeltilerinin ozonlanması sonucu oluşan bromat iyonlarının iyon değiştirici reçine kullanılarak giderim sonuçları

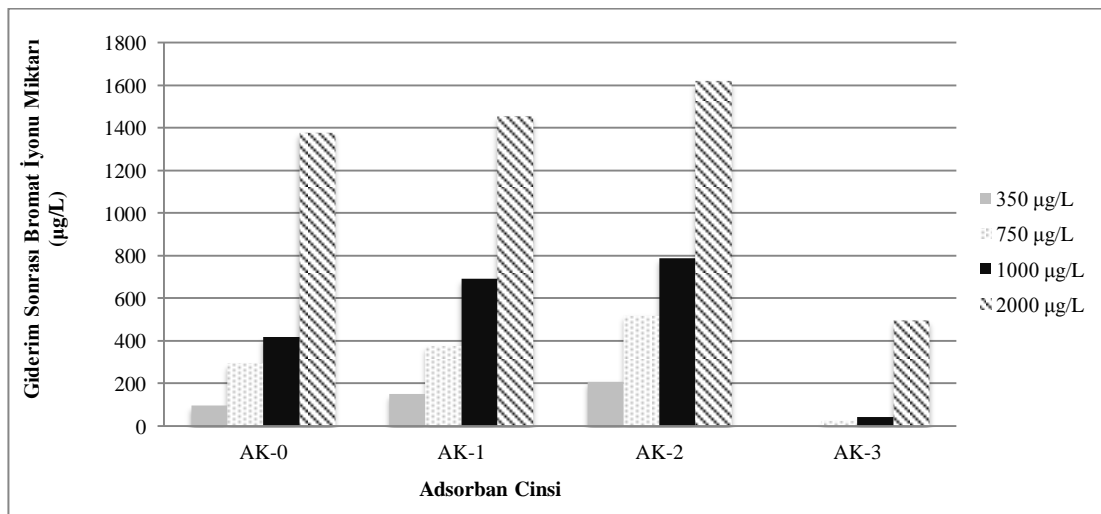
	h (cm)	R (cm)	V (ml/dk)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)
Saf Karışım Reçine	10	2	25	590	578
HCl ile modifiye edilmiş Karışım Reçine	10	2	25	590	597
NaOH ile modifiye edilmiş Karışım Reçine	10	2	25	590	579
NH <sub>3</sub> ile modifiye edilmiş Karışım Reçine	10	2	25	590	591

Hazırlanan farklı başlangıç derişimlerdeki bromat iyonu çözeltilerinden farklı aktif karbon kolonları ile bromat iyonu giderimi sonuçları Çizelge 4.4 - Çizelge 4.8' de verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Farklı başlangıç derişimlerdeki bromat iyonlarının gideriminde aktif karbon modifikasyonlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	h (cm)	R (cm)	M (g)	V (ml/dk)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)	X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub> = X/M	Giderim Yüzdeleri (%)
AK-0	1,4-1,7	10	2	16	25	350	98	252	15,8	72,0
	1,4-1,7	10	2	16	25	750	295	455	28,4	60,7
	1,4-1,7	10	2	16	25	1000	419	581	36,3	58,1
	1,4-1,7	10	2	16	25	2000	1380	620	38,8	31,0
AK-1	1,4-1,7	10	2	16	25	350	151	199	12,4	56,9
	1,4-1,7	10	2	16	25	750	376	374	23,4	49,9
	1,4-1,7	10	2	16	25	1000	692	308	19,3	30,8
	1,4-1,7	10	2	16	25	2000	1458	542	33,9	27,1
AK-2	1,4-1,7	10	2	16	25	350	210	140	8,8	40,0
	1,4-1,7	10	2	16	25	750	520	230	14,4	30,7
	1,4-1,7	10	2	16	25	1000	790	210	13,1	21,0
	1,4-1,7	10	2	16	25	2000	1621	379	23,7	19,0
AK-3	1,4-1,7	10	2	16	25	350	2	348	21,8	99,4
	1,4-1,7	10	2	16	25	750	26	724	46,3	96,5
	1,4-1,7	10	2	16	25	1000	43	957	59,8	95,7
	1,4-1,7	10	2	16	25	2000	499	1501	93,8	75,1

Çizelge 4.4'deki sonuçlar en iyi aktif karbon modifikasyonunun NH<sub>3</sub> ile yapılan olduğunu göstermektedir. Modifikasyon sonucunda bromat iyonu giderim AK-3>AK-0>AK-1>AK-2 şeklindedir.

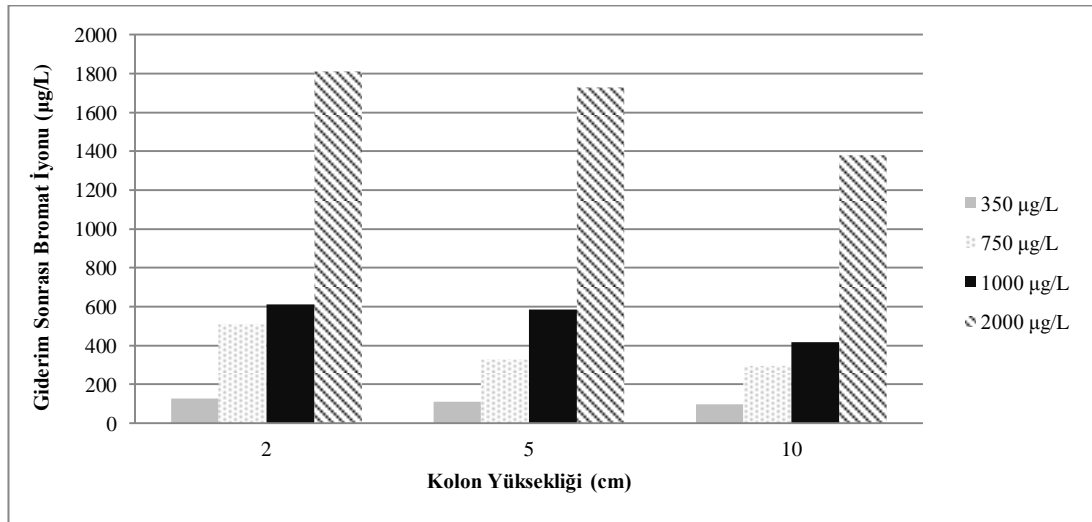


**Şekil 4.1.** Aktif karbon modifikasyonlarının bromat iyonu giderimindeki etkisi

**Çizelge 4.5.** Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı kolon yüksekliği kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

h (cm)	Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	R (cm)	M (g)	V (ml/dk)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)	X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub> = X/M	Giderim Yüzdeleri (%)
2	AK-0	1,4-1,7	2	3,2	25	350	127	223	69,7	63,7
	AK-0	1,4-1,7	2	3,2	25	750	510	240	75,0	32,0
	AK-0	1,4-1,7	2	3,2	25	1000	612	388	121,2	38,8
	AK-0	1,4-1,7	2	3,2	25	2000	1810	190	59,4	9,5
5	AK-0	1,4-1,7	2	8	25	350	111	239	29,9	68,3
	AK-0	1,4-1,7	2	8	25	750	329	421	52,6	56,1
	AK-0	1,4-1,7	2	8	25	1000	584	416	52,0	41,6
	AK-0	1,4-1,7	2	8	25	2000	1730	270	33,8	13,5
10	AK-0	1,4-1,7	2	16	25	350	98	252	15,8	72,0
	AK-0	1,4-1,7	2	16	25	750	295	455	28,5	60,7
	AK-0	1,4-1,7	2	16	25	1000	419	581	36,3	58,1
	AK-0	1,4-1,7	2	16	25	2000	1380	620	38,8	31,0

Kolon yüksekliğinin artması ile bromat iyonu giderimi artmaktadır. Derişim yükseldikçe bu artış rahatça gözlemlenmektedir.



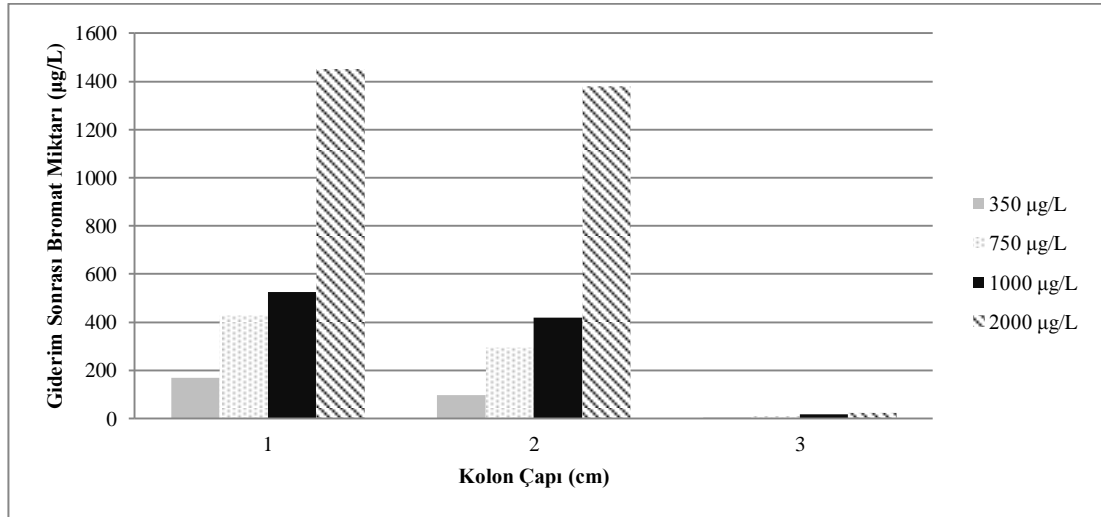
**Şekil 4.2.** Kolon yüksekliğinin bromat iyonu giderimindeki etkisi



**Çizelge 4.6.** Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı kolon çaplarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

R (cm)	Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	h (cm)	M (g)	V (ml/dk)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)	X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub> = X/M	Giderim Yüzdeleri (%)
1	AK-0	1,4-1,7	10	5	25	350	170	180	36,0	51,4
	AK-0	1,4-1,7	10	5	25	750	427	323	64,6	43,1
	AK-0	1,4-1,7	10	5	25	1000	524	476	95,2	47,7
	AK-0	1,4-1,7	10	5	25	2000	1451	549	109,8	27,5
2	AK-0	1,4-1,7	10	16	25	350	98	252	15,8	72,0
	AK-0	1,4-1,7	10	16	25	750	295	455	28,4	60,7
	AK-0	1,4-1,7	10	16	25	1000	419	581	36,3	58,1
	AK-0	1,4-1,7	10	16	25	2000	1380	620	38,8	31,0
3	AK-0	1,4-1,7	10	36	25	350	2	348	9,7	99,4
	AK-0	1,4-1,7	10	36	25	750	9	741	20,6	98,8
	AK-0	1,4-1,7	10	36	25	1000	17	983	27,3	98,3
	AK-0	1,4-1,7	10	36	25	2000	23	1977	54,9	98,9

Kolon çapının artması ile bromat iyonu giderimi artmaktadır. Derişim yükseldikçe bu artış rahatça gözlemlenmektedir.

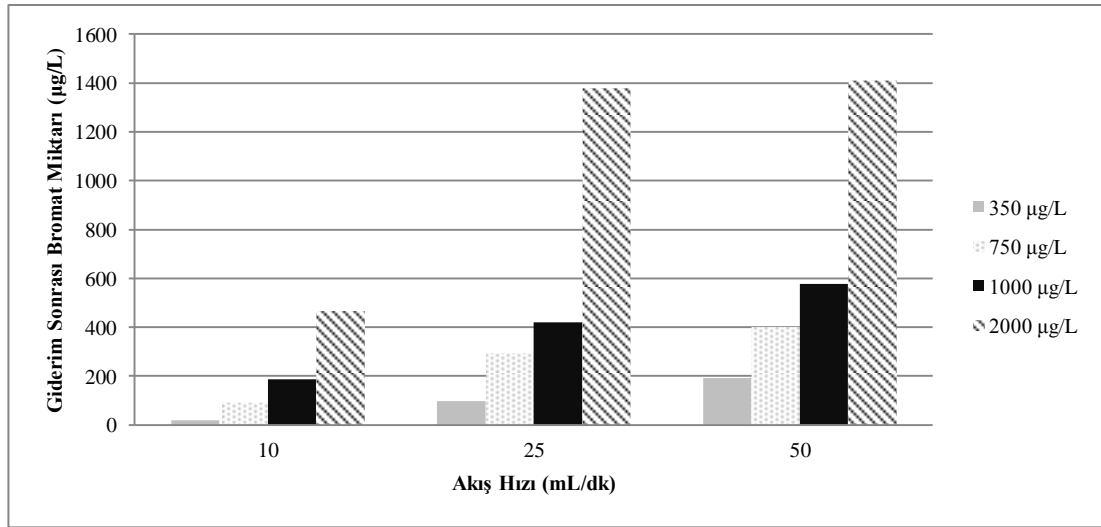


**Şekil 4.3.** Kolon çapının bromat iyonu giderimindeki etkisi

**Çizelge 4.7.** Farklı başlangıç derişimindeki bromat iyonlarının gideriminde farklı akış hızlarının kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

V (ml/dk)	Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	h (cm)	R (cm)	M (g)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)	X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub> = X/M	Giderim Yüzdeleri (%)
10	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	350	20	330	20,63	94,3
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	750	91	659	41,19	87,9
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	1000	187	813	50,81	81,3
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	2000	468	1532	95,75	76,6
25	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	350	98	252	15,75	72,0
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	750	295	455	28,44	60,7
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	1000	419	581	36,31	58,1
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	2000	1380	620	38,75	31,0
50	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	350	192	158	9,88	45,1
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	750	402	348	21,75	46,4
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	1000	578	422	26,38	42,2
	AK-0	1,4-1,7	10	2	16	2000	1410	590	36,88	29,5

Akış hızı arttıkça bromat iyonu gideriminde azalış gözlemlenmiştir. Akış hızı düşürüldüğünde kolonda aktif karbon ile temas süresi arttığı için giderim daha yüksektir.

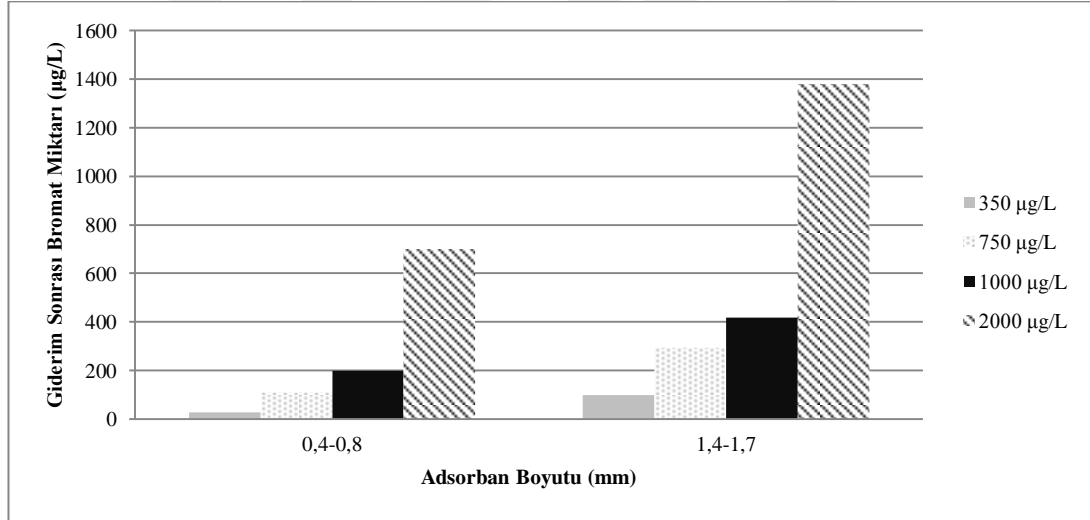


**Şekil 4.4.** Akış hızının bromat iyonu giderimindeki etkisi

**Çizelge 4.8.** Farklı başlangıç derişimlerdeki bromat iyonlarının gideriminde farklı boyutlarda aktif karbon kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar

AK Boyutu (mm)	Aktif Karbon Cinsi	V (ml/dk)	H (cm)	R (cm)	M (g)	C <sub>0</sub> (µg/L)	C <sub>e</sub> (µg/L)	X = C <sub>0</sub> - C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub> = X/M	Giderim Yüzdeleeri (%)
1,4-1,7	AK-0	25	10	2	16	350	98	252	15,8	72,0
	AK-0	25	10	2	16	750	295	455	28,4	60,7
	AK-0	25	10	2	16	1000	419	581	36,3	58,1
	AK-0	25	10	2	16	2000	1380	620	38,8	31,0
0,4-0,8	AK-0	25	10	2	20	350	27	323	16,2	92,3
	AK-0	25	10	2	20	750	110	640	32,0	85,3
	AK-0	25	10	2	20	1000	200	800	40,0	80,0
	AK-0	25	10	2	20	2000	701	1299	65,0	65,0

Aktif karbonun çapı küçüldüğünde yüzey alanı arttığından bromat iyonu giderimini arttırmıştır.



**Şekil 4.5.** Aktif karbon boyutunun bromat iyonu giderimindeki etkisi

#### 4.5. Bölgesel İçme Suyu Kaynaklarıyla Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Çorum il sınırları içerisinde 6 farklı içme suyu kaynağından alınan su numunelerinin bromür iyonu miktarları belirlenmiştir. Daha sonra bu numuneler yeterli derişimde ozonlamaya tabi tutulmuştur ve bromür iyonları bromat iyonlarına dönüştürülmüştür. Bu işlemde sonra su örnekleri Çizelge 3.10'da görülen koşullardaki granüler aktif karbon ile doldurulmuş adsorpsiyon kolonundan geçirilerek adsorplanamayan bromat iyonu miktarları ölçülerek Çizelge 4.9'da verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Çorum ili içme suyu kaynaklarına ait su örneklerinde yapılan bromür ve bromat iyonu analiz sonuçları

İçme suyu kaynakları	Ham numunedeki bromür iyonu ( $\mu\text{g/L}$ )	Ozonlama sonrası oluşan bromat iyonu ( $\mu\text{g/L}$ )	Giderim sonrası kalan bromat iyonu ( $\mu\text{g/L}$ )
N1	< 50	4,6	< 2
N2	< 50	6,5	< 2
N3	< 50	9,9	5,3
N4	< 50	12,05	< 2
N5	< 50	16,05	< 2
N6	< 50	7,5	< 2

## 5. DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde;

Saf haldeki aktif karbon ve modifiye edilmiş (HCl, NaOH, NH<sub>3</sub>) aktif karbonlar öncelikle Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntülemesi yapılmıştır. 20, 25, ve 1000 büyütme SEM analiz sonuçlarına göre tam bir değerlendirme yapılamamasına rağmen HCl ve NaOH ile yapılan modifikasyonların iyi görüntü vermediği gözeneklerle ilgili olumsuzluklar oluşturduğu Resim 4.2 ve Resim 4.3'den görülmektedir. Buna karşılık Resim 4.1 saf haldeki aktif karbon ve Resim 4.4 NH<sub>3</sub> ile modifikasyonun daha iyi görüntü verdiği görülmektedir.

Saf haldeki aktif karbon ve modifiye edilmiş aktif karbonlara ait değerlendirmenin daha iyi yapılabilmesi için örnekler FT-IR analizine tabi tutulmuştur. FT-IR analizlerine göre en kötü FT-IR sonucunu Resim 4.6 ile HCl ile yapılan modifikasyon vermiştir. En iyi sonuç ise NH<sub>3</sub> modifikasyonundan elde edilmiştir. Bu da Resim 4.8'de görülmektedir.

Aktif karbon ve modifikasyon ürünlerinin adsorpsiyon yeteneklerinin en iyi göstergesi olarak kullanılan yüzey alanı ölçüm tekniği BET analiz sonuçları Çizelge 4.1'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre en yüksek yüzey alanı NH<sub>3</sub> modifikasyonu yapılmış olan aktif karbona aittir. İkinci sırada NaOH ile modifiye edilmiş aktif karbon, üçüncü sırada saf aktif karbon, en düşük yüzey alanı da HCl modifikasyonundan elde edilmiştir.

Bromat iyonu giderimi çalışmalarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde aktif karbon modifikasyonlarına bağlı olarak Çizelge 4.4'deki sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 4.4'e göre en iyi aktif karbon modifikasyonunun NH<sub>3</sub> ile elde edildiği görülmektedir. Bromat iyonu giderimi açısından modifikasyon performans sıralaması AK-3>AK-0>AK-1>AK-2 şeklinde olduğu görülmektedir.

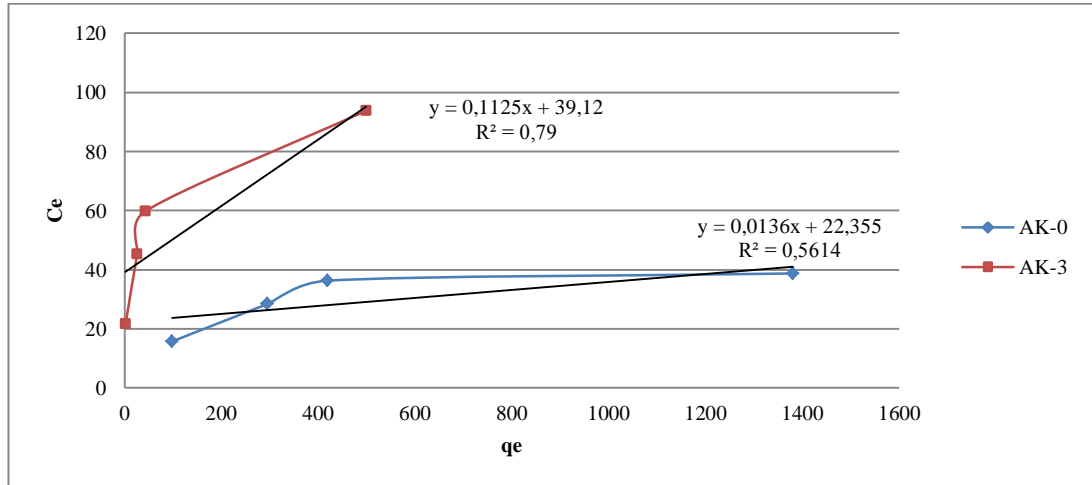
Farklı kolon yükseklikleriyle yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de görülmektedir. Buna göre en iyi kolon yüksekliği 10 cm olarak belirlenmiştir. Bu yükseklikte %72'lere varan oranlarda bromat iyonu giderimi gerçekleştirilmiştir.

Farklı kolon çaplarıyla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da görülmektedir. Buna göre en iyi kolon çapı 3 cm olarak belirlenmiştir. Bu çapta %99,4 oranında bromat iyonu giderimi gerçekleştirilmiştir.

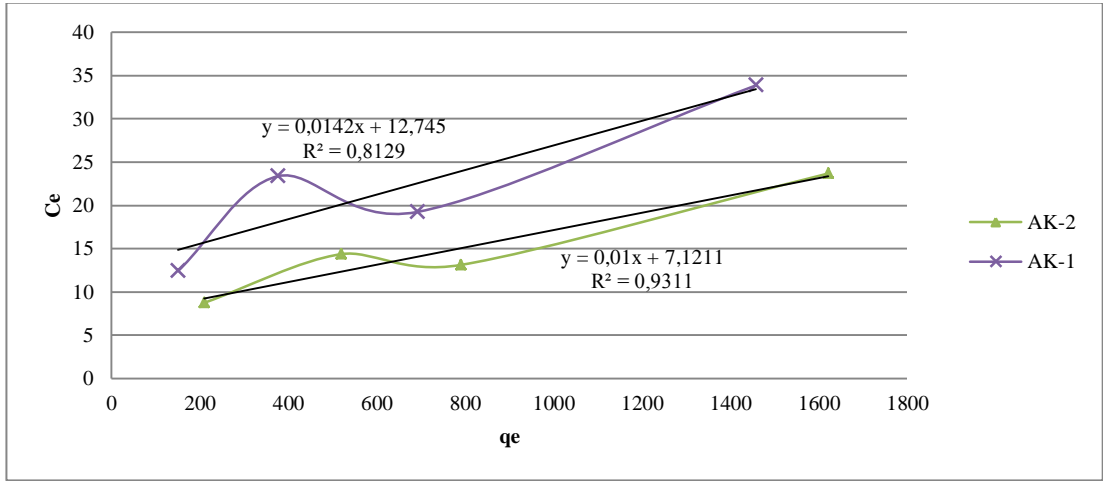
Farklı akış hızlarında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de görülmektedir. Buna göre en uygun akış hızı 10 ml/dk olarak belirlenmiştir. Bu akış hızında %94,3 oranında bromat iyonu giderimi gerçekleştirilmiştir.

Farklı boyutlardaki aktif karbonlarla yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de görülmektedir. Buna göre en uygun aktif karbon boyutu 0,4-0,8 mm olarak belirlenmiştir. Bu boyuttaki aktif karbon ile %92,3 oranında bromat iyonu giderimi gerçekleştirilmiştir.

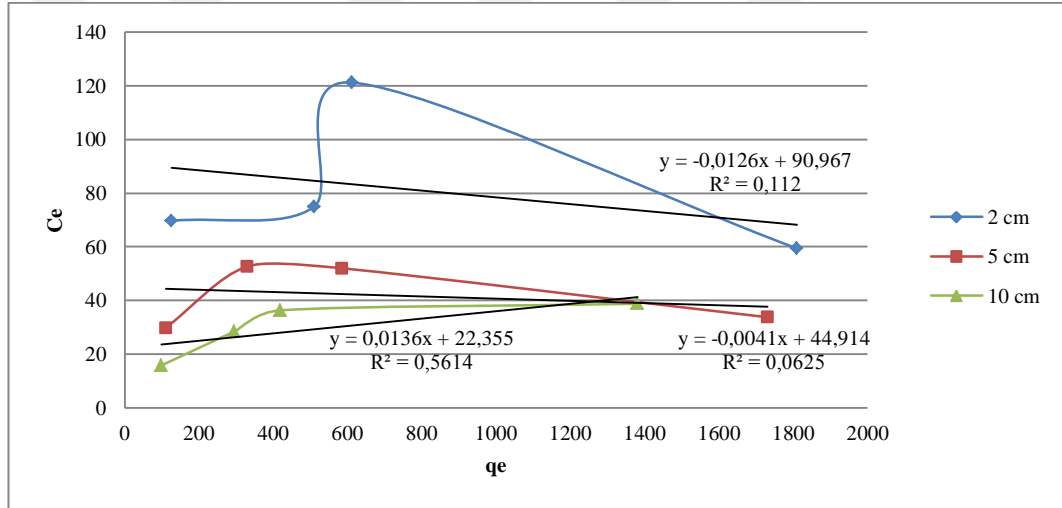
Farklı derişimlerde hazırlanan bromat iyonu çözeltilerinin Lineer, Langmuir ve Freunlich izotermi modifiye edilmiş adsorbanlar, farklı kolon yükseklikleri, farklı kolon çapları, farklı akış hızları, farklı adsorban boyutlarındaki kolonlar için çizilmiştir. Çalışmalar Şekil 5.1-Şekil 5.27 arasında görülmektedir.



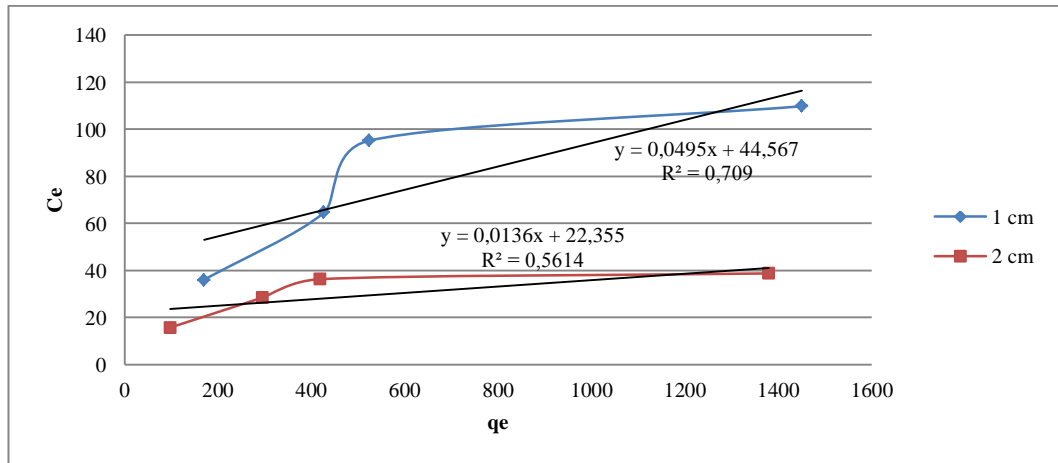
**Şekil 5.1.** AK-0 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izotermi



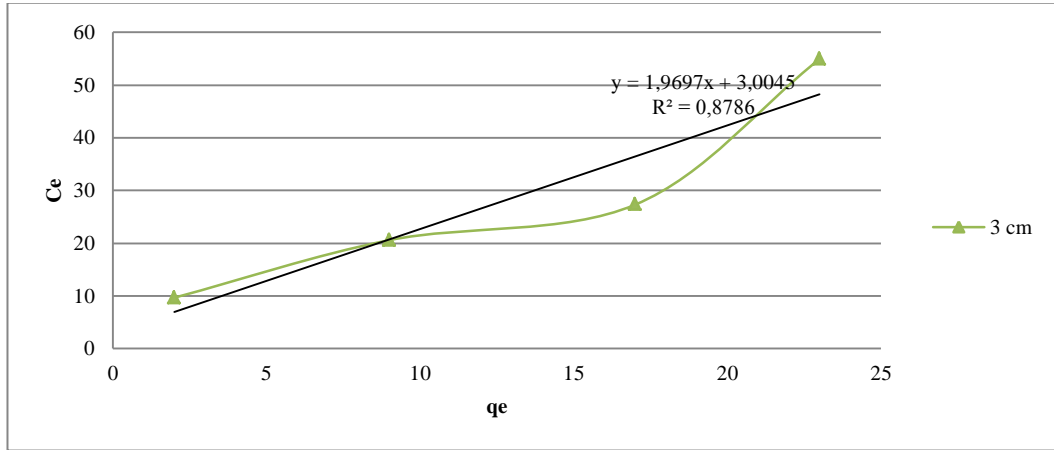
Şekil 5.2. AK-2 ve AK-1 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izotermler



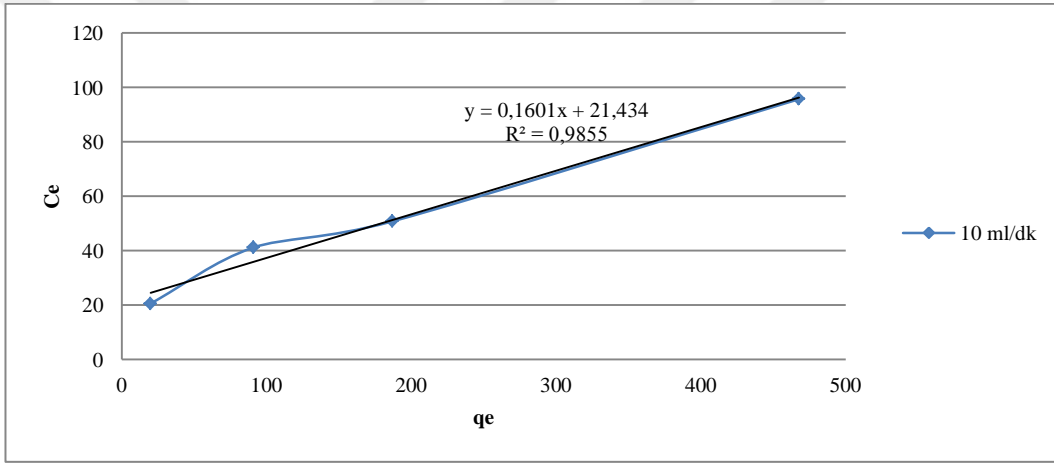
Şekil 5.3. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Lineer izotermler



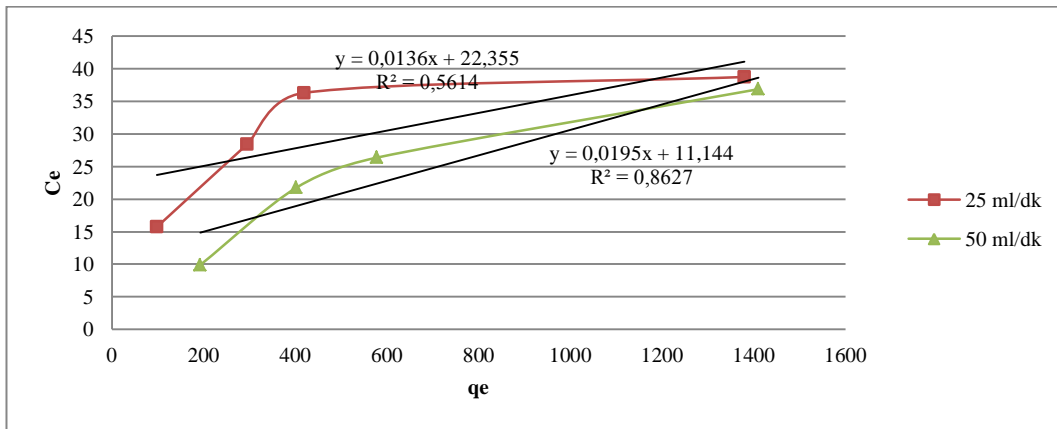
Şekil 5.4. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Lineer izotermler (1, 2 cm)



Şekil 5.5. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (3 cm)

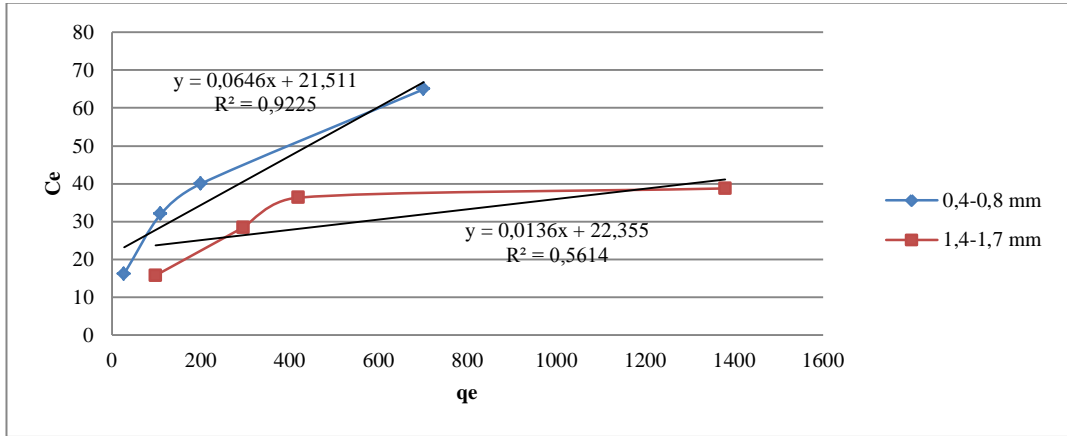


Şekil 5.6. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (10 ml/dk)

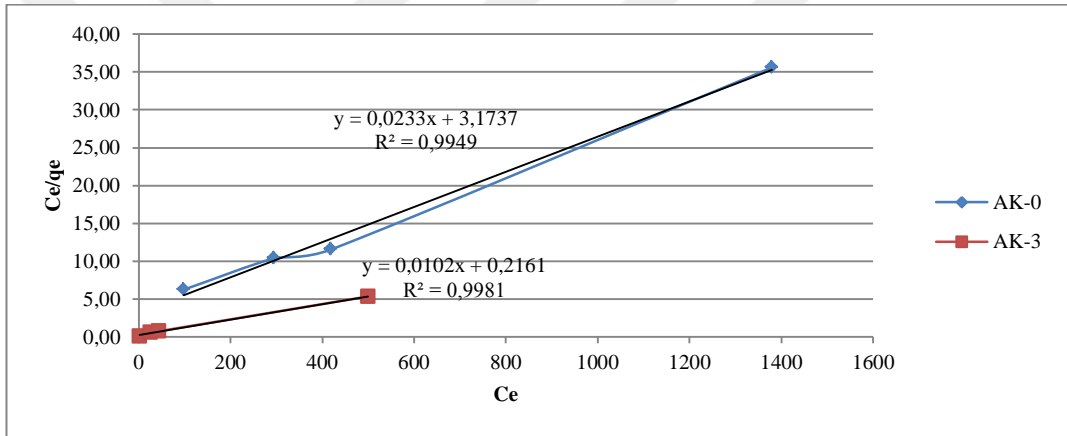


Şekil 5.7. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Lineer izoterm (25 ml/dk, 50 ml/dk)

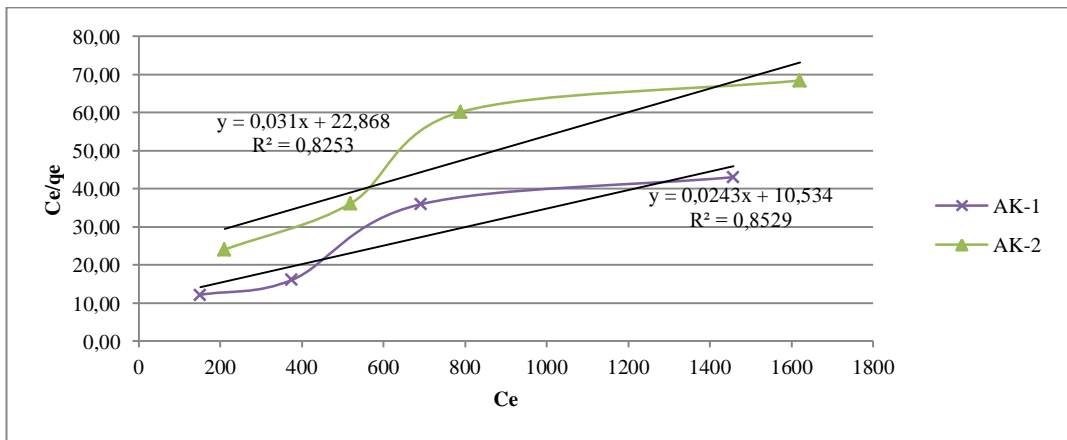




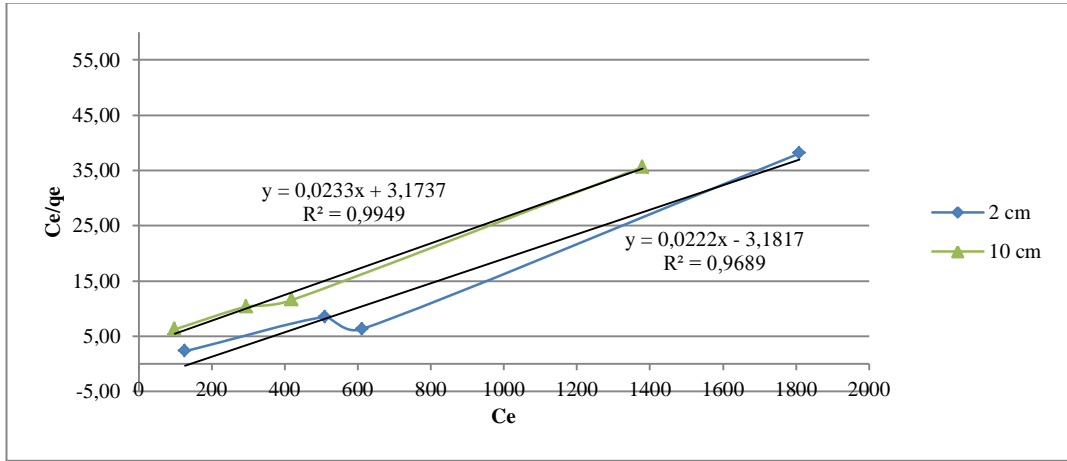
**Şekil 5.8.** Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Lineer izoterm



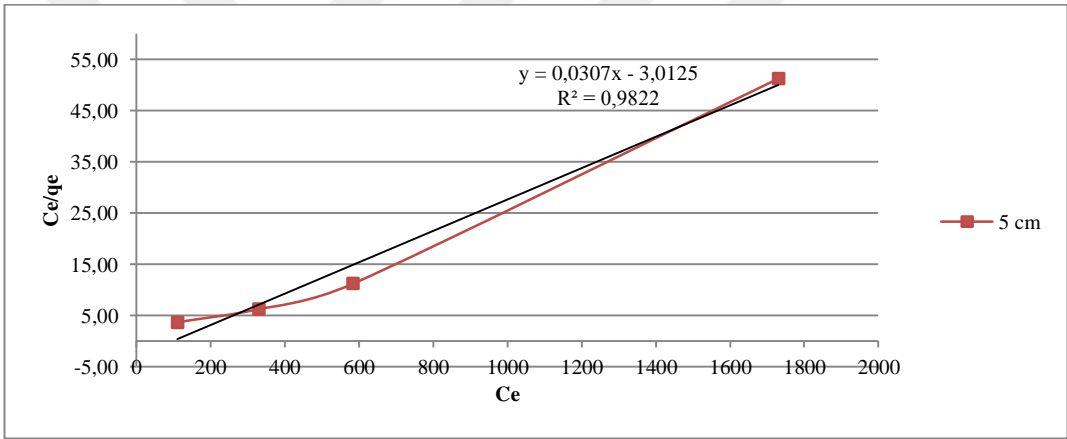
**Şekil 5.9.** AK-0 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi



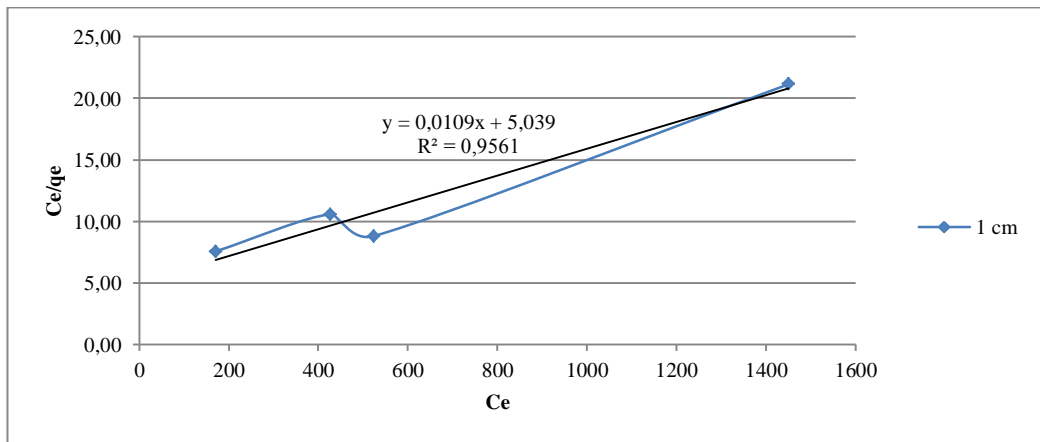
**Şekil 5.10.** AK-1 ve AK-2 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi



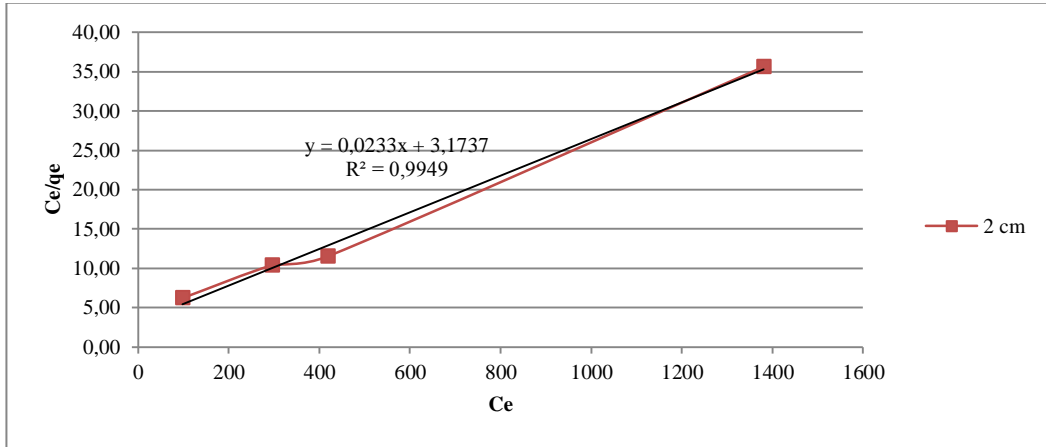
Şekil 5.11. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (2 cm, 10 cm)



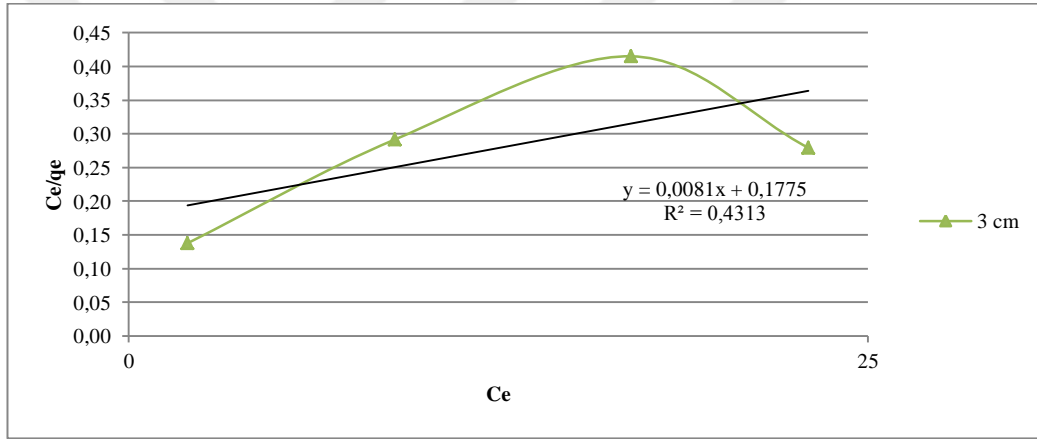
Şekil 5.12. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (5 cm)



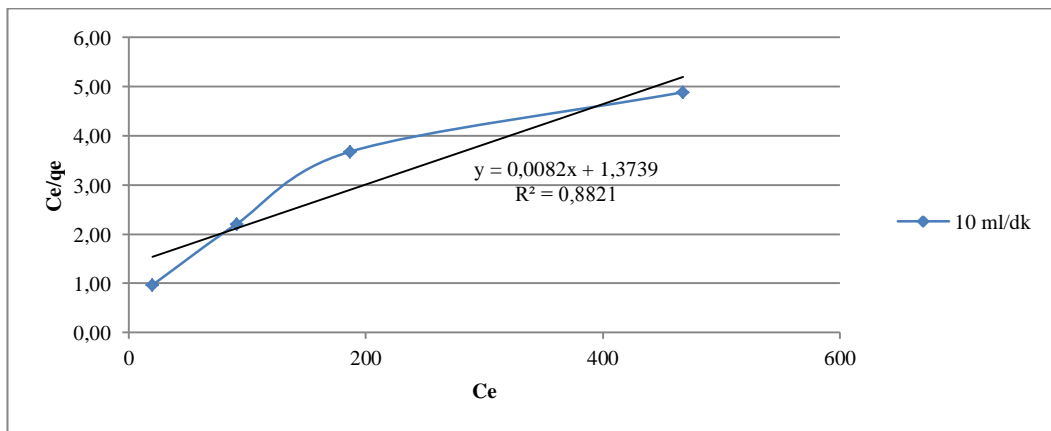
Şekil 5.13. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermi (1 cm)



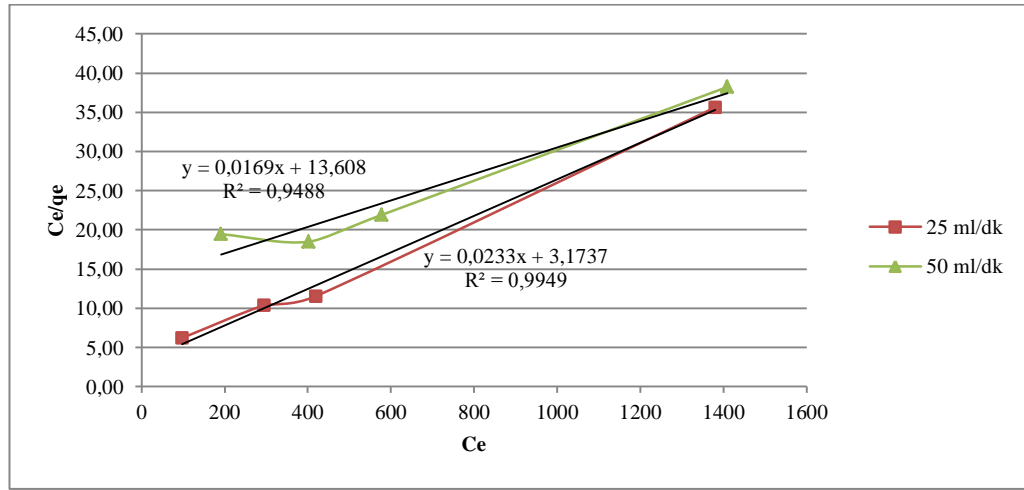
Şekil 5.14. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermleri (2 cm)



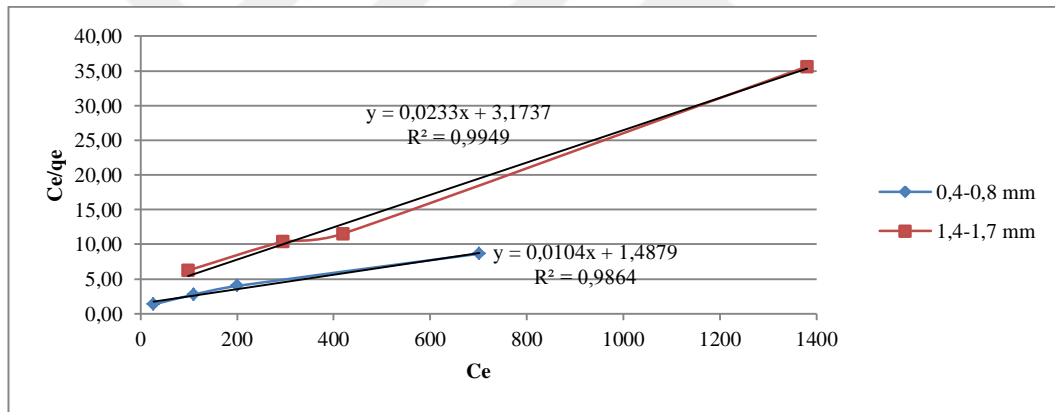
Şekil 5.15. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermleri (3 cm)



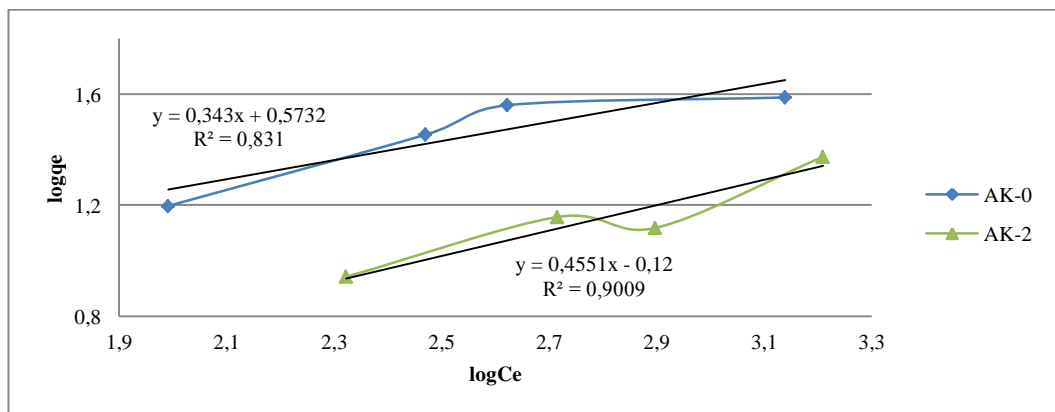
Şekil 5.16. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermleri (10 ml/dk)



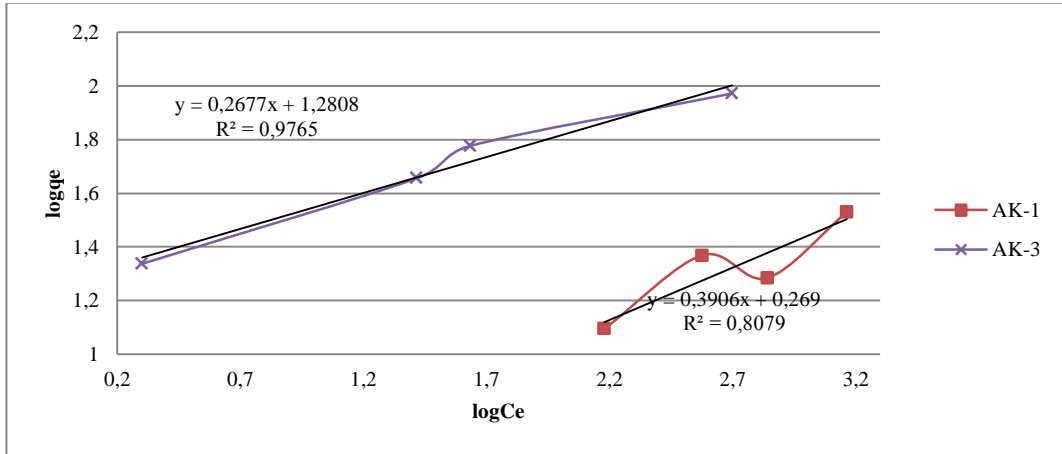
Şekil 5.17. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Langmuir izotermleri (25, 50 ml/dk)



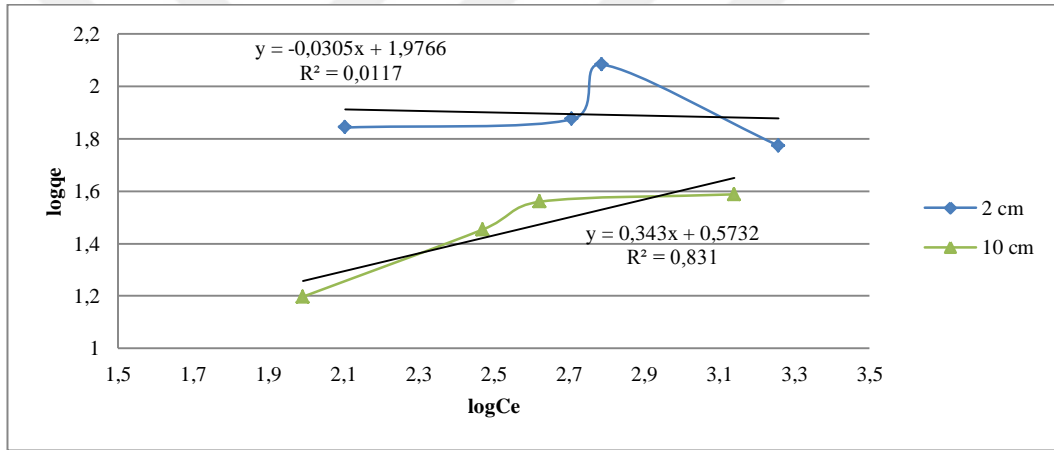
Şekil 5.18. Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Langmuir izotermleri



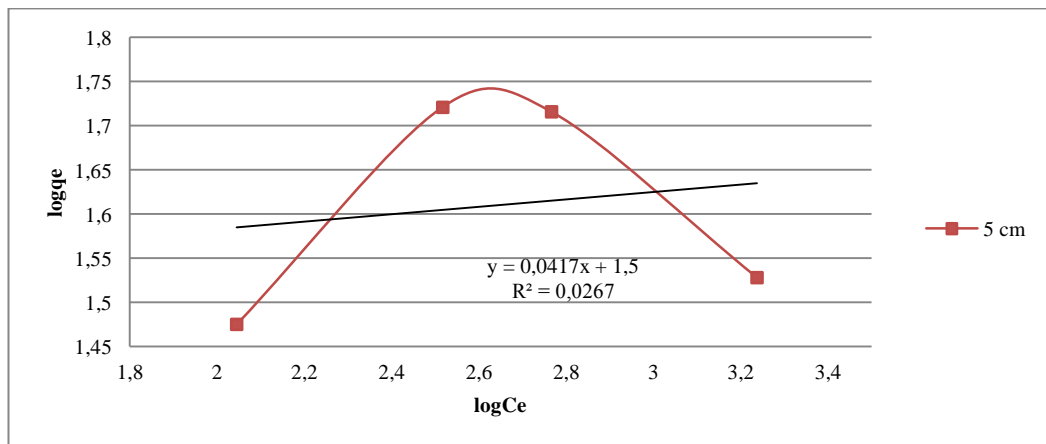
Şekil 5.19. AK-0 ve AK-2 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermleri



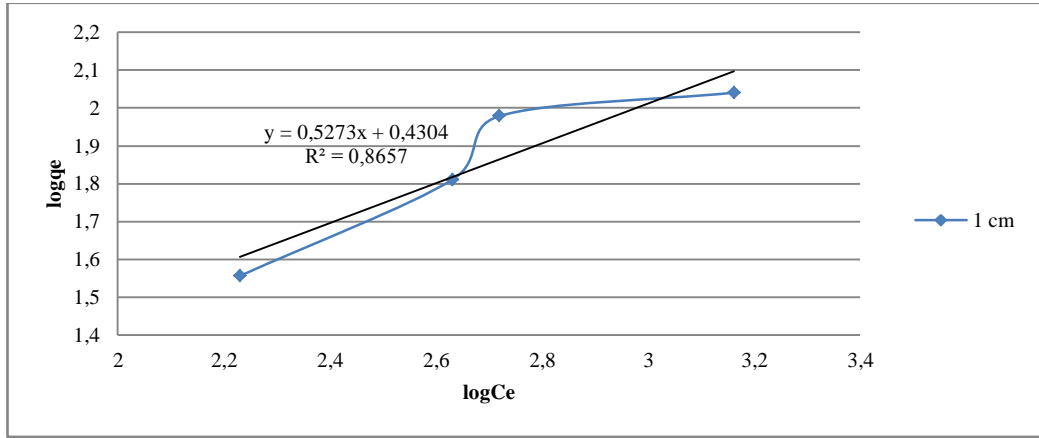
Şekil 5.20. AK-1 ve AK-3 ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi



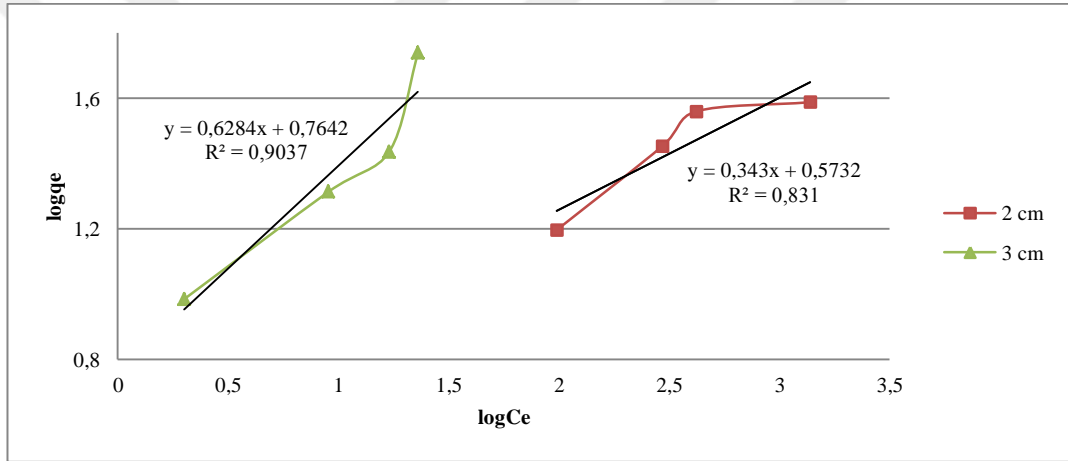
Şekil 5.21. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi (2, 10 cm)



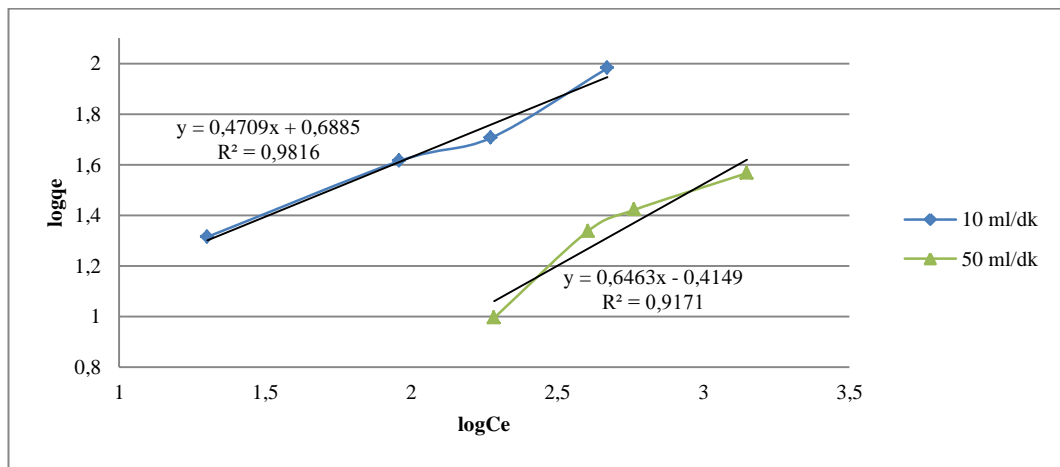
Şekil 5.22. Farklı yüksekliklerdeki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi (5 cm)



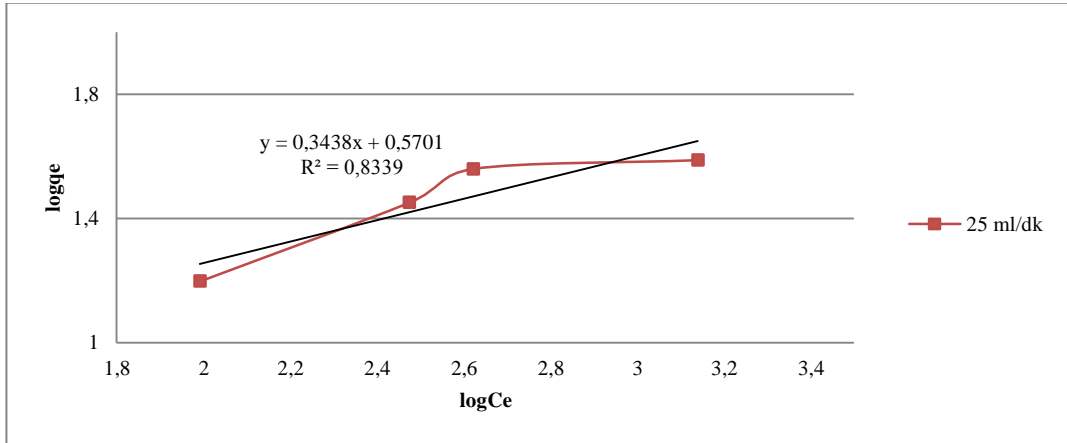
Şekil 5.23. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi (1 cm)



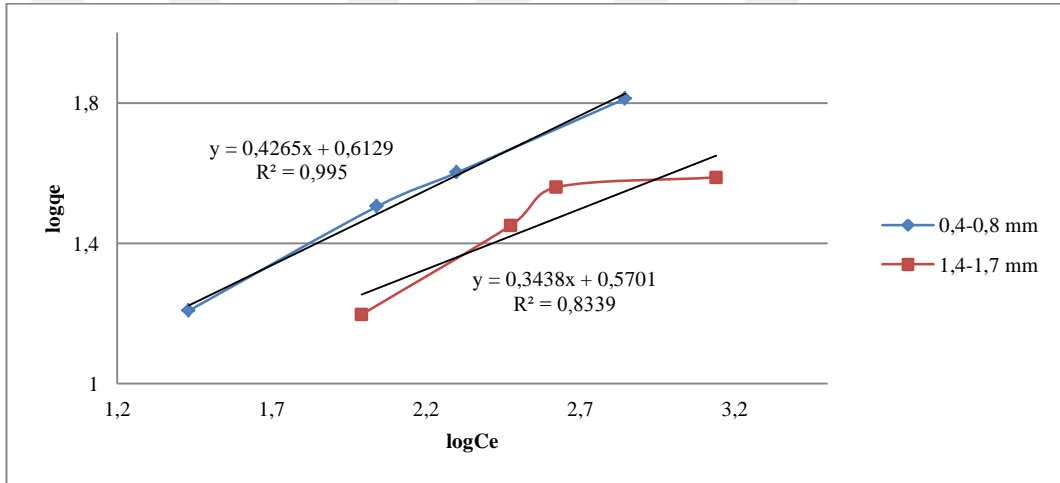
Şekil 5.24. Farklı çaplardaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi (2, 3 cm)



Şekil 5.25. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermi (10, 50 ml/dk)



Şekil 5.26. Farklı akış hızlarındaki aktif karbon kolonları için Freundlich izotermeler (25 ml/dk)



Şekil 5.27. Farklı boyutlardaki aktif karbon ile hazırlanmış aktif karbon kolonları için Freundlich izotermeleri

**Çizelge 5.1.** Çizilen farklı izotermlere ait korelasyon katsayıları

Aktif Karbon Cinsi	AK Boyutu (mm)	Kolon Yüksekliği (cm)	Kolon Çapı (cm)	Akış Hızı (ml/dk)	Lineer Adsorpsiyon Korelasyon Katsayıları (R)	Langmuir Adsorpsiyon Korelasyon Katsayıları (R)	Freundlich Adsorpsiyon Korelasyon Katsayıları (R)
AK-0	1,4-1,7	10	2	25	0,749	0,997	0,912
AK-1	1,4-1,7	10	2	25	0,889	0,924	0,899
AK-2	1,4-1,7	10	2	25	0,965	0,908	0,949
AK-3	1,4-1,7	10	2	25	0,902	0,999	0,988
AK-0	1,4-1,7	2	2	25	0,335	0,984	0,108
AK-0	1,4-1,7	5	2	25	0,250	0,991	0,163
AK-0	1,4-1,7	10	2	25	0,749	0,997	0,912
AK-0	1,4-1,7	10	1	25	0,842	0,978	0,930
AK-0	1,4-1,7	10	2	25	0,749	0,997	0,912
AK-0	1,4-1,7	10	3	25	0,937	0,657	0,951
AK-0	1,4-1,7	10	2	10	0,993	0,939	0,991
AK-0	1,4-1,7	10	2	25	0,749	0,997	0,913
AK-0	1,4-1,7	10	2	50	0,929	0,974	0,958
AK-0	1,4-1,7	10	2	25	0,749	0,997	0,913
AK-0	0,4-0,8	10	2	25	0,960	0,993	0,997

Çizelge 5.1. incelendiğinde oldukça 1'e yaklaşan korelasyon katsayıları görülmektedir. Pek çok çalışma aktif karbonun bromat iyonu üzerinde Lineer, Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluk durumu korelasyon katsayısı sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Bilindiği gibi korelasyon katsayısının 1'e yakınlığı uygunluğun ölçüsüdür. Korelasyon katsayısı 1'e yaklaştıkça uygunluğun artmakta olduğu bilinmektedir (Chiou ve Li, 2002; Başbüyük ve Forster, 2003).

Lineer adsorpsiyon korelasyon katsayılarına göre en iyi sonuçların NaOH için R=0,965 ile en uygun sonuç, NH<sub>3</sub> için R=0,965, HCl için R=0,889, saf aktif karbon için R=0,749 şeklinde sıralanmaktadır.



Langmuir adsorpsiyon korelasyon katsayılarına göre en iyi sonuçların  $\text{NH}_3$  için  $R=0,999$  ile en uygun sonuç, saf aktif karbon için  $R=0,997$ , HCl için  $R=0,924$ , NaOH için  $R=0,908$  şeklinde sıralanmaktadır.

Freundlich adsorpsiyon korelasyon katsayılarına göre en iyi sonuçların  $\text{NH}_3$  için  $R=0,988$  ile en uygun sonuç, NaOH için  $R=0,949$ , saf aktif karbon için  $R=0,912$  ve HCl için  $R=0,899$  şeklinde sıralanmaktadır.

Modifikasyonla ilgili yapılan tüm çalışmalar göz önüne alındığında Langmuir izotermelerinin daha uygun sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Aiken, G.R., Cotsaris, E., 1995. Soil and hydrology: Their effect on NOM. *Journal of the American Water Works Association*, 87(1), 36–45.
- Alkan, U., Teksoy, A., Başkaya, H.S., 2006. Yüzeysel sulardaki doğal organik maddelerin gideriminde uygun koagülasyon şartlarının belirlenmesi. *Ekoloji*, 15(59), 18-26.
- Anonim, 1999. Ozone Disinfection, Wastewater Technology Fact Sheet, Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA, EPA 832-F-99-063.
- Anonim, 2002. Otago Polytechnic Drinking Water Assessors Course US 18453-Disinfection, Water ITO, Otago Polytechnic, USA.
- Anonim, 2003. Chlorine Chemistry Council; Canadian Chlorine Coordinating Committee. Drinking water chlorination: a review of disinfection practices and issues. Chlorine Chemistry Council, Arlington, VA, USA, 29 s.
- Asami, M., Aizawa, T., Morioka, T., Nishijima, W., Tabata, A., Magara, Y., 1999. Bromate removal during transition from new granular activated carbon (GAC) to biological activated carbon (BAC). *Water Research*, 33(12), 2797-2804.
- Assunção, A., Martins, M., Silva, G., Lucas, H., Coelho, M.R., Costa, M.C., 2011. Bromate removal by anaerobic bacterial community: mechanism and phylogenetic characterization. *Journal of Hazardous Materials*, 197, 237–243.
- Atabek, A., 1997. Treatment of waste water with ozone and determination of by-products after ozonation. *Water Environment Research*, 74(6), 13.
- Austin, S., Glowacki, A., 2000. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VCH, Weinheim, 5, 18-349.
- Aydın, K., 2009. Ultraviyole ışınları ile suların dezenfeksiyonu. IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi. İzmir, 989-1004.
- Bao, M.L., Griffini, O., Santianni, D., Barbieri, K., Burrini, D., Pantani, F., 1999. Removal of bromate ion from water using granular activated carbon. *Water Research*, 33(13), 2959-2970.
- Başbüyük, M., Forster, C.F, 2003. An examination of adsorption characteristics of basic dye on to live activated sludge system. *Process Biochemistry*, 38(9), 1311-1316.

- Bollyky, L.J., 2002. Benefits of ozone treatment of bottled water. International Ozone Association Proceedingsa Pan American Conference. Inc. Stamford, CT, 1-14.
- Cavalli, S., Polesello, S., Valsecchi, S., 2005. Chloride interference in the determination of bromate in drinking water by reagent free ion chromatography with mass spectromery detection. Journal of Chromatography A, 1085(1), 42-46.
- Chiou, M.S., Li, H.Y., 2002. Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on cross-linked chitosan beads. Journal of Hazardous Materials, 93(2), 233-248.
- Dong Z.J., Dong W.Y., Zhang X.M., Yu X.H., Qu Y.F., 2009. Removal of bromate by ferrous sulfate reduction in drinking water. 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (ICBBE). 11–13 June, Beijing, China, 1–4.
- Downing, L.S., Nerenberg, R., 2006. Bromate reduction to bromide in a hydrogen-oxidizing bioreactor. American Water Works Association Inorganic Contaminants Conference, January 29-31, Austin, Texas, 9s.
- Farooq, W., Hong, H.J., Kim, E.J., Yang, J.W., 2012. Removal of bromate ( $\text{BrO}^{-3}$ ) from water using cationic surfactant-modified powdered activated carbon (SM-PAC). Separation Science and Technology, 47(13), 1906-1912.
- Gunten, U.V., 2003. Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and product formation in presence of bromide, iodide or chlorine. Water Research, 37, 1469–1487.
- Gümüş, D., Akbal, F., 2013. Removal of natural organic matter in drinking waters and prevention of trihalomethanes formation. Journal of Engineering & Natural Sciences / Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31(4), 529-553.
- Gürses, F.P., 2006. Klorlanmış İçme Ve Havuz Sularında Sıvı-Sıvı Ekstarksiyonu ve İyon Kromatografisi ile Karsinojenik Dezenfeksiyon Yan Ürünlerinin Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Haas, C.N., Jacangelo, J.G., Bishop, M.M., Cameron, C.D., 1992. Survey of utility disinfection practices. Journal American Water Works Association, 84(9), 121-128.
- Hua, G.H., Reckhow, D.A., 2007. Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. Water Research, 41(9), 3309–3315.

- Huang, W.J., 2004. Adsorption / reduction of bromate from drinking water using gac: effects on carbon characteristics and long-term pilot study. *Water SA*, 30(3), 369-376.
- Hunter, P.R., 2003. Drinking water and diarrhoeal disease due to *Escherichia coli*. *Journal of Water and Health*, 1(2), 65–72.
- Ingrad, V., Guinamant, J.L., Bruchet, A., Brosse, C., 2002. Determination of bromate in drinking water: development of laboratory and field methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(1), 1-12.
- Jackson, L.K., Joyce, M., Laikhtman, M., 1998. Determination of trace level bromate in drinking water by direct injection ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 829(1-2), 187-92.
- Kayaoğlu, S., 2003. İçme Sularında Ozonlamanın Organik Madde Giderimi Üzerine Etkileri ve Bromat Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kirisits, M.J., Snoeyink, V.L., Kruithof, J.C., 2000. The reduction of bromate by granular activated carbon. *Water Research*, 34(17), 4250-4260.
- Kishimoto, N., Kishimoto, A., Nakayama, A., 2012. Rapid removal of bromate ion from water streams with an electrolytic flow cell. *Journal of Water Supply: Research and Technology Aqua*, 61(2), 103-110.
- Koby, M., 2001, Adsorpsiyon Prosesleri. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
- Konsowa, A.H., 2009. Bromate removal from water using granular activated carbon in a batch recycle. *Desalination and Water Treatment*, 12(1-3), 375-381.
- Langlais, B., Reckhow, D.A., Brank, D.R., 1991. *Ozone in Water Treatment: Application and Engineering*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, 569.
- Liu, Y., Mou, S., Chen, D., 2004. Determination of trace-level haloacetic acids in drinking water by ion chromatography–inductively coupled plasma mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1039(1-2), 89-95.
- Matos, C.T., Velizarov, S., Reis, M.M., Crespo, J., 2008. Removal of bromate from drinking water using the ion exchange membrane bioreactor concept. *Environmental Science & Technology*, 42, 7702–7708.
- Myllykangas, T., Nissinen, T.K., Hirvonen, A., Rantakokko, P., Vartiainen, T., 2005. The evaluation of ozonation and chlorination on disinfection by-product formation for a high-bromide water. *Science and Engineering*, 27, 19-26.

- Najm, I.N., N.L. Patania, J.G. Jacangelo, S.W. Krasner, 1994. Evaluating surrogates for disinfection by-products. *Journal - American Water Works Association*, 86(6), 98-106.
- Oğur, R., Tekbaş, Ö.F., Hasde, M., 2004. Klorlama Rehberi (İçme ve kullanma sularının klorlanması). Gülhane Askeri Tıp Akademisi, Ankara.
- Paul, W., 2003. Reduction of nitrate, bromate, and chlorate by zero valent iron. *Journal of Environmental Engineering*, 129(1), 10-16.
- Peclaris, G.M., Koutsotolis, K., Seferiadis, K., Mantzios, A., Nikolaou, E., Kolios, G., 1999. Effect of monensin and progesterone priming on ram-induced reproductive performance of boutsiko mountain breed ewes. *Theriogenology*, 51(3), 531-540.
- Percival, S.L., Chalmers, R.M., Embrey, M., Hunter, P.R., Sellwood, J., Wyn-Jones, P., 2004. *Microbiology of Waterborne Diseases*. Elsevier Academic Press, California, USA, 145-1531.
- Pirbazari, M., Badriyha, B.N., Ravindran, V., 1992. MF-PAC for treating waters contaminated with natural and synthetic organics. *Journal American Water Works Association*, 84 (12), 95-103.
- Pontius, F.W., 1990. *Water Quality and Treatment, Fourth Edition*, McGraw Hill Inc, New York, 13.2-13.76.
- Qi, Y., Shang, C., Irene, M.C., 2004. Formation of haloacetic acids during monochloramination. *Water Research*, 38(9), 2375-2383.
- Reckhow, D.A., P.C. Singer, R.L. Malcolm, 1990. Chlorination of humic materials: byproduct formation and chemical interpretations. *Environmental Science & Technology*, 24(11), 1655-1664.
- Richardson, S.D., Thruston, A.D., Jr., Caughran, T.V., Chen, H., Colette, T.W., Schenck, K.M., Lykins, B.W., Glezer, V., 2000. Identification of new drinking water disinfection by-products from ozone, chlorine dioxide, chloramines and chlorine. *Water Air and Soil Pollution*, 123(1), 95-102.
- Richardson, S.D., Plewa, M.J., Wagner, E.D., Schoeny, R., DeMarini, D.M., 2007. Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water. A review and roadmap for research. *Mutation Research*, 636(1-3), 178-242.
- Rook, J.J., 1974. Formation of haloforms during the chlorination of natural water. *Water Treatment and Examination*, 23, 234-243.
- Sarıkaya, Y., 1993. *Fizikokimya*. Gazi Büro Kitabevi, Ankara, 672 s.

- Shukairy, H., Summers, R.S., 1993. Biological Treatment for the Control of Disinfection By-Products: A Review. In *Strategies and Technologies For Meeting SDWA Requirements*, Edited by R. M. Clark and R S. Summers, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, 381-386.
- Siddiqui, M.S., Amy, G.L., Murphy, B.D., 1997. Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinking water sources. *Water Research*, 31, 3098-3106.
- Smith, J.M., 1981. *Chemical Engineering Kinetics*. Mcgrow-Hill International Book, London.
- Sohn, J., Amy, G., Cho, J., Lee, Y., 2004. Disinfectant decay and disinfection by-products formation model development: chlorination and ozonation by-products. *Water Research*, 38(10), 2461-2478.
- Soyer, E., 2003. Büyükçekmece Su Kaynağının Ozonlama Sonucu Bromat Oluşturma Potansiyelinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Spellman, F.R., 2003. *Handbook of Water and Waste Water Treatment Plant Operations*. CRC Press, London.
- Steven, D., Kloos, P.D., 2002. *A Discussion on Ozone Chemistry*. *Water Remediation Technologies*, 965 s.
- Şengül, F., Küçükgül, Y., 1995. Çevre Mühendisliğinde Fiziksel-Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Uyak, V., Toröz, İ., 2006. İçme suyu kaynaklarındaki doğal organik maddelerin zenginleştirilmiş koagülasyon yöntemi ile giderilmesi. *İTÜ Dergisi/Su Kirlenmesi Kontrolü*, 16(1-3), 115-122.
- Wagner, H.P., Pepich B.V., Hautman D.P., Munch D.J., 2002. A new method for monitoring inorganic oxyhalides and optimization of the postcolumn derivatization for the selective determination of trace levels of bromate of EPA method 326.0. *Journal of Chromatography A*. 956, 93-101.
- Wagner H.P., Hautman D.P., Munch DJ, 2000. Performance evaluation of a metod for the determination of bromate in drinking water by ion chromatography and validation of EPA method 324.0. *Journal of Chromatography A*, 884, 201-210.
- Wan, Q., Chen, K., Zhu, J., Wu, B., Ji, L., Wu, Y., 2015. Separation science and technology publication details, including instructions for authors and subscription information. *Tandfonline*, 50(17), 2649-2657.

- Wang, L., Zhang, J., Liu, J., He, H., Yang, M., Yu, J., Ma, Z., Jiang, F., 2010. Removal of bromate ion using powdered activated carbon. *Journal of Environmental Sciences*, 22(12) 1846–1853.
- Weber, W.J., 1972. *Physicochemical Process For Water Quality Control*. Wiley, New York, 199-219.
- Weinberg, H.S., Yamada, H., 1998. New selective method for determining bromate in drinking water. *Journal of Chromatography A*, 804(1-2), 137-142.
- Xie, Y., 2001. Analyzing haloacetic acids using gas chromatography/mass spectrometry. *Water Research*, 35(6), 1599-1602.
- Yalçın, H., Gürü, M., 2002. *Su Teknolojisi*. Palme Yayıncılık, Ankara, 500-504.
- Yıldız, N., 2004. *Süperkritik Akışkan Ortamında Adsorbantların Rejenerasyonu*. Ankara Üniversitesi Ankara Üniversitesi Bilimsel Projeler Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- Zhu, B., Zhong, Z., Yao, J., 2006. Ion chromatographic determination of trace iodate, chlorite, chlorate, bromide, bromate, nitrite in drinking water using suppressed conductivity detection and visible detection. *Journal of Chromatography A*, 1118(1), 106-110.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : TAŞKIN, Nur  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 02.11.1990 - Kadıköy  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (506) 809 76 16  
e-mail : nurrtaskin@hotmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Hitit Üniversitesi/ Kimya Mühendisliği Bölümü	2012
Lise	Maltepe Lisesi	2008

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-	Deniz Yalıtım ve Konut Sist. San ve Tic. Ltd. Şti.	Kimya Mühendisi
2013-2013	Çorum Şeker Fab. Atık Su Arıtım Tesisi	Laborant
2012-2012	Çorum Şeker Fab. Atık Su Arıtım Tesisi	Laborant

### Yabancı Dil

İngilizce

### Projeler

- 2209-Tübitak Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destekleme Programı - Suların Ozon İle Dezenfeksiyonunda Ortaya Çıkan İstenmeyen Yan Ürünlerden Bromatın Takibi – 12 ay – Tamamlandı.