

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**İÇME SULARI ARITMA ÇAMURLARI KULLANILARAK BOR
GİDERİMİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZNUR ZİYANAK

BALIKESİR, HAZİRAN - 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**İÇME SULARI ARITMA ÇAMURLARI KULLANILARAK BOR
GİDERİMİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZNUR ZİYANAK

Jüri Üyeleri: Yrd. Doç. Dr. Elif ÖZMETİN (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Yüksel ABALI

Yrd. Doç. Dr. Züriye GÜNDÜZ

BALIKESİR, HAZİRAN - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Öznur ZİYANAK tarafından hazırlanan “**İÇME SULARI ARITMA ÇAMURLARI KULLANILARAK BOR GİDERİMİNİN OPTİMİZASYONU**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.06.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

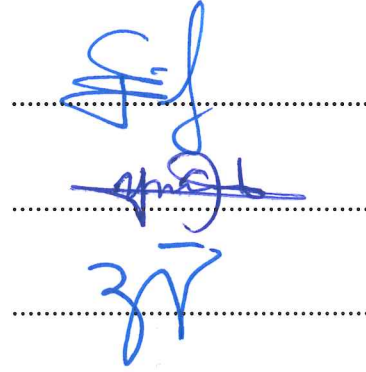
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Elif ÖZMETİN

Üye
Prof. Dr. Yüksel ABALI

Üye
Yrd. Doç. Dr. Züriye GÜNDÜZ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

ÖZET

**İÇME SULARI ARITMA ÇAMURLARI KULLANILARAK BOR
GİDERİMİNİN OPTİMİZASYONU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖZNUR ZİYANAK
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. ELİF ÖZMETİN)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2016**

Bor elementi ve bileşikleri, sularda ve toprakta yüksek konsantrasyonlarda bulduklarında insan, hayvan ve bitkilerde zararlı etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle bor ve bileşiklerinin çevrede müsaade edilen konsantrasyonlarda olması gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada, sulu çözeltilerden bor giderimi için içme suyu arıtma tesisinden çıkan çamur kullanılarak çamurun adsorpsiyon ve koagülasyon işlemlerindeki etkinliği Yanıt Yüzey Yöntemi optimizasyon metodu kullanılarak araştırılmıştır. Adsorpsiyon ile bor giderimi çalışmalarında parametre olarak; pH, doz, sıcaklık, konsantrasyon ve süre seçilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında modelden elde edilen optimum şartlar pH 10, doz 100 g/L, sıcaklık 15°C, konsantrasyon 650 mg/L ve süre 270 dk olarak tespit edilmiş olup bu şartlarda yapılan deney sonucunda 4,13 mg/g adsorbent kapasitesi ve % 63,5 bor giderimi elde edilmiştir. Koagülasyon ile bor giderimi çalışmalarında ise parametre olarak pH ve doz seçilmiş, optimum şartlar pH 8 ve doz 100 ml/L olup bu şartlarda yapılan deney sonucunda % 40,6 bor giderimi elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Adsorpsiyon, bor giderimi, içme suyu arıtma çamuru, yanıt yüzey yöntemi.

ABSTRACT

THE OPTIMIZATION OF BORON REMOVAL USING DRINKING WATER TREATMENT PLANT WASTE SLUDGE

MSC THESIS

ÖZNUR ZİYANAK

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. ELİF ÖZMETİN)

BALIKESİR, JUNE 2016

In case of the availability at high concentrations in water and soil, the element of boron and its compounds cause a harmful effects on human, animal and plant life. For this reason, boron and compounds must be allowable concentrations in the environment. In this study, boron removal from boron containing aqueous solutions using waste sludge supplied from drinking water treatment facility was investigated. Adsorption and coagulation experiments were planned using response surface method as an optimization method and carried out accordingly. In the adsorption experiments, pH, slug dose, temperature, concentration and time were selected as investigation parameters. As a result, optimal conditions relating boron removal by adsorption were determined for pH, sludge dose, temperature, concentration and time as 10, 100 g/L, 15 °C, and 650 ppm and 270 min, respectively. Under these conditions, an confirmation experiment was carried out, and boron removal capacity and efficiency were obtained as 4,13 mg/g and % 63,5, respectively. In the boron coagulation experiments, waste sludges were dissolved in acid, prepared and used in experiments. pH and doses were selected as process parameters. Optimum conditions for coagulation process were determined as pH: 8 and dose: 100 ml/L, and boron removal efficiency has been obtained as % 40,6.

KEYWORDS: Adsorption, boron removal, drinking water sludge, response surface methodology.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Bor.....	2
1.1.1 Türkiye ve Dünya’da Bor.....	6
1.1.2 Borun Kullanım Alanları.....	8
1.1.3 Borun Çevreye Olan Etkisi	9
1.1.4 Bor Giderim Yöntemleri	13
1.1.4.1 Adsorpsiyon	13
1.1.4.2 Kimyasal Koagülasyon	21
1.2 İçme Suyu Arıtma Çamuru	24
1.3 Optimizasyon	26
1.3.1 Yanıt Yüzey Metodu	27
1.4 Literatür Çalışması.....	29
2. MATERYAL VE METOD	33
2.1 Materyallerin Temini ve Hazırlanması	33
2.1.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler	34
2.1.2 Kullanılan Araç Ve Gereçler.....	35
2.1.3 Kullanılan Çözeltiler	35
2.2 Deneysel Yöntem.....	35
2.3 Deneylerin Yapılışı	39
2.3.1 Adsorpsiyon Deneyleri.....	39
2.3.2 Koagülasyon Deneyleri	40
2.4 Bor Tayini	40
3. BULGULAR	42
3.1 Adsorpsiyon İle Bor Giderimi	42
3.2 Koagülasyon İle Bor Giderimi.....	53
4. SONUÇLAR	57
5. KAYNAKLAR	59
6. EKLER	67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Tinkal minerali	7
Şekil 1.2: Kolemanit minerali.....	8
Şekil 1.3: Üleksit minerali	8
Şekil 1.4: Borun kullanım alanları.....	9
Şekil 1.5: Katı adsorban yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon.	14
Şekil 1.6: Adsorpsiyon işleminin basamakları.	15
Şekil 1.7: İçme suyu arıtma çamurunun yeniden kullanım alanları.	26
Şekil 2.2: Kimyasal koagülasyon prosesinin deneysel sisteminin görünüşü....	40
Şekil 3.1: Bor giderim verimi ve q için optimum şartlar.	46
Şekil 3.2: pH ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.	47
Şekil 3.3: pH ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.....	48
Şekil 3.4: pH ve sıcaklığın bor giderim verimi üzerine etkisi.	48
Şekil 3.5: pH ve dozun bor giderim verimi üzerine etkisi.	49
Şekil 3.6: Doz ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.....	50
Şekil 3.7: Doz ve sıcaklığın bor giderim verimi üzerine etkisi.	51
Şekil 3.8: Doz ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.	51
Şekil 3.9: Sıcaklık ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.....	52
Şekil 3.10: Doz ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.....	52
Şekil 3.11: Konsantrasyon ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.....	53
Şekil 3.12: Koagülasyonda optimum şartlar.....	55
Şekil 3.13: pH ve dozun koagülasyonda giderim üzerine etkisi.....	56

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Borun fiziksel özellikleri.	2
Tablo 1.2: Ticari açıdan öneme sahip bazı bor minerallerinin içerdiği boroksit oranları ve diğer kimyasal bileşimleri.	3
Tablo 1.3: Tabiatta bulunan bor minerallerinin kimyasal adları ve formülasyonları.	5
Tablo 1.4: Dünya’da toplam bor rezervi sıralaması.	6
Tablo 1.5: Dünya üzerinde farklı kıtalarda bulunan ülkelerin kişi başına günlük bor maruziyeti değerleri.	10
Tablo 1.6: Kıta içi yüzeysel su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri.	11
Tablo 1.7: İçme suyu arıtımında kullanılan kimyasallar.	24
Tablo 2.1: İçme suyu arıtma çamuru için pik değerler.	34
Tablo 2.2: Adsorpsiyon için deney matrisi.	37
Tablo 2.3: Adsorpsiyon için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.	37
Tablo 2.4: Koagülasyon için deney matrisi.	38
Tablo 2.5: Koagülasyon için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.	38
Tablo 3.1: Adsorpsiyon ile bor giderim verimleri.	43
Tablo 3.2: Koagülasyon ile bor giderimi için optimum şartlar ve deney sonucu.	55

SEMBOL LİSTESİ

C_0	: Başlangıç çözelti konsantrasyonu (mg/L)
C	: Denge konsantrasyonu (mg/L)
q	: Adsorbanın birim gramı başına tutulan madde miktarı (mg/g)
m	: Adsorban miktarı (g)
M	: Litredeki mol miktarı
ppm	: Milyonda bir (mg çözünen/kg veya L çözelti)
MKD	: Merkezi kompozit dizaynı
V	: Çözelti hacmi (L)
WHO	: Dünya sağlık teşkilatı
YYY	: Yanıt yüzey yöntemi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca değerli fikirlerini ve tavsiyelerini benimle paylaşan, anlayışını, fikirlerini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Elif ÖZMETİN'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Çalışmamın ortaya çıkmasında ilgi ve desteklerini gördüğüm, fikir alışverişinde bulunduğum değerli hocam Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN'e, bilgisini benden esirgemeyen hocam Arş. Gör. Mustafa KORKMAZ'a ve tüm bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan, yardımını asla esirgemeyen değerli arkadaşım Kimya Yüksek Mühendisi Meriç NERGİZ'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak, tüm eğitim hayatım boyunca yanımda olan, beni bugünlere getiren, maddi manevi desteğini ve fedakarlığını asla esirgemeyen, tüm kahrımı sıkıntımı çeken ve sürekli en iyiyi yapmam konusunda teşvik eden sevgili babam İbrahim ZİYANAK'a, annem Ayşe ZİYANAK'a, ablam Özlem ZİYANAK'a, kardeşlerim Helin ZİYANAK ve Dilan ZİYANAK'a sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda artan endüstriyel gelişmeler artan çevre sorunlarını da beraberinde getirmekte ve yaşadığımız dünyanın dengesini bozmaktadır. Özellikle bor endüstrisinin yoğun şekilde geliştiği bölgelerde atıklar büyük bir sorun teşkil etmekte, yaşayan canlılar ve bölge için bir tehdit oluşturmaktadır.

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte üretilen ürün yelpazesi de günden güne artmaktadır. Endüstride geniş kullanım alanları bulunan bor elementinden üretilen ürünlerden kaynaklanan atıksuların yüzeysel sulara arıtılmadan deşarj edilmesi çevreye zarar vermektedir.

Bor ürünleri, seramik ve cam sanayiinde, seramik ve emaye yapımında, yangın önleyici (geciktirici) maddelerin yapımında, sabun ve deterjan sanayiinde, gübrelerde metalurjide ve nükleer uygulamalarda kullanılmaktadır.

Bor endüstrisinde oluşan atıklar katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç gruba ayrılır. Cevherin zenginleştirilmesiyle oluşan düşük tenörlü atıklar düzenli bir şekilde depolanır. Literatürde oluşan bu katı atıkların uygun sektörlerde değerlendirilebileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır. Üretim sonrasında yüksek bor konsantrasyonuna sahip atık su oluşmaktadır ve bu atıksuyun bor konsantrasyonunun 1500 mg/L civarında olduğu bilinmektedir. Üretim esnasında oluşan gaz atıklar torba filtreler ile tutulmaktadır [1].

Madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıkların miktarlarının giderek artması, oluşan doğa tahribatı, hava, toprak ve su kirliliği ve ayrıca üretim sürecinde bor içerikli katı ve sıvı atıkların oluşması sektörden kaynaklanan başlıca çevre sorunlarıdır [1].

1.1 Bor

Bor elementi 1808 yılında, Fransız kimyagerler Joseph Gay-Lussac ve Louis Thenard tarafından keşfedilmiştir. Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan ve atom numarası 5 olan bor elementi, kütle numaraları 10 ve 11 olan iki kararlı izotopundan oluşur [2]. Bor; metal ile ametalarası yarı iletken özelliklere sahip bir elementtir. “B” sembolü ile tanınan bor elementi yer kabuğunda ortalama 10 ppm, denizlerde 4,6 ppm konsantrasyonda bulunmaktadır [3].

Atom ağırlığı	10,811 g/mol
Kaynama noktası	4275 K - 4002°C - 7236°F
Yoğunluğu	2,34 g/cm ³
Ergime noktası	2573 K - 2300°C - 4172°F
Elektronegatifliği	2,04
Sertliği	9,3 Mohs
Atom yarıçapı	0,98
Füzyon ısısı	50,2 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	489,7 kJ/mol
Kristal yapısı	Rhombohedral

Tablo 1.1: Borun fiziksel özellikleri.

Bor doğal koşullarda elemental halde bulunmaz, oksijen ile bağlanmış olarak bulunur. Bu bileşiğe borat adı verilir [4]. Bor madenlerinin değerleri genellikle içindeki B₂O₃ ile ölçülmekte, yüksek oranda B₂O₃ bileşiğine sahip olanlar daha değerli kabul edilmektedir. Genelde içinde kil ve diğer empüriteleri barındıran boraks halindedir. Bunlar arasında en önemlileri ve ticari değeri en yüksek olanlar; borat tuzları tinkal, kolemanit, üleksit ve kernittir. Tablo 1.2’de ticari açıdan öneme sahip bazı bor minerallerinin içerdiği boroksit oranları ve diğer kimyasal bileşimleri verilmiştir;

Tablo 1.2: Ticari açıdan öneme sahip bazı bor minerallerinin içerdiği boroksit oranları ve diğer kimyasal bileşimleri.

MİNERALİN ADI	B ₂ O ₃ %	H ₂ O %	CaO %	Na ₂ O %	MgO %	Cl %	SiO ₂ %	MnO ₂ %
Sassolite	56,30	43,70	-	-	-	-	-	-
Colemanite	50,81	21,90	27,20	-	-	-	-	-
Pandermite	49,84	18,00	32,00	-	-	-	-	-
İnyoite	37,62	42,20	20,20	-	-	-	-	-
Mayerhofferite	46,72	28,30	25,00	-	-	-	-	-
Boraks	36,51	47,20	-	16,20	-	-	-	-
Kernite	51,02	26,30	-	22,70	-	-	-	-
Borasit	62,50	-	-	-	31,40	7,90	-	-
Üleksit	42,95	35,50	13,80	7,70	-	-	-	-
Hydroboracite	50,53	26,10	13,50	-	9,80	-	-	-
Sussehide	34,10	8,80	-	-	15,60	-	-	41,50
Datolite	21,80	5,60	35,00	-	-	-	37,60	-
Donburite	28,40	-	22,80	-	-	-	48,80	-
Hawlite	44,49	11,40	28,60	-	-	-	15,30	-

Volkanik etkinlikle eş zamanlı oluşan sıcak su kaynakları ve hidrotermal çözeltiler, boratların oluşumu için en uygun ortamlardır. Borat yataklarının kimyasal çökme sonucu gösel ortamlarda oluşabilmesi için volkanik etkinin yanı sıra boratların birikim oluşturabilecekleri bir havuza ihtiyaç vardır. Ayrıca, kurak - yarı kurak bir iklimin hüküm sürmesi başka bir koşuldur. Borat yatakları için gerekli olan bor genellikle;

-Volkanik faaliyetler sonucu çıkan buhar ve eriyiklerden

-Kayaçların içindeki borun fiziksel ve kimyasal etkenler nedeniyle ayrışarak serbest hale gelmesiyle oluşan borik asit ve eriyebilir boratlardan

-Bünyesinde bor tutan bitkilerin çürümesi ve kavkılarında bor bulunan hayvanların ölmesi ile az miktarda açığa çıkan borlardan sağlanmaktadır.

Farklı oluşum şekilleri ve bileşimler, dünyanın farklı bölgelerinde değişik bor minerallerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Tablo 1.3'te bu mineraller arasında en önemli olanlarının dünya üzerinde buldukları bölgeler, fiziksel özellikleri ve ampirik formülleri verilmiştir.

Tablo 1.3: Tabiatta bulunan bor minerallerinin kimyasal adları ve formülleri.

MİNERALİN ADI	KİMYASAL ADI	FORMÜLÜ
Sassolit (Borik Asit)		$B(OH)_3$
Kolemanit	Kalsiyum Borat	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Pandermit	"	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Priseit	"	$5CaO \cdot 6B_2O_3 \cdot 7H_2O$
İnyoit	"	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 13H_2O$
Tercit	"	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 20H_2O$
Mayerhofferit	"	$2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Boraks (Tinkal)	Sodyum Borat	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$
Kernit (Razorit)	"	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Tinkalkonit	"	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Borazit	Mağnezyum Borat	$5MgO \cdot 7B_2O_3 \cdot MgCl_2$
Pinnoit	"	$2MgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 6H_2O$
Paternoit	"	$MgO \cdot 4B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Ascharit	"	$2MgO \cdot B_2O_3 \cdot H_2O$
Szaibelvit	"	$10MgO \cdot 4B_2O_3 \cdot 6H_2O$
İnderit	"	$2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$
Kurnakevit	"	$2MgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 15H_2O$
Suanit	"	$2MgO \cdot B_2O_3$
Sulphoborit	Mağnezyum Sülfatlı Borat	$4MgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 2MgSO_4 \cdot 9H_2O$
Üleksit	Sodyum-Kalsiyum Borat	$Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 16H_2O$
Probertit	"	$Na_2O \cdot 2CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 10H_2O$
Hidroborazit	Mağnezyum Kalsiyum Borat	$CaOMgO \cdot 2B_2O_3 \cdot 16H_2O$
İnderborit	"	$CaOMgO \cdot 3B_2O_3 \cdot 11H_2O$
Larderellit	Amonyum Borat	$(NH_4)O \cdot 5B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Lagonit	Demirli Borat	$Fe_2O_3 \cdot 3B_2O_3 \cdot 3H_2O$
Ludvigit	"	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot FeO \cdot Fe_2O_3$
Vonsenit	"	$3(FeMg)O \cdot B_2O_3 \cdot FeO \cdot Fe_2O_3$
Magnesioludvigit	Demirli Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot MgO \cdot Fe_2O_3$
Pinakiolit	Manganezli Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot MnO \cdot Mn_2O_3$
Nordanskioldin	Kalaylı Borat	$CaO \cdot SnO_3 \cdot B_2O_3$
Hulsit	"	$12(FeMg)O \cdot 2Fe_2O_3 \cdot SnO_2$
Paigeit	"	$30FeO \cdot 5Fe_2O_3 \cdot SnO_2 \cdot 6B_2O_3 \cdot 5H_2O$
Fluoborit	Fluorlu Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot 3Mg(FOH)_2$
Lunenburgit	Fosfatlı Borat	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 811H_2O$
Kaliborit	Potaslı Borat	$K_2O \cdot 4MgO \cdot 11B_2O_3 \cdot 18H_2O$
Warviekit	Titanlı Borat	$(MgFe)_3 \cdot TiB_2O_3$
Rhodizit	"	(Al Be Mg Na) hidroborat
Sussekit	Çinkolü-Borat	$H(Mn Zn Mg) B_3O_3$
Jeremejevit	Aliminli Borat	$AlBO_3$
Tünelit	Stransiyumlu Borat	$SrO \cdot 3B_2O_3 \cdot 4H_2O$
Veatohit	"	$4SrO \cdot 11B_2O_3 \cdot 7H_2O$
Hawlit	Silikat	$4CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 5H_2O$
Bakerit	"	$8CaO \cdot 5B_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 6H_2O$
Datolit	"	$2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$
Danburit	"	$CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Homilit	"	$3(CaFe)O \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Searlesit	"	$NaB(SiO_3)_2 \cdot H_2O$
Camselit	"	$2(MgFe)O \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$
Manondonit	Lityumlu Silikat	$H_{24} \cdot Li_4 \cdot Al_{14} \cdot B_4 \cdot Si_5 \cdot O_{53}$
Axinit	Silikat	(Ca Al) Bor Silikat
Dumortierit	"	$8Al_2O_3 \cdot B_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$
Kahnit	"	$4CaO \cdot B_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 4H_2O$
Tritomit (Turmalin Grubu)	"	$(Ce, La, Y, Th)_5(SiB)_3(O, OH, F)_{13}$
İdokreyz	"	$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$

1.1.1 Türkiye ve Dünya’da Bor

Dünyadaki önemli bor yatakları Türkiye, ABD ve Rusya’da yer almaktadır. Tablo 1.4’te ülkelerin toplam bor rezervindeki payı gösterilmektedir. Dünya toplam bor rezervi sıralamasında Türkiye % 67’lik payı ile ilk sıradadır [5]. Yapılan son çalışmalar Türkiye’nin toplam rezervdeki payının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ülkemizde bulunan “bor”un kalitesi de diğer ülkelerdeki rezervlere oranla daha yüksektir.

Tablo 1.4: Dünya’da toplam bor rezervi sıralaması.

ÜLKE	GÖRÜNÜR EKONOMİK REZERV	MUHTEMEL MÜMKÜN REZERV	TOPLAM REZERV	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	227000	561000	788000	67.00
A.B.D.	40000	40000	80000	6.80
Rusya	40000	60000	100000	8.50
Çin	27000	9000	36000	3.10
Arjantin	2000	7000	9000	0.80
Bolivya	4000	15000	19000	1.60
Şili	8000	33000	41000	3.50
Peru	4000	18000	22000	1.90
Kazakistan	14000	1000	15000	1.30
Sırbistan	3000	0	3000	0.30
TOPLAM (Bin Ton)	369000	807000	1176000	100.00

Erken Neojen döneminde yaşanan tektonik olaylar sonucunda Anadolu’nun batı bölgesinin oluşumu etkilenmiş ve volkanik dönemin sonunda göllere doğru akan bor bakımından zengin lavlar ve doymuş su çözeltileri buralarda uygun şartlar altında konsantrehale gelerek bugünkü bor rezervlerinin temelini oluşturmuştur. Volkanik dönemin sonunda göllere doğru akan bor bakımından zengin lavlar Bigadiç (Balıkesir) ve Kestelek (Bursa)’daki rezervleri oluşturmuştur. Emet (Kütahya) ve

Kırka(Eskişehir)' deki rezervler doymuş tuzlu su çözeltilerinin uygun şartlar altında konsantre hale gelmesiyle oluşmuştur.

Ülkemizde ilk kez 1865 yılında kurulan Fransız bir şirket tarafından, Balıkesir iline bağlı Susurluk ilçesinin 9 km güneyindeki Aziziye bölgesinde bulunan, bir kalsiyum borat türü olan pandemit rezervi işletilmeye başlanmıştır. 1900'lü yılların başında ise Amerikan firması "Borax Consolidated Limited" şirketi dünya bor üretiminin neredeyse tamamını kontrol eder duruma gelmiştir [3].

Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşu ve devrimler ile birlikte hızla başlayan yapılanma çalışmaları kapsamında 1935 yılında Etibank ve MTA kurulmuştur. 1978 yılında çıkarılan 2172 sayılı yasa ile bor madenleri ile ilgili tüm faaliyetlerin yürütümü Etibank'ın sorumluluğuna verilmiştir ve o dönemden beri Türkiye'de bor rezervleri devlet eliyle işletilmektedir [3].

Türkiye'de ticari öneme sahip 3 tip bor cevheri bulunmaktadır. Eskişehir'in Kırka beldesinden çıkan Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Balıkesir'in Bigadiç ilçesinden çıkan Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), Kütahya'nın Emet ilçesinden, Bursa'nın Kestelek beldesinden ve Balıkesir'in Bigadiç ilçesinden çıkan Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) Türkiye'de bulunan en büyük rezervlere sahip bor cevheri türleridir. Şekil 1.1, Şekil 1.2, Şekil 1.3'de Türkiye'de ticari değeri olan 3 tip bor mineralinin resimleri gösterilmektedir [4].



Şekil 1.1: Tinkal minerali



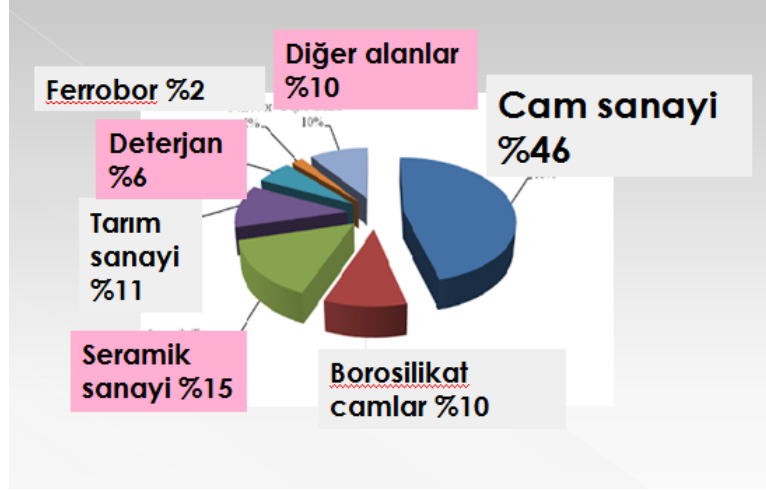
Şekil 1.2: Kolemanit minerali



Şekil 1.3: Üleksit minerali

1.1.2 Borun Kullanım Alanları

Çok geniş ve çeşitli alanlarda ticari olarak kullanılan bor mineralleri ve ürünlerinin kullanım alanları giderek artmaktadır. Üretilen bor minerallerinin % 10'a yakın bir bölümü doğrudan mineral olarak tüketilirken geriye kalan kısmı bor ürünleri elde etmek için kullanılmaktadır. Bor mineralleri ve ürünlerinin kullanıldığı sanayi dalları Şekil 1.4'teki gibi gruplanabilir [5].



Şekil 1.4: Borun kullanım alanları.

1.1.3 Borun Çevreye Olan Etkisi

Bor elementi yer kabuğunun bileşimini oluşturan elementler arasında sayılmamaktadır. Doğada; toprak, kayalar ve suda ortalama 10 mg/L bor bulunmaktadır. Karalar ve sular olarak ayrı ayrı incelemek gerekirse; toprağın bor içeriği genelde ortalama 10–20 mg/L olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzananyörede yüksek konsantrasyonlarda, deniz suyunda 0,5-9,6 mg/L aralığında ve tatlı sularda 0,01-1,5 mg/L aralığında bor bulunmaktadır [6].

Bor'un biyolojik önemi ve metabolizma üzerine etkileri hakkında çalışmaları olan Nielsen Forest H. biyokimyasal verilerin eksikliğine rağmen 1–13 mg bor/gün arasının hem insanlar hem de hayvanlar için güvenli limit değerler olduğu sonucuna varmıştır [7]. Bu veriyi destekleyen bir başka çalışma da Prof. Dr. Sıtkı Şaylı ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmadır. Bu çalışmaya göre bor açısından zengin bir alan olan Bigadiç bölgesinde yaşayanların günlük bor maruziyeti değerlendirilmiştir ve sonuç olarak 6,77 mg bor/gün değeri bulunmuştur. Bu maruziyete bağlı herhangi bir hastalık belirlenmediği de ortaya konulmuştur. Bor bakımından normal konsantrasyon değerlerine sahip bölgelerde, sağlıklı bir beslenme programı uygulayan her insanın meyveler, sebzeler ve tahıllar kanalı ile günde 1–3 mg civarında bor aldıkları ortaya konulmuştur [7]. Sıtkı Şaylı ve arkadaşlarının

çalışmasında Türkiye dahil 5 ülke için verilen günlük bor maruziyetleri Tablo 1.5'te gösterilmiştir.

Tablo 1.5: Dünya üzerinde farklı kıtalarda bulunan ülkelerin kişi başına günlük bor maruziyeti değerleri.

ÜLKE	Günlük bor maruziyeti (mg)
TÜRKİYE	1,26
AMERİKA	1,04 – 1,11
ALMANYA	1,61 – 1,79
MEKSİKA	1,89 – 2,36
KENYA	1,94 – 2,03

Şuana kadar yapılan çalışmalar ile belirlenmiş limit değerleri koruyarak canlıların uygun şartlarda yaşamlarına devam etmeleri için, son yıllarda artan endüstriyel gelişmelerin beraberinde getirdiği çevre sorunlarını uygun yöntemlerle bertaraf etmek gerekir. Aksi takdirde bölgedeki insanları, hayvanları ve bitkileri tehlikeye atmış oluruz. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) insanlarda ve hayvanlarda yüksek bor maruziyetinin üremeye olumsuz etkilerinin olduğunu ifade etmiştir.

Yönetmeliklerde Bor İçin Belirlenen Limit Değerler:

Ülkenin yeraltı ve yerüstü kaynaklarının korunması ve en uygun biçimde kullanımının sağlanması için su kirliliği kontrol mekanizmasının sistematik bir şekilde işlemesi gerekmektedir. Ülkemizde, bu mekanizmanın istenilen doğrultuda işlemesi adına belirli bakanlıklar tarafından yönetmelikler oluşturulmuş ve ardından çıkarılan tebliğler ile de uygulamaya geçilmesi sağlanmıştır. İçme-kullanma sularında ve sulama sularında bor konsantrasyon değerleri yönetmeliklerce belirlenmiştir.

Alıcı ortam, atıksuların deşarj edildiği veya dolaylı olarak karıştığı göl, akarsu, kıyı ve deniz suları ile yer altı suları gibi yakın veya uzak çevreyi ifade eden tanımdır. Bor sınır değerleri, atıksuların deşarj edileceği alıcı ortamın özelliklerine göre değişiklikler arz etmektedir. Orman Su İşleri Bakanlığı'nın 15.04.2015 tarih ve

29327 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmeliği”n 1.maddesinde geçen “Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği”nin adı “Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği” olarak değiştirilmiştir. Bu yönetmelikte Kıtaçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri Tablo 1.6’da verilmiştir [8].

Tablo 1.6: Kıtaçi yüzeysel su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri.

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları ^(a)			
	I	II	III	IV
Genel Şartlar				
Sıcaklık (°C)	≤ 25	≤ 25	≤ 30	> 30
Renk (m ⁻¹)	RES 436 nm: ≤ 1,5 RES 525 nm: ≤ 1,2 RES 620 nm: ≤ 0,8	RES 436 nm: 3 RES 525 nm: 2,4 RES 620 nm: 1,7	RES 436 nm: 4,3 RES 525 nm: 3,7 RES 620 nm: 2,5	RES 436 nm:>4,3 RES 525 nm: >3,7 RES 620 nm: >2,5
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	< 6,0 veya > 9,0
İletkenlik (µS/cm)	< 400	1000	3000	> 3000
Yağ ve Gres	Yüzer halde yağ, katran gibi sıvı maddeler, çöp ve benzeri katı maddeler ile köpük bulunamaz.			-
(A) Oksijenlendirme Parametreleri				
Oksijen doygunluğu (%) ^(b)	>90	70	40	< 40
Çözülmüş oksijen (mg O ₂ /L) ^(b)	> 8	6	3	< 3
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	< 25	50	70	> 70
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅) (mg/L)	< 4	8	20	> 20
B) Nutrient (Besin Elementleri) Parametreleri				
Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L) ^(c)	< 0,2	1	2	> 2
Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	< 5	10	20	> 20
Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	< 0,01	0,06	0,12	> 0,3
Toplam kjeldahl-azotu (mg N/L)	< 0,5	1,5	5	> 5
Toplam fosfor (mg P/L)	< 0,03	0,16	0,65	> 0,65
C) İz Elementler (Metaller) ve İnorganik Kirlilik Parametreleri ^(d)				
Alüminyum (mg Al/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	1	> 1
Arsenik (µg As/L)	≤ 20	50	100	> 100
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	50	200	> 200

Baryum ($\mu\text{g Ba/L}$)	≤ 1000	2000	2000	> 2000
Bor ($\mu\text{g B/L}$)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	> 1000
Civa ($\mu\text{g Hg/L}$)	$\leq 0,1$	0,5	2	> 2
Çinko ($\mu\text{g Zn/L}$)	≤ 200	500	2000	> 2000
Demir ($\mu\text{g Fe/L}$)	≤ 300	1000	5000	> 5000
Florür ($\mu\text{g F}^-/\text{L}$)	≤ 1000	1500	2000	> 2000
Kadmiyum ($\mu\text{g Cd/L}$)	≤ 2	5	7	> 7
Kobalt ($\mu\text{g Co/L}$)	≤ 10	20	200	> 200
Krom ($\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{L}$)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
Krom (toplam) ($\mu\text{g Cr/L}$)	≤ 20	50	200	> 200
Kurşun ($\mu\text{g Pb/L}$)	≤ 10	20	50	> 50
Mangan ($\mu\text{g Mn/L}$)	≤ 100	500	3000	> 3000
Nikel ($\mu\text{g Ni/L}$)	≤ 20	50	200	> 200
Selenyum ($\mu\text{g Se/L}$)	≤ 10	≤ 10	20	> 20
Serbest klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{L}$)	≤ 10	≤ 10	50	> 50
Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/L}$)	≤ 10	50	100	> 100
Sülfür ($\mu\text{g S}=\text{L}$)	≤ 2	≤ 2	10	> 10
Tehlikeli maddeler	Tehlikeli maddeler ve bu tabloda verilmeyen diğer kirleticiler konuyla ilgili ülkeenvanteri (referans değerler) oluşturulduktan sonra, 1 Ocak 2016'den itibaren değerlendirilecektir.			
D) Bakteriyolojik Parametreler				
Fekal koliform (Membran)	≤ 10	200	2000	> 2000
Toplam koliform (Membran)	≤ 100	20000	100000	> 100000

(a) Kalite sınıflarına göre suların kullanım maksatları:

I. Sınıf - Yüksek kaliteli su (Tüm parametrelerin I. sınıf su kalitesi değerinde olması “Çok İyi” su durumunu ifade etmektedir.);

1) İçme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü suları,

2) Yüzme gibi vücut teması gerektirenler dâhil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su,

3) Alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,

4) Hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su,

II. Sınıf - Az kirlenmiş su (I. ve II. sınıf su kalitesi arasındaki değerler “İyi” su durumunu ifade etmektedir.);

1) İçme suyu olma potansiyeli olan yerüstü suları,

2) Rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir nitelikte su,

- 3) Alabalık dışında balık üretimi için kullanılabilir nitelikte su,
4) Mer'i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu,

III. Sınıf - Kirlenmiş su (II. ve III. sınıf su kalitesi arasındaki değerler "Orta" su durumunu ifade etmektedir.);

Gıda, tekstil gibi nitelikli su gerektiren tesisler hariç olmak üzere, uygun bir arıtmadan sonra su ürünleri yetiştiriciliği için kullanılabilir nitelikte su ve sanayi suyu,

IV. Sınıf - Çok kirlenmiş su (III. ve IV. sınıf su kalitesi arasındaki değerler "Zayıf" su durumunu ve tüm parametrelerin IV. Sınıf su kalitesi değerinde olması "Kötü" su durumunu ifade etmektedir.);

III. sınıf için verilen kalite parametrelerinden daha düşük kalitede olan ve üst kalite sınıfına ancak iyileştirilerek ulaşabilecek yerüstü suları.

(b) Konsantrasyon veya doygunluk yüzdesi parametrelerinden sadece birisinin sağlanması yeterlidir.

(c) pH değerine bağlı olarak serbest amonyak azotu konsantrasyonu 0,02 mg NH₃⁻N/L değerini geçmemelidir.

(d) Bu gruptaki kriterler parametreleri oluşturan kimyasal türlerin toplam konsantrasyonlarını vermektedir.

1.1.4 Bor Giderim Yöntemleri

Endüstriyel atık sulardan bor giderimi için kullanılan yöntemlerden bazıları İyon Değişimi Prosesi, Ters Osmoz, Adsorpsiyon, 1,3-Diollerle Sıvı-Sıvı Ekstraksiyon olarak sayılabilir.

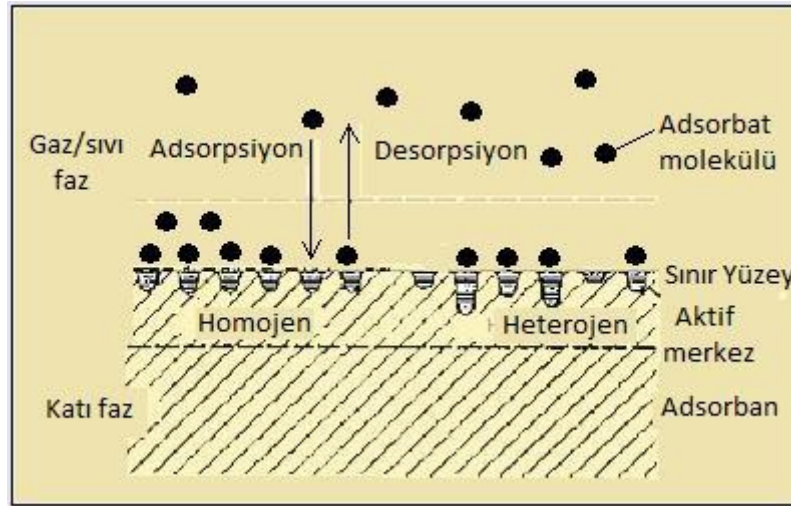
1.1.4.1 Adsorpsiyon

Geniş bir uygulama alanına sahip olan adsorpsiyon işlemi iki fazı birbirinden ayıran ara yüzeylerde gerçekleşen bir tutunma olayıdır. Bu tutunma işlemi sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı fazları ara yüzeylerinde gerçekleşebilmektedir. Adsorpsiyon prosesinin temeli fazlar arası yüzeyde moleküllere etki eden

dengelenmemiş kuvvetlerin ortamdaki diğer moleküllerle etkileşimler sonucu dengelenmesine dayanmaktadır [9].

Adsorpsiyon proseslerinde, adsorplayan faz adsorban ve adsorplanan maddeler adsorbat olarak adlandırılmaktadır. Sıvı ya da gaz çözeltiler içerisindeki kirleticilerin katı adsorban yüzeyi üzerinde tutularak giderilmesi şeklinde uygulanan adsorpsiyon işlemi, çevre kirliliğini azaltmada önemli bir yere sahiptir [10,11] .

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi iyon ya da moleküllerin katı adsorban yüzeyinde yer alan aktif merkezlere tutunması, adsorpsiyon olarak adlandırılırken, tutunan adsorbatların yüzeyden ayrılması desorpsiyon olarak tanımlanmaktadır [12].

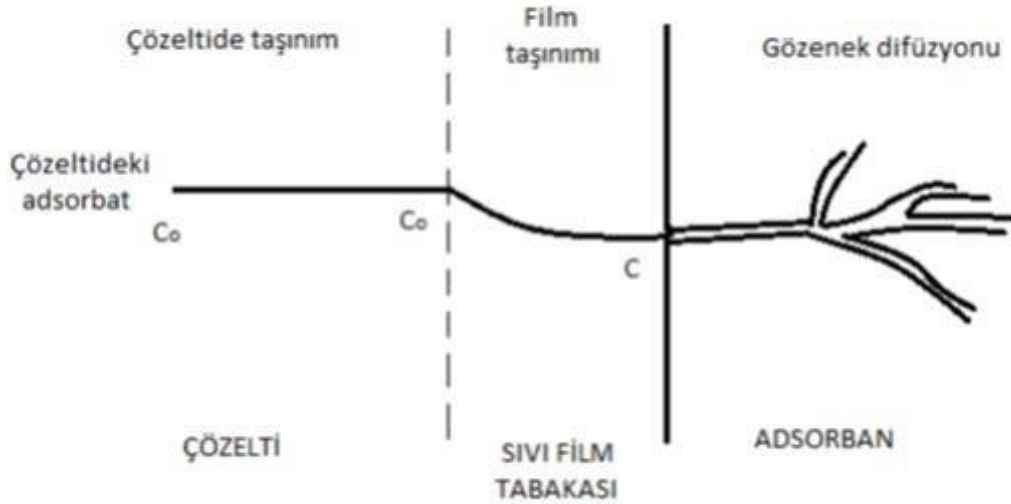


Şekil 1.5: Katı adsorban yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon [13].

Sıvı fazdaki adsorbatın katı adsorban yüzeyine adsorpsiyonu Şekil 1.5'te gösterildiği gibi dört aşamada gerçekleşmektedir. Adsorpsiyon işleminin ilk aşaması "bulk difüzyon" olarak adlandırılmakta ve sıvı faz içerisinde bulunan adsorbant moleküllerinin sıvı-katı ara yüzeyine doğru difüzyonu şeklinde tanımlanmaktadır. Film difüzyonu veya film taşınımı olarak adlandırılan ikinci aşamada, adsorbat molekülleri sıvı-katı ara yüzeyindeki durgun bölümden geçerek adsorbanın gözeneklerine doğru ilerler. Üçüncü aşama olan gözenek difüzyonunda, adsorbatların kendi boyutlarına uygun çaplardaki gözeneklere taşınımları söz konusudur. Son

aşama olan ve adsorpsiyon işleminin gerçekleştiği “sorpsiyon” basamağında ise, taşınan adsorbat moleküllerinin uygun boyutlardaki gözeneklerde tutunması gerçekleşir. Adsorpsiyon işleminin basamakları Şekil 1.6’da verilmiştir [14].

Adsorpsiyon işleminin endüstrideki başlıca uygulamaları; su arıtımı, atık su



Şekil 1.6: Adsorpsiyon işleminin basamakları.

arıtımı, hava ya da diğer gazlardan nemin uzaklaştırılması, tat, koku ve renk giderimi ile organik maddelerin ve ağır metallerin giderimidir. Su buharının havadan veya diğer gazlardan uzaklaştırılması, endüstriyel gaz karışımı içerisindeki karbondioksit, kükürt dioksit gibi safsızlıkların, gaz veya sıvı karışımlardan istemeyen kokuların, şeker çözeltilerinde ve petrol ürünlerinden rengin giderilmesi, organik sıvılar içerisinde çözünen suyun uzaklaştırılması adsorpsiyon işleminin endüstrideki uygulamalarına örnek olarak verilebilir .

Adsorpsiyon Türleri

Adsorpsiyon işleminde, adsorban yüzeyi ile adsorbat molekülleri arasındaki etkili olan kuvvetler dikkate alındığında adsorpsiyon prosesi üç başlık altında incelenebilir.

Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon, adsorban yüzeyindeki aktif bölgeler ile adsorbat molekülleri arasında zayıf Van der Waals kuvvetlerinin etkili olduğu; ancak, adsorbat ve adsorban arasında herhangi bir elektron alışverişi ya da elektron paylaşımının söz konusu olmadığı bir adsorpsiyon çeşididir. Katı adsorban yüzeyinde gevşek bir tabaka oluşturan adsorbat molekülleri hareketli durumda kaldığından proses tersinirdir. Fiziksel adsorpsiyon için geçerli olan ve desorpsiyon olarak bilinen bu durumda katı yüzey üzerinde yüksek derişimde bulunan moleküller katı yüzeyinden diğer faza hareket edebilmektedirler [15].

Fiziksel adsorpsiyon için gerekli olan aktivasyon enerjisi düşük olduğundan adsorpsiyonun gerçekleşmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterli olmaktadır. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbat, katı adsorbanın kristal örgüsü içine girmez ve çözünmez; ancak yüzeyi tamamen kaplar. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyon sonrası adsorban kolaylıkla rejenere edilerek bir sonraki kullanıma hazır hale gelmekte ayrıca ortamdaki uzaklaştırılan moleküllerin geri kazanımı da mümkün olabilmektedir. Tersinir olması ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi nedeniyle fiziksel adsorpsiyon işlemi endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bir prosestir [16, 17, 18].

Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbat molekülleri adsorban yüzeyine fiziksel adsorpsiyonda söz konusu olan Van der Waals kuvvetlerinden çok daha kuvvetli olan iyonik ya da kovalent bağlar ile bağlanmaktadır. Bu işlem sırasında adsorbatın elektronik konfigürasyonu önemli ölçüde değişerek adsorban yüzeyinde monomoleküler bir tabaka oluşturmaktadır. Adsorban yüzeyinin tamamı monomoleküler tabaka ile kaplandığında adsorbanın adsorplama kapasitesi dolmaktadır. Kimyasal adsorpsiyon, kimyasal tepkimelerle gerçekleşip, kuvvetli bağlarla adsorban ve adsorbat moleküllerinin kimyasal yapılarını değiştirdiği için tersinmez bir işlemdir. Bu nedenle kullanılan adsorbanın ya da adsorbatın geri kazanımı söz konusu değildir.

Kimyasal adsorpsiyon enerjisi fiziksel adsorpsiyon enerjisine kıyasla daha yüksektir. Kimyasal olarak adsorplanmış moleküller yüzey üzerinde serbest harekete

sahip değillerdir. Kimyasal adsorpsiyon hızı fiziksel adsorpsiyona göre daha düşüktür. Çünkü kimyasal adsorpsiyon süreçleri belirli bir aktivasyon enerjisi ile karakterize edilirler ve bu yüzden ancak belirli bir minimum sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda tepkime hızla gelişir. Kimyasal adsorpsiyon özellikle kimyasal reaksiyonlardaki katı katalizör uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır.

Adsorpsiyonu Etkileyen Parametreler

Karmaşık bir proses olan adsorpsiyonda birçok parametre adsorpsiyon sürecine etki etmektedir. Gerek laboratuvar ölçeğinde yapılan çalışmalar da gerekse endüstriyel uygulamalarda adsorban seçiminde ve sonrasında seçilen adsorbanın optimum çalışma koşullarının belirlenmesinde adsorpsiyon işleminde hangi parametrelerin ne şekilde etkili olduğunun bilinmesi son derece önemli ve gereklidir.

Etkili olan bu parametreler genel olarak adsorbat, adsorban ve adsorpsiyon ortamının özellikleri olarak sınıflandırılabilir.

Adsorbat Özellikleri

Adsorpsiyon sürecini etkileyen en önemli parametrelerden biri hiç kuşkusuz uzaklaştırılmak istenilen adsorbatın özellikleridir. Adsorbatın kimyasal yapısı ile doğrudan ilişkili olan çözünürlüğü sıvı fazdan adsorpsiyon ele alındığında, sadece adsorplanacak moleküllere bağlı olmayıp çözücüye ait bir özellik olarak da düşünülebilmektedir. Lundelius'a göre, çözülmüş maddenin çözünürlüğü ile adsorpsiyon süreci arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Traube ise, genel olarak organik bileşiklerin sudaki çözünürlüğünün artan zincir uzunluğu ile azaldığını ve dolayısıyla adsorpsiyonun arttığını ileri sürmektedir. Lundelius'un önerdiği ve sonrasında Traube'nin desteklediği yaklaşımlara göre, adsorplanacak moleküllerin çözünürlüğü yüksek olduğunda, yani adsorplanacak madde hidrofilik bir yapıda olduğunda, moleküllerin çözelti ortamında kalmak isteyip adsorban yüzeyine karşı daha az ilgi duyacağı kabul edilmektedir. Bu durum aynı zamanda aynı ortamda bulunan hidrofilik bir maddenin, hidrofobik bir maddeye oranla daha az adsorbe olacağını da kanıtlamaktadır. Yapısında farklı grupları barındıran bir molekülün katı

adsorban yüzeyinde tutunması ise, ancak moleküldeki hidrofobik uçlar tarafından gerçekleştirilebilmektedir [19].

Adsorbata ait özelliklerden bir diğeri de adsorbat moleküllerinin büyüklüğüdür. Endüstriyel uygulamalarda sisteme en uygun adsorbanın seçilmesinde en başta dikkate alınması gereken özelliklerden biri ortamdaki uzaklaştırılmak istenen ya da geri kazanılmak istenen moleküllerin boyutlarıdır. Molekül büyüklüğü seçilen adsorbanın gözeneklerine göre büyük olan adsorbatın, adsorbanın aktif merkezlerine ulaşma ihtimali düşüktür.

Yine adsorbata ait özelliklerden olan iyonizasyon etkisi ortamın pH değeri ile yakından ilgilidir. Bu durumda nötr olan basit moleküller, iyonlaşmış hallerine göre daha fazla adsorbe olur. Kompleks moleküllerde ise iyonizasyon etkisi basit moleküllerde olduğu kadar önemli değildir.

Adsorban Özellikleri

Adsorbatta olduğu gibi adsorbanın hem kimyasal özellikleri hem de fiziksel özellikleri adsorpsiyonu doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Adsorbanın fiziksel özelliklerinden yüzey alanı, tanecik boyutu ve gözenek yapısı adsorpsiyon sürecini önemli ölçüde etkiler. Adsorpsiyon yüzeyde gerçekleşen bir olay olduğundan daha geniş yüzey alanına sahip bir adsorban, adsorpsiyon için uygun koşullar sağlandığında daha fazla molekülü yüzeyinde tutacak dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi artacaktır.

Adsorbanın gözenek yapısı adsorpsiyon mekanizmasına yön veren diğer bir önemli parametredir. Adsorbanın gözenek yapısı denildiğinde gözeneklerin büyüklüğü, toplam adsorban hacmi içerisindeki oranı ve gözenek boyut dağılımı anlaşılmaktadır. Uluslar Arası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (International Union of Pure and Applied Chemistry–IUPAC) tarafından adsorban olarak kullanılan maddeler gözenek boyutlarına göre dört sınıfa ayrılmıştır. Buna göre gözenek yarıçapı;

- ✓ 25 nm'den büyük olanlar makrogözenekli,
- ✓ 25 ile 1 nm arasında olanlar mezo gözenekli,
- ✓ 1 ile 0,4 nm arasında olanlar mikrogözenekli,
- ✓ 0,4 nm'den küçük olanlar submikrogözenekli

olarak adlandırılmaktadır. Adsorpsiyon sırasında makro gözenekler adsorbat moleküllerinin adsorban içerisine girmesine, mezo gözenekler daha iç bölgelere ilerlemesine olanak sağlarken mikro gözeneklerde genellikle moleküllerin tutulması gerçekleşmektedir.

Adsorbanın yüzey alanı, gözenek dağılımının yanı sıra tanecik boyutu da adsorpsiyonda etkilidir. Belirli miktar adsorban daha küçük parçalar şeklinde adsorpsiyon prosesinde yer aldığı birim adsorbanın yüzeyinde tutacağı molekül sayısı artacaktır. Ticari olarak toz, granül ve pelet şeklinde adsorbanlar farklı amaçlara yönelik kullanılmaktadırlar.

Adsorbanın kimyasal karakteri düşünüldüğünde yüzeyindeki fonksiyonel grupların türü ve dağılımı, adsorbanın asidik, bazik ya da nötr durumda olması önemlidir. Özellikle yapıdaki fonksiyonel grupların türü adsorbatı yüzeye çeken kuvvetlerin büyüklüğünü belirlemektedir [20].

Adsorpsiyon Ortamının Özellikleri

Adsorpsiyon ortamının sıcaklığı, pH değeri ve ortamda bulunan moleküllerin çeşitliliği adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir.

Adsorpsiyonun endotermik ya da ekzotermik olmasına bağlı olarak sıcaklığın etkisi değişmektedir. Endotermik adsorpsiyon proseslerinde artan sıcaklıkla adsorbanın belirli bir molekül adsorplama kapasitesi artarken, ekzotermik adsorpsiyonda adsorpsiyon kapasitesi azalmaktadır [21].

Ortam pH değeri özellikle adsorbatın çözeltide hangi formda olacağını belirlemektedir. Bilindiği gibi moleküller belirli pH aralığında bir çözücüde

çözünürken bu aralığın dışına çıktığında çökebilmektedirler. pH ayrıca adsorbanın yüzey fonksiyonel gruplarını da etkileyeceğinden adsorbata olan ilgisini arttırarak ya da azaltarak da adsorpsiyon kapasitesini etkilemektedir.

pH ortamdaki hidronyum ve hidroksil iyonlarının bir fonksiyonudur. Adsorbanın yüzey yüklerine bağlı olarak hidronyum ve hidroksil iyonları adsorplanabilmekte ve bu durum çözeltideki diğer iyonların adsorplanmasını engelleyebilmektedir. Asidik pH değerlerinde adsorban yüzeyine pozitif yüklenme ihtimali arttığından yüzey negatif yüklü iyonların adsorpsiyonuna daha elverişli hale gelmektedir. Bazik pH değerlerinde ise bunun tam tersi gözlenmekte; yani pozitif yüklü iyonların adsorplanması kolaylaşmaktadır. Organik asitler düşük pH değerlerinde daha fazla adsorbe olurken, organik bazlar bazik pH değerlerinde daha iyi adsorbe olmaktadır [22]. Genel olarak pH değeri yükseldiğinde metal iyonlarının adsorplanmasında artış görülmektedir. Çünkü çözeltide bulunan hidronyum ve pozitif yüklü metal iyonları arasındaki yarış azalmakta dolayısıyla adsorpsiyon artmaktadır [13].

Adsorpsiyon ortamının sahip olduğu bileşimin adsorpsiyona etkisi yarışan iyonların etkisi olarak tanımlanabilir. Çok bileşenli ortamda bulunan bir madde genellikle saf olarak bulunduğu hale göre daha az adsorplanmaktadır. Bunun nedeni ortamdaki diğer iyonlarda adsorban yüzeyine doğru yönelmeleri ve esas uzaklaştırılmak istenen iyonların daha az sayıdaki merkeze tutunmasının söz konusu olmasıdır [23].

Adsorpsiyonla ilgili gerçek uygulamalarda ortam bileşiminin önceden tespit edilip ona uygun adsorban seçilmesi önemlidir.

Adsorban Türleri ve Özellikleri

Adsorpsiyon işleminde gözenekli her katı maddenin adsorban olarak kullanılabilmesi düşünülse de endüstriyel uygulamalarda bir adsorbanın kullanılabilmesi için;

- Ekonomik olması,
- Fazla miktarlarda bulunabilmesi,

- Kolay ve ucuz yöntemlerle elde edilebilmesi,
- Fiziksel olarak sağlam olup rejenere edilerek tekrar tekrar kullanılabilmesi,
- Adsorpsiyon ortamlarında kararlı yapıda olup, ortam çözücüsü ile kimyasal reaksiyona girmemesi,
- Adsorpsiyonu istenilen sıvı ve gazlara karşı adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması,
- Ortamdan uzaklaştırılmak istenen ya da geri kazanımı istenen moleküllere karşı yüksek seçicilikte olması gerekmektedir [24,25].

1.1.4.2 Kimyasal Koagülasyon

Kimyasal koagülasyon, kolloidal süspansiyon içindeki yüklü partiküllerin zıt yüklü iyonlarla karşılıklı etkileşmesi sonucu nötralize edilip bir araya toplanarak çökelmelerin sağlanması olayıdır. Flokülasyon ise oluşan bu yumakların daha da büyük floklar oluşturulması için yapılan işlemdir. Bu amaçla, uygun kimyasal maddeler ilave edilir.

Atıksuların arıtımı için uzun sürelerden beri geniş ölçüde kullanılmıştır. Koagülasyon, koloidal partiküllerin net yüzey yükünün azaltılması sonucu elektrostatik itme kuvvetiyle sıkışması ile bir araya gelip yeterli Van Der Waals kuvvetiyle tutunup birikmesi ile gerçekleştirilir [26]. Yüzey yükünün indirgenmesi, zıt yüke sahip elektrolitin mevcut olması ile elektriksel çift tabakanın itme potansiyelinin azalmasının sonucudur [27]. Sular çeşitli maksatlar için koagülasyona tabi tutulur.

Bunlardan en önemli olanları şunlardır.

- ✓ İnorganik ve organik kirleticilerin giderilmesi
- ✓ Renk giderilmesi.
- ✓ Bulanıklığın giderilmesi.
- ✓ Tat ve koku veren maddelerin yok edilmesi.
- ✓ Alglerin ve plankton organizmanın giderilmesi.
- ✓ Zararlı bakterilerin ve patojenlerin yok edilmesi.

Koagülasyon Çeşitleri:

- 1. Elektrostatik Koagülasyon:** Elektrolitlerin ilavesi ile kolloidlerin arasındaki elektrostatik itmelerin azaltılarak kolloidlerin destabilize edilmeleri işlemidir.
- 2. Adsorptif Koagülasyon:** Taneciklerin elektriksel yükünün yüzeyde adsorblanabilen bazı bileşikler ilavesi ile destabilize edilmeleri işlemidir.
- 3. Köprülü Koagülasyon:** Uygun bazı makromolekül veya polielektrolit ilavesi sonucu kolloidler ile polielektrolitler arasında köprü oluşumu yoluyla bağlanma olması ve kolloidlerin bu şekilde destabilize edilmeleri işlemidir.
- 4. Ortak Koagülasyon:** Zıt yüklü taneciklerin birleştirilmesi ile kolloidlerin pıhtılaşmasıdır.
- 5. Sürüklemeli Koagülasyon:** Kolloid veya iyon halindeki kirliliklerin metal hidroksitler (Al ve Fe hidroksitler) oluşumu sonucu yumaklanması ve kirliliğin uzaklaştırılmasıdır [28].

Koagülasyonda Kullanılan Koagülantlar

1. Alüminyum Sülfat

İçme suyu ve atıksu arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılan iki koagulanttan biri olan Alüminyum Sülfat (Al_2SO_4) yüksek verimli bir arıtma kimyasalıdır. Alum tatbiki sonrasında demir sülfat ve demir klorür'e oranla proses mekaniği üzerinde görsel kirlilik yaratmaması estetik açıdan tercih edilmesine neden olmaktadır. Çalışma aralığı, su ve atıksuyun bulanıklık ve benzeri değerlerine bağlı olarak pH 5,5-7,8 'dir.

2. Demir (III) Klorür

Demir (III) klorür ($FeCl_3$) genellikle % 40 lık çözeltisi halinde kullanılan iyi bir koagülanıttır. Koyu kahve renklidir. Sudaki eriyiği asidik özellikte olduğundan dolayı korozif etki gösterir. Bu nedenle aside dayanıklı (plastik ve benzeri)

bidonlarda muhafaza edilmelidir. pH 6-9 aralığında en uygun verim elde edilir.

3. Demir Sülfat

Demir sülfat (FeSO_4) arıtma proseslerinin kimyasal reaksiyonlarının en önemli parçası olan koagülasyon (pıhtılaştırma) aşamasında en yaygın kullanılan iki kimyasaldan biridir. Yüksek verimli bir arıtma kimyasalıdır. Arıtma sektörü için muadili kimyasallar demir (III) klorür ve alüminyum sülfattır. Ülkemizde deşarj edilen atıksuların niteliğine bağlı olarak, atık su arıtma tesislerinin %85'inde demir sülfat ile verimli sonuçlar elde edilebilir. pH 5–10 aralığında en uygun verim elde edilmektedir.

4. Poli Alüminyum Klorür (PAC)

Atık su arıtma işlemlerinde genellikle koagülant yardımcı maddesi olarak pıhtılaştırmayı arttırıcı etkisi vardır. Suda kolaylıkla çözünebilen % 1'lik çözeltisinin pH'ı 3,5-4,5 arasında seyreden bir koagülant türüdür. Çözelti halinde korozif özellik gösterdiğinden dolayı asite dayanıklı malzemeler içinde muhafaza edilmelidir.

Koagülant Yardımcıları

Bazı kimyasalların katılması flok büyümesini ve çökelmeyi hızlandırmaktadır. Aktifleştirilmiş silika, alüminyum hidratin çok mikro seviyesindeki parçalarıyla birlikte birleşen bir kısa zincirli polimerdir. Yüksek dozajlarda, silica elektronegatif özelliğinden dolayı flok oluşumuna engel olmaktadır. Genellikle kullanılan dozaj $5-10 \text{ mg.L}^{-1}$ arasındadır. Polielektrolitler yüklü floklarla, partiküller arasında köprü kuran ve adsorplayan gruplar içeren yüksek molekül ağırlıklı polimerlerdir. Büyük floklar (0,3-1 mm) alum ve demir klorürle bağ kuran polielektrolitlerin az miktarları ($1-1,5 \text{ mg.L}^{-1}$) katıldığı zaman oluşur. Polielektrolitler aslında pH ile alakalı değildirler ve kolloid üzerindeki yükün etkisini azaltan bir koagülant gibi davranırlar. Üç tip polielektrolit vardır. Bunlar;

- ✓ Flok partikülleri veya negatif kolloidleri üzerine adsorplayan katyonik polimerler,
- ✓ Kolloid ve polimer arasında hidrojen bağı izin veren ve bir kolloid parçasının anyonik gruplarla yer değiştirmesini sağlayan anyonik polimerler,

- ✓ Polimer içerisindeki polar gruplar ve katı yüzeyi arasında hidrojen bağları ile floküle olan ve adsorplanan non iyonik polimerlerdir [29].

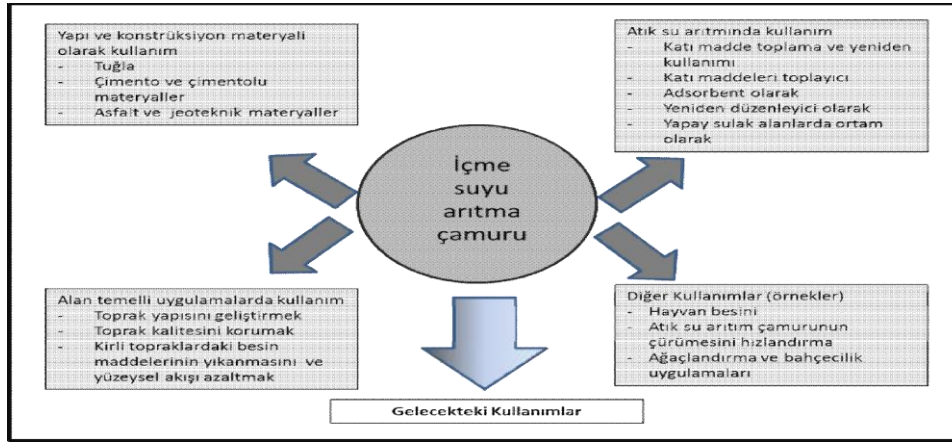
1.2 İçme Suyu Arıtma Çamuru

İçme suyunun renksiz, berrak olması, hastalık yapıcı organizmalar ve zararlı kimyasal maddeleri içermemesi için arıtım işlemleri yapılmaktadır. Günümüzün sanayileşmiş ülkeleri yetersiz su rezervlerine rağmen içme suyu ihtiyaçlarını arıtım teknolojileri sayesinde rahat karşılamaktadırlar. Kaynaktan alınan suyu, içme suyu standartlarına uygun hale getirmek amacıyla arıtım sırasında çeşitli temel işlemler yapılmaktadır. Gaz transferi ve havalandırma, ızgaradan geçirme, mikro eleklerden geçirme, biriktirme, çöktürme, yüzdürme, asitliği (pH) ayarlama, hızlı karıştırma ve yumaklaştırma, filtrasyon, dezenfeksiyon, kimyasal stabilizasyon, adsorpsiyon, iyon değiştirme, kimyasal çöktürme, kaynatma, ters osmoz ve yumuşatma işlemleri bu temel işlemler arasındadır[30]. Arıtım sırasında suyun geldiği kaynağa bağlı olarak çeşitli mineraller, kum, kil, silt gibi materyaller ile çeşitli katı maddeleri içeren arıtım çamurları ortaya çıkmaktadır. Temelde içme suyu arıtım tesislerinden çıkan arıtma çamuru, kentsel atık su arıtma çamurlarından farklı olarak sağlık yönünden çok önemli riskler taşımamaktadır. İçme suyunun arıtım işlemleri sırasında yapılan birtakım uygulamalar (örneğin askıda katı maddelerin çökmesini sağlayacak kimyasal uygulamaları) ile içme suyu arıtma çamurlarının kalitesi de olumsuz yönde değişmektedir. İçmesuyuarıtımında kullanılan kimyasallar Tablo 1.7’de verilmiştir [31]. Bu kimyasallara bağlı olarak ortaya çeşitli riskler de çıkabilmektedir. Zimbabwe’de yapılan bir çalışmada arıtmadan sonra ortaya çıkan çamurun deşarj edildiği Manyama Nehri ve Gölündeki balıklarda ortaya çıkan etkilerin balık yaşamını olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir [32].

Tablo 1.7: İçme suyu arıtımında kullanılan kimyasallar.

Koagülant (Çökeltici, Pıhtılaştırıcı)	Koagülasyon Yardımcıları	pH Ayarı İçin
Alüminyum sülfat [Al ₂ (SO ₄) ₃] Demirklorür (FeCl ₃) Demirsülfat [Fe ₂ (SO ₄) ₃] Alüminyum klorhidrat [AlCl(OH) ₃] Poli alüminyum klorür [Al _n (OH) _m Cl (3n-m)] Poli alüminyum silikasülfat [Na ₁₂ (AlO ₂)(SiO ₂) ₁₂ xH ₂ O] Sodyum aluminat (NaAlO ₂)	Kalsiyum oksit(CaO) Poliakrilamid (C ₃ H ₅ NO) _n Sodyum silikat (Na ₂ SiO ₃)	Hidroklorik asit (HCl) Sülfürik asit (H ₂ SO ₄) Sodyum hidroksit (NaOH) Sodyum karbonat (Na ₂ CO ₃) Sodyum bikarbonat(NaHCO ₃) Kireç[Ca(OH) ₂] Sodyum silikat (Na ₂ SiO ₃)

Su arıtımı sırasında son ürün olarak ortaya çıkan arıtma çamuru bertaraf edilmesi gereken bir materyaldir. Genel olarak Avrupa’da her yıl birkaç milyon ton arıtma çamuru üretildiği bunun gelecek on yıl içinde ikiye katlanacağı; bu materyalin serilmesi veya depolanması için harcanan parasal gider miktarının daha da artacağı bildirilmektedir. Hollanda’da içme suyu arıtma çamurunun ortadan kaldırılması için harcanan miktar 30-40 milyon Euro’dur. Kuru olarak yılda üretilen içme suyu arıtma çamuru miktarları İrlanda’da 18 000, Almanya’da 125 000, Hollanda’da 34 000, Portekiz’de 20 000, Taiwan’da 120 000 tondur [33]. İtalya’da ise yılda 750 000 ton (ıslak olarak 15 000 000 m³) içme suyu arıtma çamurunun üretildiği; bu atığın düzenli depolanması için yılda harcanan parasal giderin de 50 milyon Euro olduğu bildirilmektedir [34]. İngiltere’de de kuru olarak 131 000 (182 000) ton arıtma çamuru oluştuğu tahmin edilmektedir. Elde edilen bu materyalin % 87’si düzenli olarak depolanmakta veya su arıtım işlemleri için geri deşarj edilmektedir. Arıtma çamurunun % 13’ü ise arazilere serilmektedir [35]. İrlanda’da da içme suyu arıtma çamurları düzenli olarak depolanmaktadır [36].



Şekil 1.7: İçme suyu arıtma çamurunun yeniden kullanım alanları.

Kentsel atık suyun arıtımı sırasında ortaya çıkan arıtma çamurları da dâhil olmak üzere arıtma çamurlarının kullanımını kısıtlayan en önemli faktör içinde bulunan kirlilik etmenleridir. Ancak kontrollü olarak bu arıtma çamurları çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. İçme suyu arıtma çamuru ticari potansiyeli yüksek yeniden kullanılabilir bir materyal olarak değerlendirilmektedir (Şekil 1.7) [33].

1.3 Optimizasyon

Proseslerin optimizasyonunda genellikle sistemin performansını veya ürünün kalite kriterlerini belirleyen çok sayıda yanıtla eş zamanlı olarak çalışılır. Bu yanıtların bazılarının maksimum seviyede tutulması, bazılarının minimum seviyede tutulması, bazılarının da kabul edilebilir değerler veya hedef değer alması istenir. Birçok durumda, yanıtlar birbirleri ile rekabet halindedir, diğer bir ifadeyle bir yanıtın geliştirilmesi diğer bir yanıt üzerinde olumsuz bir etki oluşturabilir. Bu yüzden, optimizasyon çalışmalarında sistemi karakterize eden tüm yanıtların hep birlikte ele alınması gerekmektedir. Ancak bu durumda, optimizasyon oldukça karmaşık bir hal almaktadır. Bu problemi çözmek için farklı yaklaşımlar öne sürülmüştür. Tek yanıtli optimizasyon problemlerinin çözümü durağan noktaların hesaplanması ile yapılabilir.

Optimizasyon Metodları :

1.Faktör Analiz Metodu

2.Karma Metod

3.Yanıt Yüzey Metodu

4.Taguchi Metodu

1.3.1 Yanıt Yüzey Metodu

Konvansiyonel optimizasyon çalışmalarında, prosese etki eden bir faktörün değişimi, diğer faktörlerin sabit tutularak belirlenmesiyle yapılmıştır. Ancak, bu durumda proses parametrelerinin birbirleriyle olan etkileşimleri tamolarak belirlenmemekte ve dolayısıyla kesin ve hassas proses optimizasyonuna izin vermemektedir. Bu şekilde parametreler birbirleriyle etkileşim içinde olmadıklarından, cevap değişkeni sadece tek değişkenli bir parametrenin fonksiyonu olmaktadır. Ayrıca, optimizasyon için daha uzun çalışma süreleri gerekmekte ve ekonomik olamamaktadır [37].

Bütün bu dezavantajları ortadan kaldırmak için, deneysel proses optimizasyonlarının istatistiksel dizayn araçlarına dayandırılması gerekmektedir. Yanıt Yüzey Yöntemi (YYY), bu amaç için tasarlanmış ve kompleks sistemlerin optimizasyonunda son yıllarda kullanılmaya başlanmış, gerek çalışma süreleri, gerekse ekonomik açıdan daha karlı bir yöntemdir [38].

YYY, ilk kez 1951 yılında G.E.P.Box ve K.B.Wilson tarafından ortaya atılmıştır. YYY, bir dizi özel matematiksel ve istatistiksel metotlardan oluşmaktadır. YYY'de bir takım dizayn parametrelerinin kullanımıyla optimumun belirlenmesine çalışılmaktadır ve proses değişkenlerinin giderim verimleri üzerine etkisi ve aynı zamanda değişkenlerin birbirleri ile etkileşimleri dikkate alınmaktadır. Bu şekilde oluşturulan deneysel planlamalar sonucunda optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Yöntem, kontrol edilebilir deneysel faktörler ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi için bir ampirik modelin oluşturulması esasına dayanmaktadır.

YYY, proses performansına etki eden birçok değişkenin bulunduğu kompleks sistemlerin kullanıldığı araştırma alanlarında önemlidir. Bu yöntem yeni

geliştirilmekte olan proseslerde, proses performansının optimizasyonunda ve ürünlerin formülasyon ve dizaynlarında kullanılan önemli bir teknolojik planlama olarak değerlendirilmektedir. En geniş uygulamaları, özellikle de çok fazla değişkenin sistemin özelliklerini etkilediği, endüstriyel alanlardadır [39]. Öyle ki, günümüzde bu metot, bazı endüstriyel proseslerde, sonuçları ve işlemlerin etkinliğini değerlendirmek için rutin olarak kullanılmaktadır [38].

YYY'de, proses performansı bağımlı çıktılar (cevap), prosese etki eden faktörler ise bağımsız değişkenler olarak tanımlanmaktadır. Deneysel planlama dahilinde, prosese etki eden faktörler için ön deneylerle belirlenen sınırlar, programa dahilinde değerlendirilmekte ve prosesin optimum koşullarının belirlenebilmesi ve faktörler arasındaki etkileşimin tanımlanabilmesi için gerekli deneysel çalışmalar belirlenmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen çıktılar proses performansının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Deneysel çalışmaların değerlendirilmesinde elde edilen çıktılarla, merkezi kompozit dizaynı (MKD) adı verilen daha karmaşık bir dizayna ikinci dereceden polinomal modelin hesabına geçilebilmektedir. MKD sayesinde, model, gerçek yüzey cevabına yaklaşmaktadır. Bu amaçla, deneysel çalışmaların değerlendirilmesinden elde edilen çıktılar,(1.1)'de verilen ikinci dereceden polinoma uyarlanmaktadır.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_i^{i<j} \sum_j b_{ij} x_i x_j \quad (1.1)$$

İkinci dereceden modelin diğer bir avantajı ise, parametrelerin (b değerlerinin) kolay hesaplanabilir olmasındadır. Bu denklemden Y elde edilen çıktıyı(cevabı), X_i ve X_j prosese etki eden bağımsız faktörleri, b_0 sabit katsayıyı, b_i ve b_{ii} 1.derece lineer katsayıyı ve b_{ij} , ikinci derece etkileşim katsayısını göstermektedir. Önerilen modelin yeterliliği daha sonra, varyans analiziyle (ANOVA) sağlanan teşhis kontrolü testleriyle ortaya çıkmaktadır [40].

1.4 Literatür Çalışması

Sulu çözeltilerden adsorpsiyonla bor giderimi ile ilgili yapılan bir çalışmada adsorban olarak kalsine alümit kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde 90 ve 150 µm arasında alümit partikülleri kullanılmıştır. Bor giderimi üzerine başlangıç pH'ı, sıcaklık, adsorban dozu ve başlangıç bor derişimi gibi parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Adsorpsiyon izoterm çalışmaları yapılmıştır. Maksimum adsorban kapasitesi (q_0) 3,39 mg/g olarak hesaplanmıştır. Ayrıca serbest enerji değişimi (ΔG°), entalpi değişimi (ΔH°) ve entropi değişimi (ΔS°) gibi termodinamik değişkenler belirlenmiştir [41].

Krzysztof Piaskowski çalışmasında, yeraltı suyu arıtma tesisindeki çamuru kullanarak çözeltilerden ortofosfatları gidermeyi amaçlamıştır. Analizler, statik koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çamur kuru bir süspansiyon şeklinde ilave edilmiştir [42].

Titshall ve arkadaşları, “Kireç içeren içme suyu arıtma çamurunun kömür madeninden alınmış materyal ve toprakta bertarafı: bir sera denemesi” konulu çalışmalarında bitki türlerinden birkaçının büyüme ve gelişmeleri ile metal alımlarını belirlemişlerdir. Bitkilerin magnezyum (Mg) içerikleri de uygulama dozunun artışına paralel olarak artmıştır. Toprakta yetişen bitkilerde sodyum (Na) oranı, kömür maden ocağından alınan bozuk materyalde ise bor (B), azot (N) ve Zn içerikleri daha yüksek bulunmuştur. Verimdeki azalmanın, pH'nın yükselmesi ve uygulama dozlarına bağlı olarak ortaya çıkan besin noksanlıkları ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Yüksek orandaki uygulamalar toprak pH'sını 8'in üzerine çıkarmıştır. Özellikle kömür ocaklarından çıkan mineral oranı yüksek materyal üzerine yüksek oranlarda içme suyu arıtma çamuru uygulanmasının uygun olmadığı vurgulanmıştır [43].

Lu lin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada içme suyu arıtma çamurundan metal ve yarı metal bileşiklerin ters osmoz yöntemiyle sorpsiyonunu incelemiştir [44].

Eko Siswoyo ve arkadaşları içme suyu arıtma tesisinden alınan çamurdan humik asit ve demir oksit gidermek için adsorban olarak kadmiyum iyonu kullandılar. İçme suyu arıtma tesisinde adsorbant dozu, çözeltinin pH ve çalkalama

zamanı gibi parametrelerin adsorpsiyona etkileri optimum şartları belirlemek için incelenmiştir. Kapasite belirlendikten sonra içme suyu arıtma tesisinden çıkarılan çamur içerisindeki humik asit ve demir oksit etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada humik asit ve demir oksit suda kadmiyum iyonunun adsorpsiyonu ile emilimi sağlanmıştır. Langmiur izoterm modeli ve Cd (II) için Miyamchi ve Nishino içme suyu arıtma tesisinde alınan çamurda adsorbent kapasitesi ayrı ayrı 5,3 ve 9,2 mg/g, olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmanın bulgusu yakın gelecekte düşük maliyetli emici madde gelişmesi için önemlidir [45].

Babatunde ve Zhao, “İçme suyu arıtma çamuru yönetiminde yapıcı yaklaşımlar: yararlı yeniden kullanımlar için uluslararası tarama” konulu çalışmalarında içme suyu arıtma çamuru ile yapılan birçok çalışmadan yola çıkılarak konu değerlendirilmiş ve bazı öneriler geliştirilmiştir. İçme suyu arıtma çamurunun uzun süreli kullanımları ile ortaya çıkabilecek olası risklere karşı yasal düzenlemelerin geliştirilmesi zorunluluğu olduğunu, tüm ülkelerde çamurun depolama maliyetinin belirlenerek en uygun yeniden kullanım için potansiyellerin ve kullanım önerilerinin çalışmalarla ortaya konulmasının yararı bulunduğu dikkat çekmişlerdir. Yararlı yeniden kullanım için teknik ve ekonomik değerlendirmeler ile çevresel etkilerin ortaya konulmasında yarar olduğunu ifade etmişlerdir [46].

Yang ve arkadaşları, “Susuzlaştırılmış Al içeren içme suyu arıtma çamuru: fosfor giderimi için potansiyel bir adsorbent” konulu çalışmalarında içme suyu arıtma çamurunun içerdiği Al nedeniyle fosforlu kirlili sivilardan fosforun giderimi için kullanılabilceğini bildirmişlerdir. Ayrıca “Al içeren susuzlaştırılmış içme suyu arıtma çamurunun fosfat adsorpsiyonu mekanizması ve özellikleri” konulu çalışmalarında solüsyon asitlik derecesi (pH) ve solüsyonun iyon yükünü dikkate alarak içme suyu arıtma çamurunun fosfat arıtımındaki etkilerini tartışmışlardır [47].

Selmin tarafından yapılan çalışmada iki farklı demir çamurunun hurda kağıttan kağıt üreten bir tesisin atıksulandan AKM ve KOİ giderilmesinde koagülant olarak kullanım potansiyeli incelenmiştir. Çamur, koagülant olarak kağıt sanayii atıksularına uygulanmıştır. 2000-4000 mg/L çamur dozu KOİ giderim verimi açısından, demir III klorür ve alüm kadar etkili olduğu görülmüştür. Demir III klorür bazlı çamur için optimum şartlar pH 6 ve çamur dozu olarak 500 mg/L bulunmuştur. Çamurun verimleri aynı zamanda demir sülfat ve alüm verimleri ile de

karşılaştırılmıştır. Demir sülfat bazlı çamur ile yapılan çalışmada pH 8 ve en düşük doz olarak 613 mg/L bulunmuş ve yüksek dozlanmanın verimi artırmadığı tespit edilmiştir [48].

Duygu tarafından yapılan çalışmada, sulu çözeltilerden adsorpsiyonla bor giderimi incelenmiş ve deney tasarım metodu uygulanmıştır. Adsorban madde olarak toz aktif kömür, doğal a ve p sepiolitler, aktifleştirilmiş a ve p sepiolitler ve alumina kullanılmıştır. Doğal a sepiolit, aktifleştirilmiş p sepiolit ve aktif karbonla pH 10 değerinde ve 20°C sıcaklıkta maksimum giderim elde edilmiştir. Deney tasarımında ise adsorban türü, pH ve sıcaklık parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Deney tasarımı sonucunda ise adsorban türü, pH ve sıcaklığın adsorpsiyonu etkilediği bulunmuştur. Tüm adsorbanlarla kesikli adsorpsiyon deneyleri yapılmış ve elde edilen adsorpsiyon verilerinin Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir [49].

Sönmez tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sulardan bor giderimi için adsorpsiyon yöntemi kullanılmış ve kesikli adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiş, Granül Demir Hidroksit (GDH) materyalinin adsorban madde olarak bor gideriminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Box-Behnken deneysel tasarım yöntemi; bor giderme verimliliği üzerine başlangıç bor konsantrasyonu, pH ve GDH miktarı gibi önemli işletme parametreleri incelenmiş, Box-Behnken deneysel tasarım yönteminin GDH kullanılarak sulardan bor gideriminde optimum koşulların belirlenmesinde etkili ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları adsorpsiyon denge süresinin 20 saat olduğunu ve bu süre içerisinde yaklaşık % 96 bor giderme veriminin sağlandığını göstermektedir. Adsorpsiyon prosesi yalancı ikinci dereceden kinetik model kullanılarak daha iyi tanımlanabilmiştir. Ayrıca Freundlich izotermi verileri ile daha iyi bir uyum sergilemiş ve çalışmada uygulanabilir model olarak bulunmuştur. Maksimum bor giderme verimliliği için, optimum pH değeri ve GDH miktarı sırasıyla 10 ve 90 g/L olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar GDH materyalinin içme sularından bor gideriminde verimli bir şekilde kullanılabilirliğini göstermiştir [50].

Selimoğlu V., yaptığı çalışmada, borun endüstriyel atık sulardan, inorganik bileşik olan CaCl_2 ve Ca(OH)_2 ile kimyasal reaksiyon-koagülasyon metoduyla giderilmesi için denemeler yapmış ve yapılan bu denemeler sonucunda borun giderilmesi adına olumlu sonuçlar elde etmiştir. CaCl_2 ile gerçekleştirilen denemeler

neticesinde, deneysel parametre olarak belirlenen bütün parametrelerin incelenmesine rağmen istenilen bor giderim verimi elde edilememiştir. Ancak bir inorganik baz olan Ca(OH)_2 ile optimum pH'da konsantrasyon, sıcaklık ve Ca(OH)_2 miktarının artışı ile %98'e varan oranda bor giderimi sağlanmıştır [51].

Bu çalışmamın amacı, içme suyu arıtma tesislerinden çıkan bir atık olan çamuru kullanarak sulu çözeltilerden borun giderimini araştırmaktır. İçme suyu arıtma çamuru hem adsorbent hem de koagülant olarak kullanılarak bor giderimi üzerine etki eden parametrelerin optimizasyonu yapılmıştır. Deney şartlarını verecek program Minitab 16 deneme sürümü olup, optimizasyon yöntemi olarak YYY kullanılmıştır. Adsorpsiyon ile bor giderimi çalışmalarında parametre olarak; pH, doz, sıcaklık, konsantrasyon ve süre; koagülasyon ile bor giderimi çalışmalarında ise parametre olarak pH ve doz seçilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1 Materyallerin Temini ve Hazırlanması

Deneyleerde kullanılan içme suyu arıtma çamuru Balıkesir Büyükşehir Belediyesi İçme Suyu Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir. Tesis koagülant olarak $FeCl_3$, flokülant olarak polimer kullanmaktadır.

Temin edilen içme suyu arıtma çamuru önce oda sıcaklığında bir hafta daha sonra $105^{\circ}C$ 'de etüvde 24 saat boyunca kurutulmaya bırakılmış ve desikatörde bekletilmiştir. Kırma ve öğütme işlemlerinden sonra 90-180 μm aralığındaki elekten geçirilerek toz haline getirilmiştir. Adsorpsiyon ile bor giderimi deneylerinde hazırlanan bu toz, adsorbent olarak kullanılmıştır.

Koagülasyon işlemleri için, adsorbent olarak hazırlanan çamurdan 20 gr alınarak 2 M'lık 400 mL H_2SO_4 içerisinde 30 dk boyunca ultrasonik banyoda çözülmüş, çözme işleminden sonra 30 dk çökmesi beklenip vakum filtrasyondan süzölmüştür [47].

Adsorpsiyon ve koagülasyon deneyleri için hazırlanan toz haline getirilmiş içme suyu arıtma çamurunun XRD analiz sonuçları Tablo 2.1'de verilmektedir. Ayrıca içme suyu arıtma çamurunun taramalı electron mikroskobu (scanning electron microscope) (SEM) görüntüleri Ekler kısmında verilmiştir.

Tablo 2.1 İçme suyu arıtma çamuru için pik değerler.

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
5.0769	266.81	0.1440	17.39223	100.00
5.3617	247.54	0.1920	16.46909	92.78
10.1029	4.04	0.1920	8.74839	1.51
23.3853	1.45	0.3840	3.80091	0.54
25.0883	1.42	0.3840	3.54662	0.53
28.1616	2.34	0.1920	3.16617	0.88
29.3700	5.26	0.2880	3.03860	1.97
30.7523	9.48	0.0960	2.90509	3.55
36.9937	2.01	0.2880	2.42803	0.75
44.6233	3.98	0.2400	2.02900	1.49
48.4804	2.54	0.2880	1.87620	0.95
54.5115	1.17	0.1440	1.68201	0.44
60.8260	1.39	0.1680	1.52164	0.52
62.5936	7.61	0.0960	1.48285	2.85
67.4927	0.94	0.1920	1.38663	0.35
77.1386	1.85	0.1920	1.23552	0.69

İçme suyu arıtma çamurunun XRD ile yapılan analizlerinde en fazla SiO₂ (PDF kart nosu:00-051-1592), daha sonra az oranda alüminyum fosfat hidrat (01-087-1615) ve zeolit VPI-5 görülmüştür.

2.1.1 Kullanılan Kimyasal Maddeler

- Standart bor çözeltisi (H₃BO₃) – Sentetik olarak hazırlanmıştır.
- Sodyum hidroksit (NaOH)
- Potasyum hidroksit (KOH)
- Hidroklorik asit (HCl)
- Mannitol

2.1.2 Kullanılan Araç Ve Gereçler

- pH metre (WTW-pH 3210)
- Mekanik Karıştırıcı (yellow line - MST Basic C)
- Ultrasonik Banyo (ALEX MACHINE),
- Elek (BS410/1986)
- Hassas Terazî (Precisa – XB 220A)
- Jar Testi Düzenegi (FC6S/Jar Testi- VELP SCIENTIPICA),
- Etüv (FN 400)
- Shaker (JSR)

2.1.3 Kullanılan Çözeltiler

Bor stok çözeltisi: 500 mg/L'lik bor stok çözeltisi hazırlamak için 2,8596 g H_3BO_3 tartılarak 1 L'lik balon jodede saf su ile çözüldükten sonra su ilavesi ile hacmine tamamlanmıştır. Deneylerde stok çözeltiden seyreltilerek hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır.

Potasyum hidroksit: 0,02 N'lık 2 L KOH çözeltisi hazırlamak için 2,2442 g KOH tartılarak 2 L'lik balonjodede saf su ile çözüldükten sonra hacmine tamamlanmıştır.

Sodyum hidroksit çözeltisi: 0,01 N NaOH çözeltisi hazırlamak için 0,40 g NaOH tartılarak saf su eklenip 1 L'lik balonjojeye konmuş ve karıştırılarak maddenin çözünmesi sağlanmıştır. Daha sonra çözelti hacmine tamamlanmıştır.

Hidroklorik asit çözeltisi: 100 mL 0,1 M HCl çözeltisini hazırlamak için yoğunluğu 1,19 g/mL olan %37'lik HCl çözeltisinden 0,83 mL alınarak 100 mL'ye seyreltilmiştir.

2.2 Deneysel Yöntem

Deney tasarımında Minitab16 (Deneme Versiyonu)'nın YYY'i kullanılmıştır.

Adsorpsiyon Deneyleri İçin Yapılan Tasarımda;

Etkili parametreler ve parametre aralıklarını belirlemek için ön denemeler yapılmıştır. Ön denemeler sonucunda yapılan tasarımlar 5 faktör ve bunların 5 farklı seviyesi ile 6 merkez deneyi içermektedir.

Bağımsız değişken olarak;

- pH (A)
- Doz (B)
- Sıcaklık (C)
- Konsantrasyon (D)
- Süre (E)

Bağımlı değişken olarak ise;

- Bor giderim verimleri
- Adsorbentin tutma kapasitesi

seçilmiştir.

Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan bağımsız değişkenler ve seviyeleri Tablo 2.3'te, deney matrisi Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2: Adsorpsiyon için deney matrisi.

DENEY	A	B	C	D	E
1	-1	-1	-1	-1	1
2	1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	1
5	-1	-1	1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1	1
8	1	1	1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1
10	1	-1	-1	1	1
11	-1	1	-1	1	1
12	1	1	-1	1	-1
13	-1	-1	1	1	1
14	1	-1	1	1	-1
15	-1	1	1	1	-1
16	1	1	1	1	1
17	-2	0	0	0	0
18	2	0	0	0	0
19	0	-2	0	0	0
20	0	2	0	0	0
21	0	0	-2	0	0
22	0	0	2	0	0
23	0	0	0	-2	0
24	0	0	0	2	0
25	0	0	0	0	-2
26	0	0	0	0	2
27	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0

Tablo 2.3: Adsorpsiyon için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.

		-2	-1	0	1	2
A	pH	6	7	8	9	10
B	Doz (g/L)	20	40	60	80	100
C	Sıcaklık (°C)	15	20	25	30	35
D	Konsantrasyon (mg/L)	50	200	350	500	650
E	Süre (dk)	30	90	150	210	270

Koagülasyon Deneyleri İçin Yapılan Tasarımda;

Bağımsız değişken olarak;

- pH (A)
- Doz (B)

Bağımlı değişken olarak;

- Bor giderim verimi

seçilmiştir.

Tasarım 2 faktör ve bunların 5 farklı seviyeleri ile 5 merkez deneyi içermektedir. Tasarıma ait deney matrisi Tablo 2.4'te ve bağımsız değişkenlerin anlamları ile seviyeleri Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Koagülasyon için deney matrisi.

DENEY	A	B
1	-1	-1
2	1	-1
3	-1	1
4	1	1
5	-2	0
6	2	0
7	0	-2
8	0	2
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

Tablo 2.5: Koagülasyon için bağımsız değişkenler ve seviyeleri.

		-2	-1	0	1	2
A	pH	4	6	8	10	12
B	Doz (mL/L)	20	40	60	80	100

2.3 Deneylerin Yapılışı

2.3.1 Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri YYY matrisindeki şartlar oluşturularak kesikli sistem ile yapılmıştır. pH ayarlamaları için 0,1 N HCl ve 0,01 N NaOH kullanılmıştır. Tasarımda belirlenen koagülant dozları hassas terazi ile tartılmış ve 50 mL' lik plastik kaplarda sentetik olarak hazırlanmış tasarımda belirlenen konsantrasyonlardaki bor çözeltilerine ilave edilerek sıcaklık kontrollü karıştırıcıda deney şartlarına uygun sürelerde karıştırılmıştır. Karıştırma hızı 200 rpm olup tüm deneyler için sabit tutulmuştur. Deneyde belirlenen süre sonunda alınan numuneler santrifüjlenerek sıvı kısımda bor tayini yapılmış, bor giderim verimi Denklem 2.1 ve adsorbent tutma kapasitesi (q) Denklem 2.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

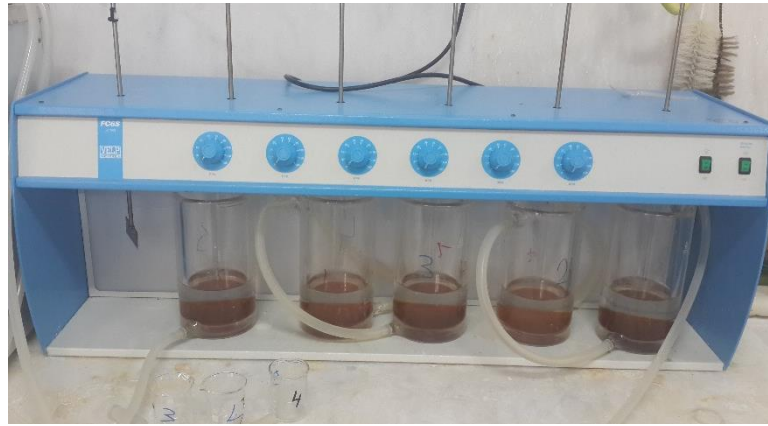
$$\% \text{ Bor Giderimi} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (2.1)$$

$$q = \frac{(C_0 - C) \cdot V}{m} \quad (2.2)$$

C_0 , adsorbatın başlangıç konsantrasyonu (mg/L,mol/L); C , adsorbatın kalan konsantrasyonu (mg/L,mol/L); q, adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi (mg/g,mol/g);V, çözelti hacmi (L); m, adsorbent kütlesi (g)

2.3.2 Koagülasyon Deneyleri

Koagülasyon deneyleri klasik Jar Testi düzeneğinde 2 litrelik beherlere 250 mL 350 ppm bor çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. pH ayarlamaları için 0,1 N HCl ve 0,01 N NaOH kullanılmıştır. 2,5 dakika 120 rpm de hızlı karıştırma, 30 dakika 30 rpm de yavaş karıştırma ve 60 dakika bekletme şartlarında deneyler yürütülmüştür. Daha sonra sıvının üst yüzeyinden alınan numunelerde bor tayini yapılmış, giderim verimleri Denklem 2.1’de verilen formüle göre hesaplanmıştır. Deneylerin yapıldığı Jar Testi düzeneği Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.1: Kimyasal koagülasyon prosesinin deneysel sisteminin görünüşü.

2.4 Bor Tayini

Kimyasal koagülasyon ve adsorpsiyon metodu ile gerçekleştirilecek denemelerde bor analiz metodu olarak potansiyometrik metod kullanılmıştır. Potansiyometrik yöntem, borik asit sulu çözeltilerinde çok zayıf asit özelliği gösterdiğinden baz çözeltisi ile doğrudan tayin edilememektedir. Borik asit çözeltilerine organik polialkoller ilave edildiğinde borik asit esterleri meydana gelmektedir. Borik asitin bu çeşit ester oluşturmasıyla serbest kalan hidroksil grubundaki hidrojenin ayrışma derecesi arttırılmış olur; yani iki hidroksil grubu esterleşmiş olan borik asitin asitlik derecesi artmış olur. Bu şekilde bulunan borik asit bir indikatör varlığında, alkali bir hidroksit ile titre edilebilir. Bu deneyde polialkol olarak mannitol kullanılmıştır. Borik asit iki mannitol molekülü ile kompleks yapar ve reaksiyon oluşur. Gliserol ve mannitol gibi polialkoller borik asit ile reaksiyona

girerek proton oluştururlar ve böylece asitliğini artırırlar. Mannitoll ortamda K1 yaklaşık 10^{-6} olduğu yani 25°C 'deki borik asitin K1 değerine ($5,79 \cdot 10^{-10}$) göre 10.000 kat daha arttığı belirlenmiştir. Bu etki bor bileşiklerinin volumetrik analizlerinde önemli bir kolaylık sağlar. Bu reaksiyonlarla serbest hale gelen borik asit, pKa değerı yaklaşık 4 olan tek değerli bir asit gibi davranır ve ayarlı KOH zltisi ile titre edilir. Böylece 1 eşdeğer gram KOH, bir mol borik asite karşılık gelir. zltide bor tayini yapılmadan önce ortamın pH'sı pH-metre yardımı ile 7,60'a ayarlandıktan sonra ortama 5 g mannitol ilave edilir ve ortamın pH'sı tekrar 7,60'a ulaşıncaya kadar 0,02 N KOH zltisi ile titre edilir. 1 mL 0,02 N KOH 0,6964 mg B_2O_3 'e karşılık gelir. Buradan numune içerisindeki bor miktarı hesaplanmış olur.

3. BULGULAR

Deneysel çalışmalar iki aşamadan oluşmaktadır. İlk kısımda içme suyu arıtma çamurunun toz hali kullanılarak adsorpsiyonla, ikinci kısımda içme suyu arıtma çamurunun asitle yakılmış hali koagülant olarak kullanılarak koagülasyonla bor giderimi yapılmıştır. Her iki çalışmada da YYY ile belirlenen deneysel şartlar kullanılarak bor giderimi araştırılmıştır.

3.1 Adsorpsiyon İle Bor Giderimi

İçme suyu arıtma çamurunun toz hali kullanılarak yapılan bor giderimine ait deneysel (gerçek) ve YYY ile belirlenen (model) değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Adsorpsiyon ile bor giderim verimleri (gerçek-model).

Deney	pH	Doz (g/L)	Sicaklik (°C)	Konsantrasyon (mg/L)	Süre (dk)	% Bor Giderimi (Gerçek)	Fits (Model)
1	7	40	20	200	210	29.74	31.43
2	9	40	20	200	90	24.93	26.05
3	7	80	20	200	90	25.89	28.71
4	9	80	20	200	210	51.3	52.15
5	7	40	30	200	90	25.9	29.52
6	9	40	30	200	210	28.78	30.44
7	7	80	30	200	210	40.33	43.68
8	9	80	30	200	90	43.02	45.80
9	7	40	20	500	90	24.78	25.00
10	9	40	20	500	210	25.7	23.96
11	7	80	20	500	210	28.01	27.96
12	9	80	20	500	90	40.33	39.71
13	7	40	30	500	210	19.16	19.92
14	9	40	30	500	90	18.96	19.15
15	7	80	30	500	90	28.4	30.29
16	9	80	30	500	210	37.02	36.94
17	6	60	25	350	150	31.53	26.69
18	10	60	25	350	150	35.89	36.11
19	8	20	25	350	150	18.97	17.52
20	8	100	25	350	150	45.63	42.46
21	8	60	15	350	150	33.07	33.23
22	8	60	35	350	150	38.2	33.42
23	8	60	25	50	150	46.71	40.07
24	8	60	25	650	150	21.84	23.86
25	8	60	25	350	30	32.61	28.91
26	8	60	25	350	270	35.38	34.47
27	8	60	25	350	150	28.2	30.70
28	8	60	25	350	150	30.76	30.70
29	8	60	25	350	150	30.25	30.70
30	8	60	25	350	150	30.76	30.70
31	8	60	25	350	150	32.61	30.70
32	8	60	25	350	150	27	30.70

Bor giderimi için yapılan deneyler sonucunda elde edilen denklemin korelasyon katsayısı $R^2= 0,90$ olarak belirlenmiş ve model Denklem 3.1'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
\text{Bor Giderim (\%)}: & 34.3 - 3.5 A - 23.4 B + 1.03 C + 0.0647 D + 0.075 E \\
& + 0.176 A*A - 0.177 B*B + 0.0263 C*C \\
& + 0.000014 D*D + 0.000069 E*E + 3.14 A*B \\
& - 0.248 A*C - 0.00188 A*D + 0.0034 A*E \\
& + 0.195 B*C - 0.00251 B*D + 0.0106 B*E \\
& - 0.00179 C*D - 0.00204 C*E \\
& - 0.000229 D*E
\end{aligned} \tag{3.1}$$

Adsorpsiyon çalışmalarında % 18,96 – 51,30 aralığında bor giderim verimleri elde edilmiştir. Model Denkleminde görüleceği üzere her parametrenin giderim üzerinde etkisi vardır.

Aritma çamurunun bor tutma kapasitesini gösteren deneysel sonuçlar (gerçek) ve modelden elde edilen (tahmini) değerler Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2: İçme suyu artıma çamurunun bor tutma kapasitesi (gerçek-model).

Deney	pH	Doz (g/L)	Sicaklık (°C)	Konsantrasyon (mg/L)	Süre (dk)	q (mg/g) (Gerçek)	Fits (Model)
1	7	40	20	200	210	1.49	1.61
2	9	40	20	200	90	1.25	1.33
3	7	80	20	200	90	0.65	0.66
4	9	80	20	200	210	1.28	1.24
5	7	40	30	200	90	1.29	1.53
6	9	40	30	200	210	1.44	1.63
7	7	80	30	200	210	1	1.12
8	9	80	30	200	90	1.07	1.16
9	7	40	20	500	90	3.1	3.14
10	9	40	20	500	210	3.21	3.20
11	7	80	20	500	210	1.75	1.67
12	9	80	20	500	90	2.52	2.41
13	7	40	30	500	210	2.39	2.54
14	9	40	30	500	90	2.37	2.48
15	7	80	30	500	90	1.77	1.81
16	9	80	30	500	210	2.31	2.30
17	6	60	25	350	150	1.84	1.64
18	10	60	25	350	150	2.09	2.06
19	8	20	25	350	150	3.32	2.98
20	8	100	25	350	150	1.6	1.71
21	8	60	15	350	150	1.93	2.05
22	8	60	35	350	150	2.23	1.88
23	8	60	25	50	150	0.39	0.10
24	8	60	25	650	150	2.37	2.42
25	8	60	25	350	30	1.9	1.77
26	8	60	25	350	270	2.06	1.96
27	8	60	25	350	150	1.64	1.82
28	8	60	25	350	150	1.79	1.82
29	8	60	25	350	150	1.76	1.82
30	8	60	25	350	150	1.79	1.82
31	8	60	25	350	150	1.9	1.82
32	8	60	25	350	150	1.82	1.82

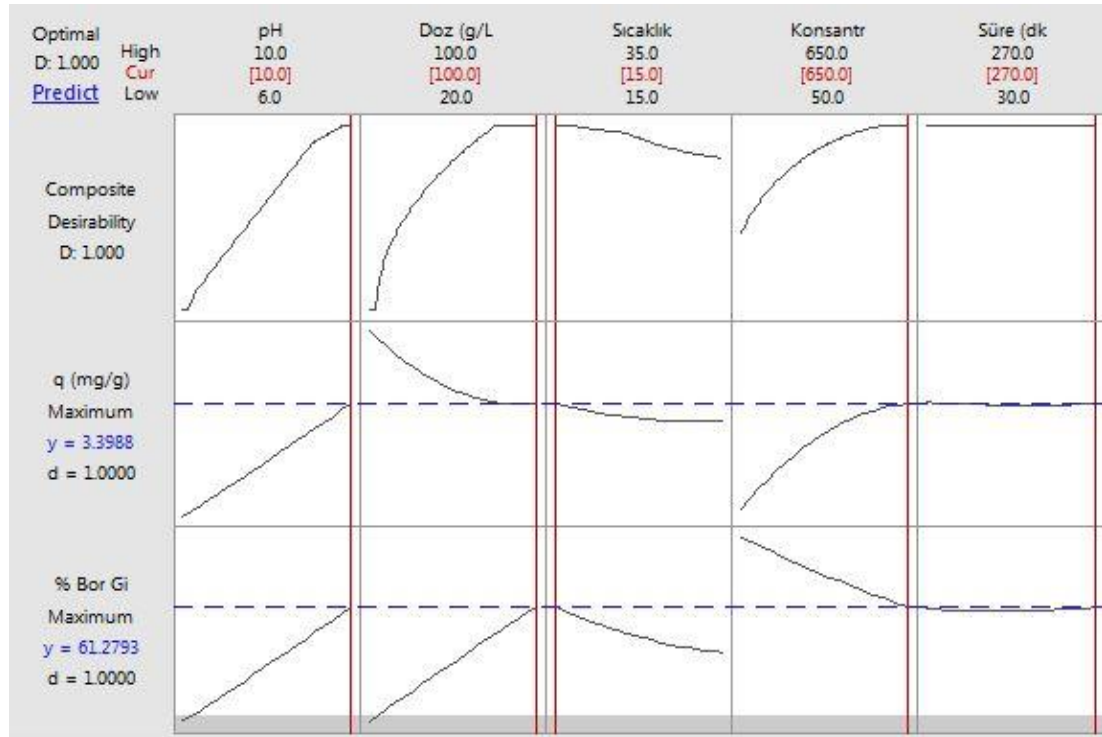
Adsorplama kapasitesi için modelin korelasyon katsayısı $R^2 = 0,95$ olarak tespit edilmiş, türetilen ifade Denlem 3.2' de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
q \text{ (mg/g): } & 5.93 - 0.513 A - 2.363 B - 0.041 C + 0.01213 D - 0.0092 E \\
& + 0.0064 A*A + 0.1301 B*B + 0.00140 C*C \\
& - 0.000006 D*D + 0.000003 E*E + 0.1256 A*B \\
& - 0.0066 A*C + 0.000329 A*D + 0.00126 A*E + 0.0189 B*C \\
& - 0.000521 B*D - 0.00020 B*E - 0.000156 C*D \\
& + 0.000090 C*E - 0.000007 D*E
\end{aligned} \tag{3.2}$$

Tablo 3.2’de görüleceği gibi deney matrisinde belirlenen şartlarda çalışıldığında adsorbentin bor tutma kapasitesi 0,39 – 3,32 mg/g arasında değişmektedir.

Giderim ve q İçin Optimum Şartlar:

İçme suyu arıtma çamuru kullanılarak yapılan deneyler sonucunda modelden elde edilen bor giderim yüzdesi ve tutma kapasitesi (q) için optimum şartlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Bor giderim verimi ve q için optimum şartlar.

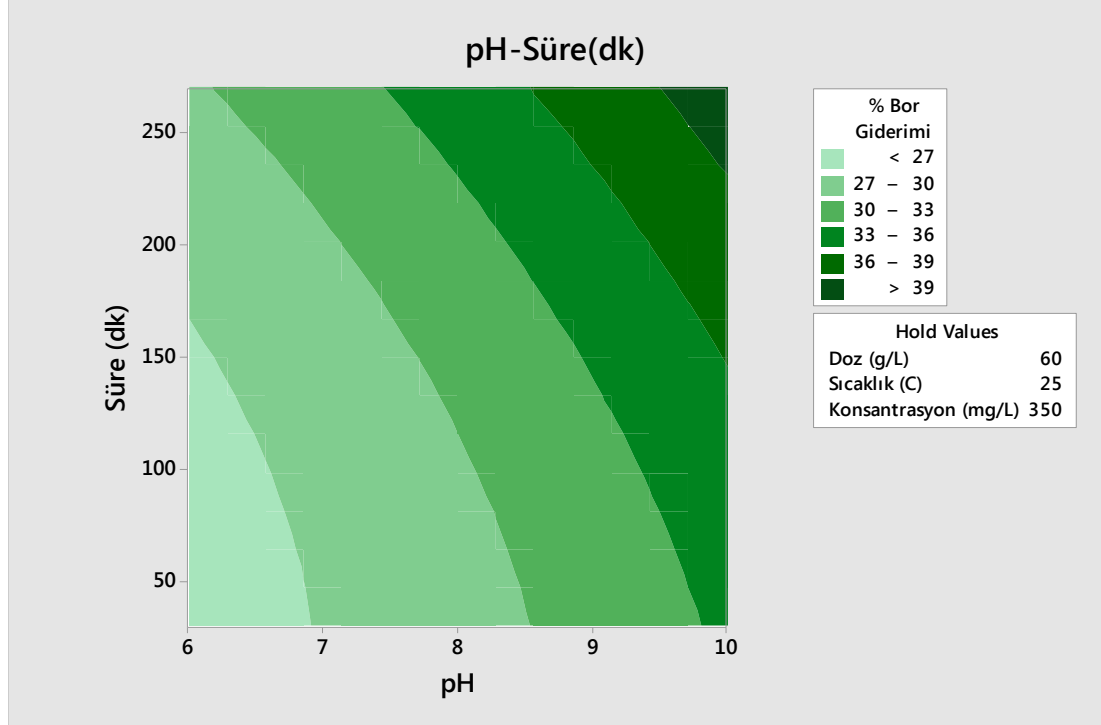
Şekil 3.1’den görüleceği üzere; pH 10, doz 100 g/L, sıcaklık 15°C, konsantrasyon 650 mg/L ve süre 270 dk olduğu şartlarda modelin ön gördüğü bor giderim verimi % 61,2793 ve adsorbentin tutma kapasitesi 3,3988 mg/g’dir.

Modelin doğruluğunu test etmek amacıyla yapılan doğrulama deneyleri sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Bor giderim yüzdesi ve adsorbent tutma kapasitesi doğrulama deney sonuçları.

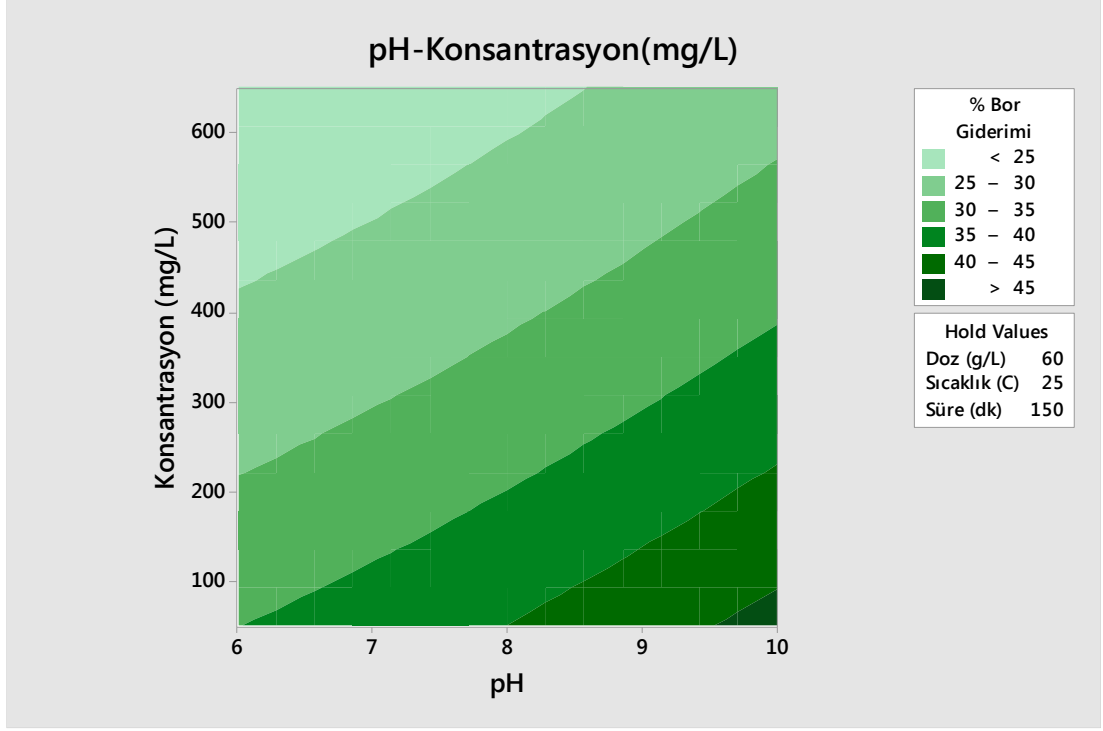
Optimum Şartlar		Bor Giderimi (%)	Bor Tutma Kapasitesi (mg/g)
pH	10,0	63,5	4,13
Doz (g/L)	100,0		
Sıcaklık (°C)	15,0		
Konsantrasyon (mg/L)	650,0		
Süre (dk)	270,0		

Tablo 3.3'te görülen doğrulama deney sonuçlarının model ile uyumlu olması modelin geçerli olduğunu göstermektedir. Adsorpsiyon çalışmalarında parametrelerin birbirleriyle ilişkisini gösteren contour grafikleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



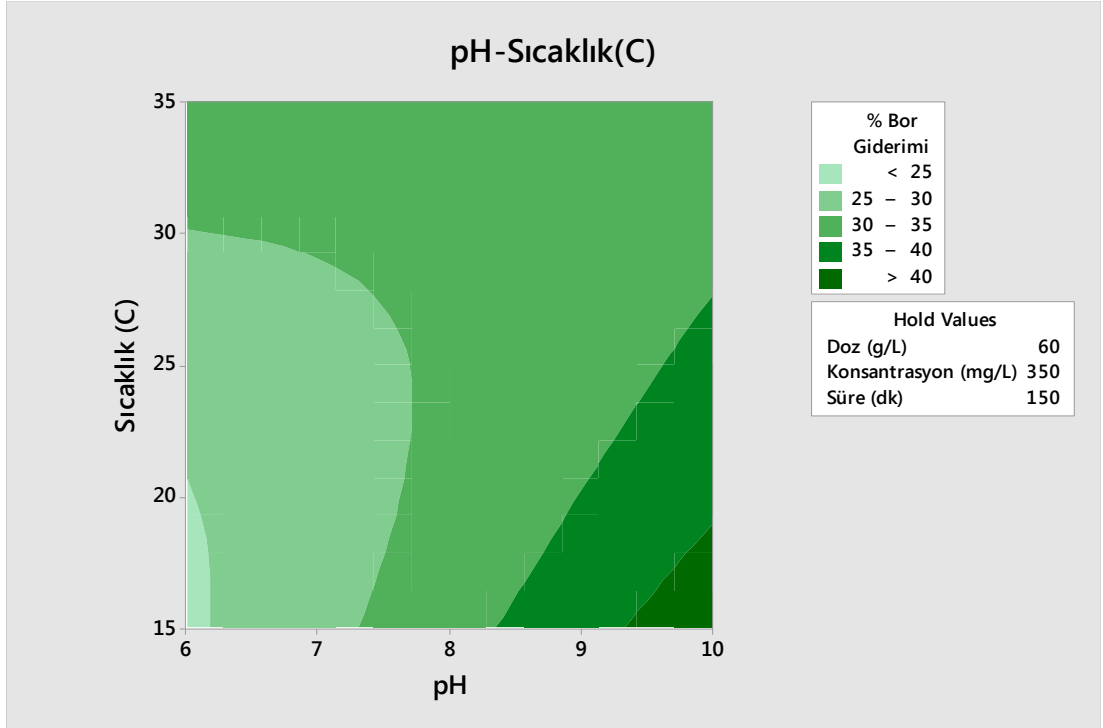
Şekil 3.2: pH ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.

Şekil 3.2'te görüldüğü gibi pH 9'un üzerinde uzun sürelerde adsorpsiyon işleminin yapılması giderim veriminin en yüksek olduğu şartlardır.



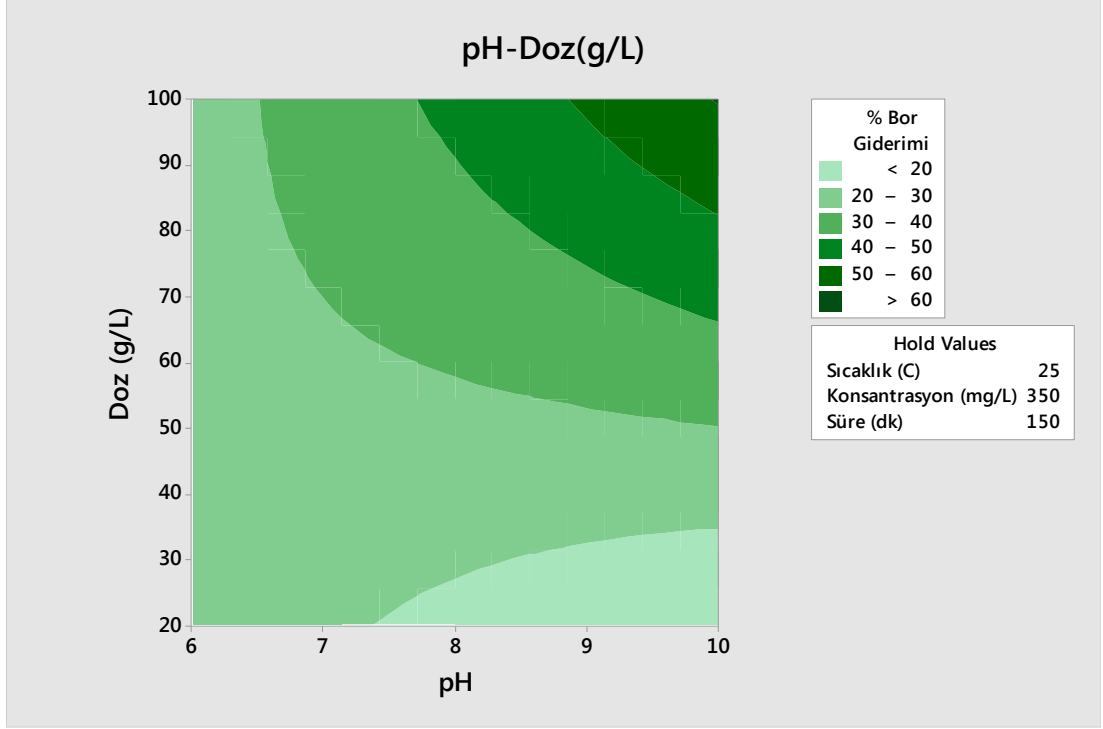
Şekil 3.3: pH ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.

Şekil 3.3’de konsantrasyonun minimum, pH’nın ise 8 ve üzeri olduğu durumlarda giderimin % 45’in üzerinde olduğu gözükmektedir.



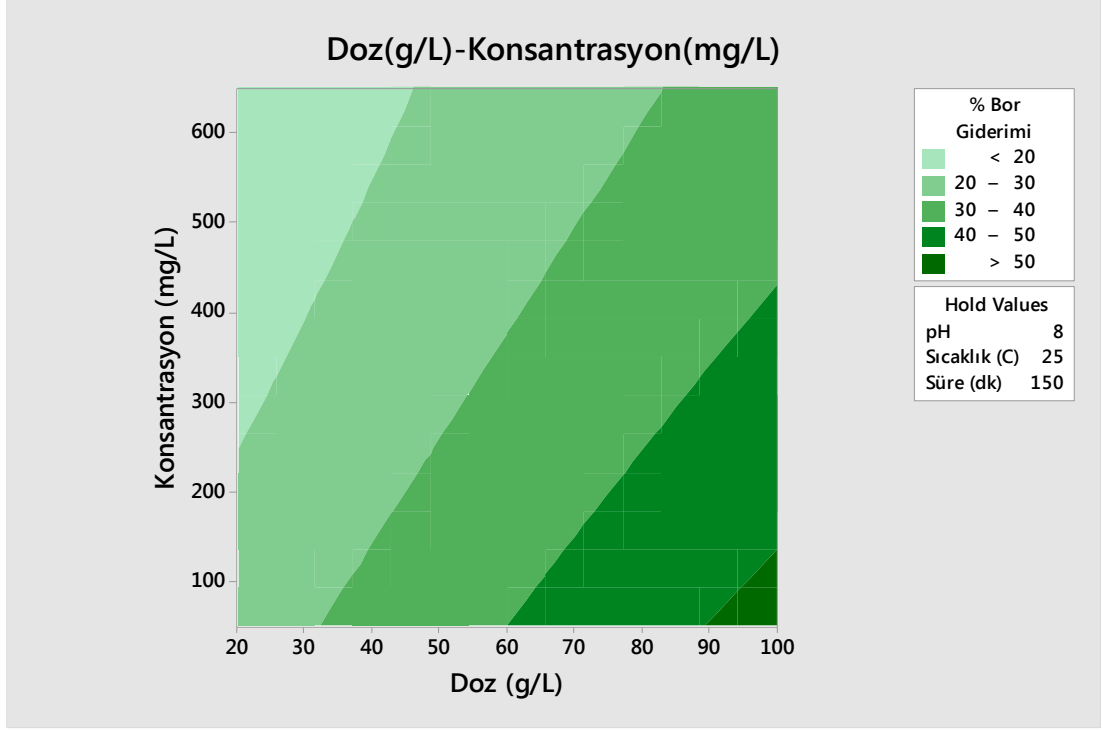
Şekil 3.4: pH ve sıcaklığın bor giderim verimi üzerine etkisi.

Şekil 3.4'te sıcaklığın düşük, pH'nın 10 civarında olduğu durumlarda giderim veriminin arttığı görülmektedir.



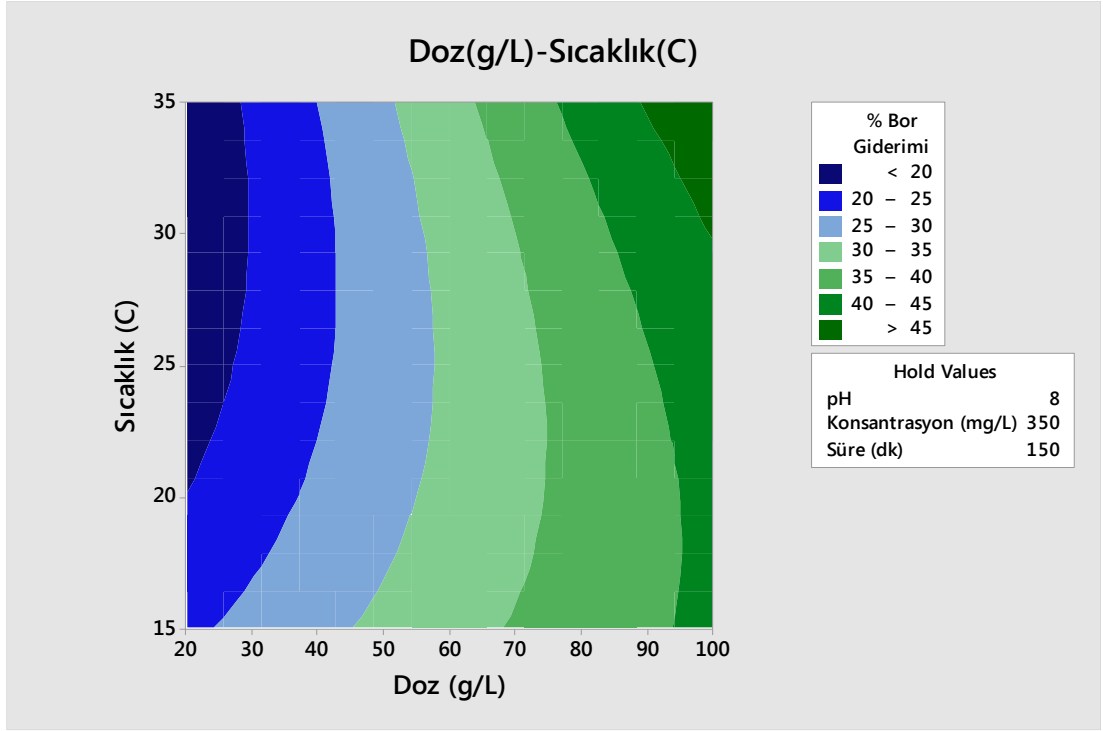
Şekil 3.5: pH ve dozun bor giderim verimi üzerine etkisi.

pH ile doz arasındaki bağıntı Şekil 3.5'de verilmiştir. Dozun ve pH'nın yüksek şartlarında giderimin en fazla olduğu belirlenmiştir.

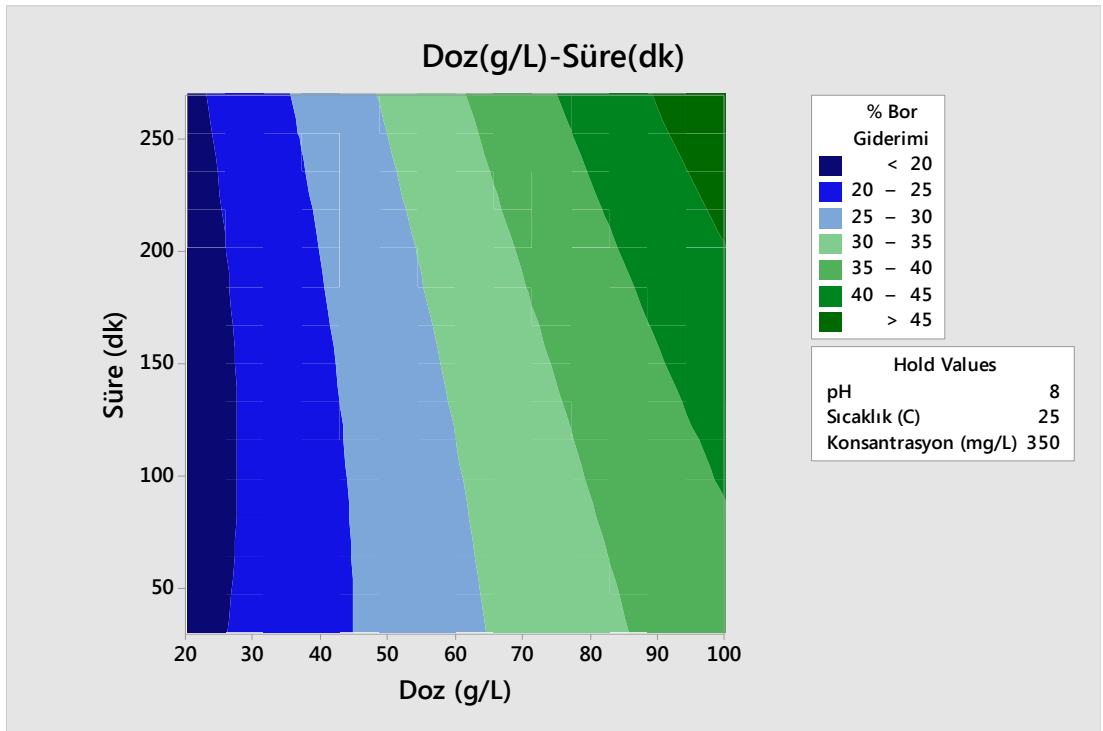


Şekil 3.6: Doz ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.

Şekil 3.6'da yüksek doz ve düşük konsantrasyonlarda giderim verimi % 50'nin üzerinde görülmektedir.

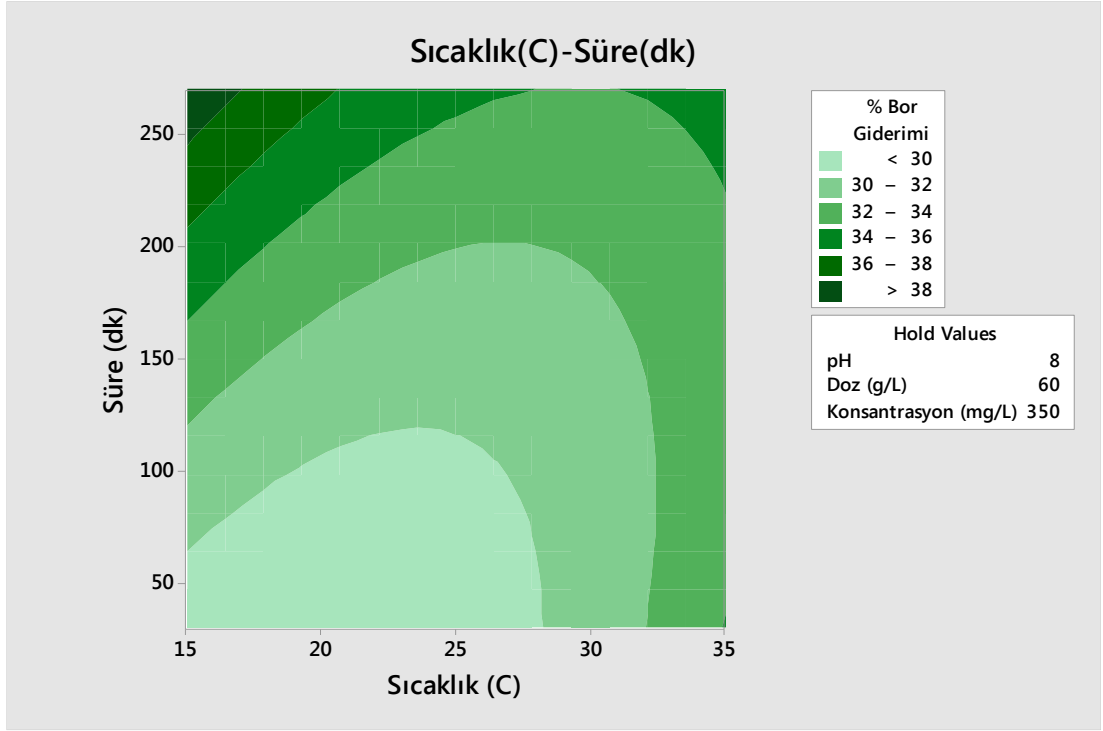


Şekil 3.7: Doz ve sıcaklığın bor giderim verimi üzerine etkisi.

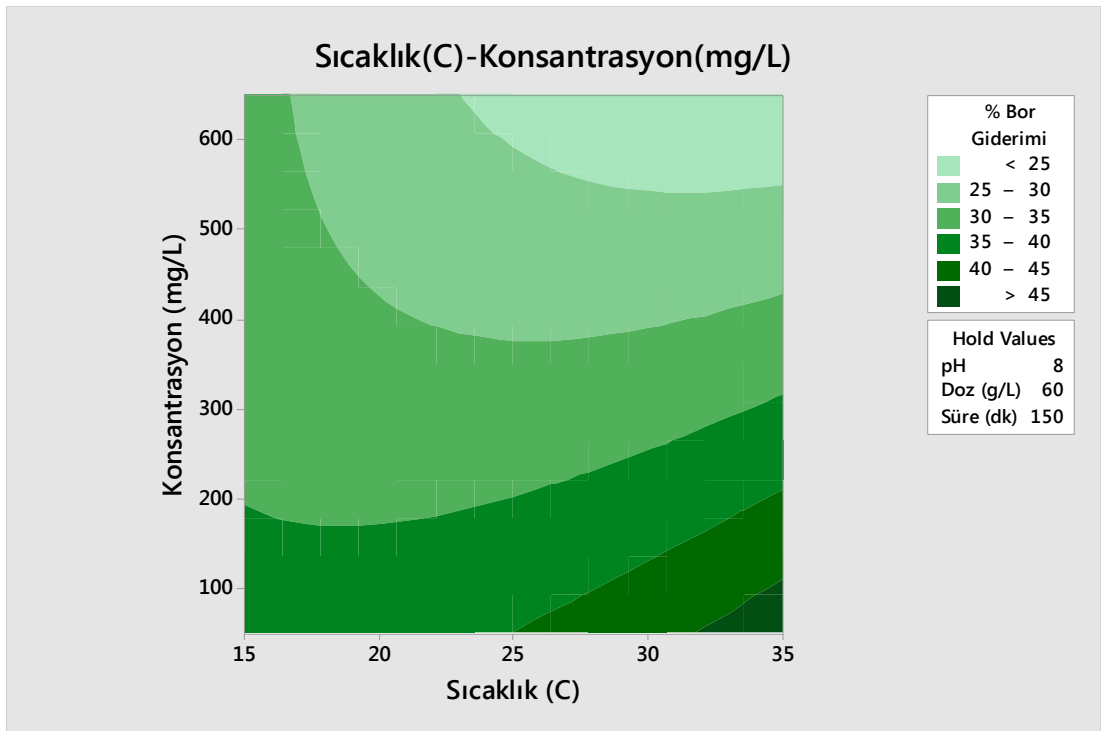


Şekil 3.8: Doz ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.

Adsorpsiyon deneylerinde giderim üzerine doz ve sürenin grafiği Şekil 3.8'deki gibidir.

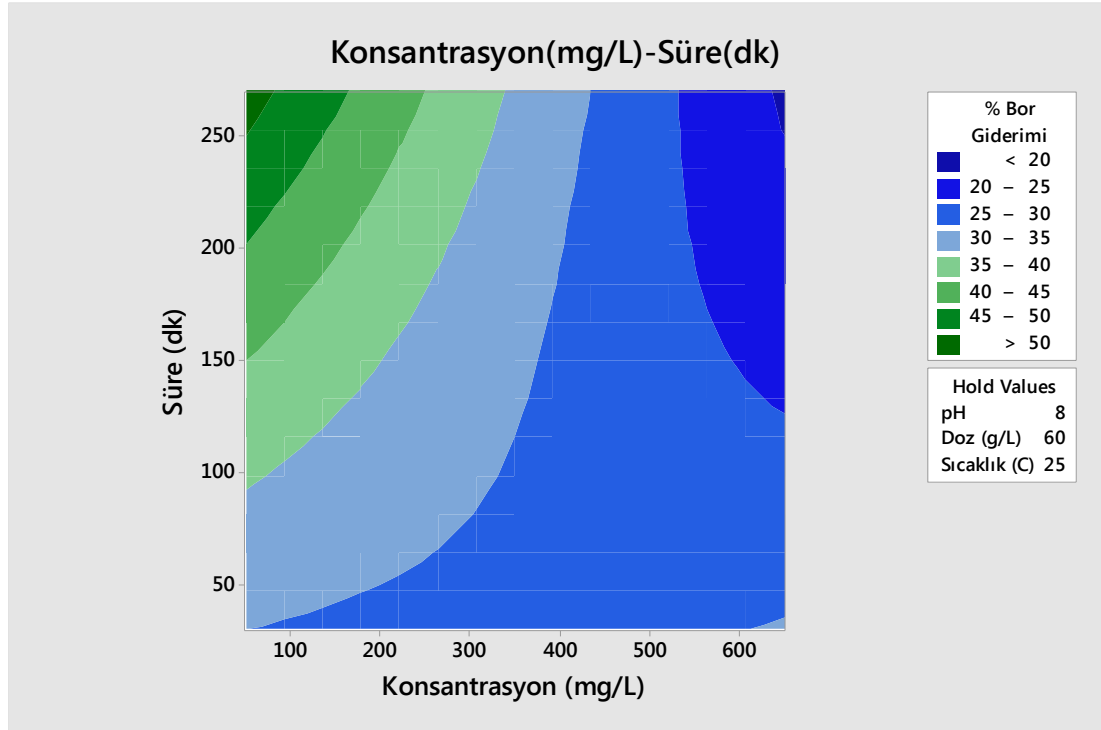


Şekil 3.9: Sıcaklık ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.



Şekil 3.10: Doz ve konsantrasyonun bor giderim verimi üzerine etkisi.

Sıcaklık-konsantrasyon grafiği Şekil 3.10’da gösterilmiştir. Bu durumda sıcaklığın maksimum değerdeyken konsantrasyonun minimum olması durumunda giderim % 45’e ulaşmaktadır.



Şekil 3.11: Konsantrasyon ve sürenin bor giderim verimi üzerine etkisi.

Konsantrasyon ve sürenin % bor giderimi üzerine etkisi Şekil 3.11’de verilmiştir.

3.2 Koagülasyon İle Bor Giderimi

İçme suyu arıtma çamurunun asit içerisinde yakılmasıyla elde edilen koagülant ile yapılan bor giderim çalışmalarının sonuçları gerçek ve model olmak üzere Tablo 3.4’te verilmiştir.

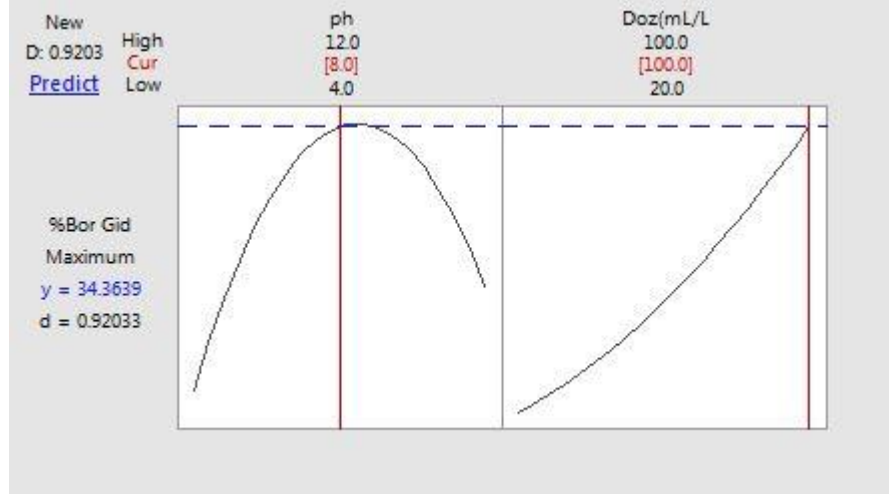
Tablo 3.4: Koagülasyonla bor giderim verimleri (gerçek-model).

Deney	pH	Doz (mL/L)	% Bor Giderimi (Gerçek)	Fits (Model)
1	6	40	20.52	19.40
2	10	40	24.2	21.48
3	6	80	24.2	26.13
4	10	80	28.4	28.74
5	4	60	17.89	17.15
6	12	60	18.95	20.46
7	8	20	21.58	24.12
8	8	100	35.79	34.01
9	8	60	27.37	27.26
10	8	60	27.37	27.26
11	8	60	26.3	27.26
12	8	60	28.42	27.26
13	8	60	26.84	27.26

Modelden elde edilen denklemin korelasyon katsayısı $R^2 = 0,92$ olup, türetilen ifade Denklem 3.3'te gösterilmiştir. Denklem incelendiğinde doz ve pH'nın bor giderimi üzerinde etkili parametreler olduğu görülmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Bor Giderimi (\%)}: & -16.5 + 9.14 A + 0.024 B - 0.5571 A*A \\ & + 0.000844 B*B + 0.0033 A*B \end{aligned} \quad (3.3)$$

Tablo 3.4 incelendiğinde koagülant olarak kullanılan arıtma çamuru ile % 17,89 ile % 35,79 aralığında bor giderim verimleri elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre bor gideriminin maksimum olacağı optimizasyon şartları YYY ile belirlenmiş ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



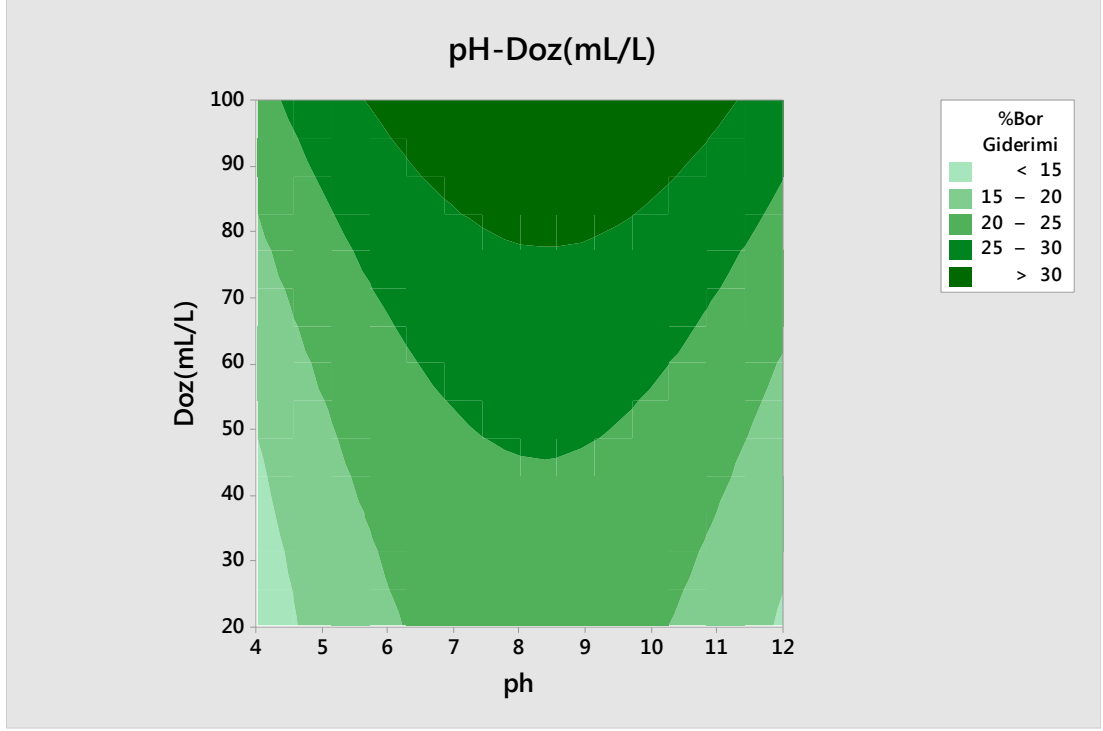
Şekil 3.12:Koagülasyonda optimum şartlar.

Koagülasyon ile bor gideriminde YYY’i optimum şartları pH 8 ve doz 100 mL/L olarak belirlemiş, bu şartlarda % 34,3639 bor giderim verimi elde edileceği model tarafından ön görülmüştür.

Modelden elde edilen optimum şartlarda yapılan doğrulama deney sonuçları Tablo 3.7’de verilmektedir. Buna göre % 40,6’lık bir bor giderme verimi elde edilmiştir.

Tablo 3.2: Koagülasyon ile bor giderimi için optimum şartlar ve deney sonucu.

Koagülasyonda % bor giderim için optimum şartlar		% Bor Giderimi
pH	8,0	40,6
Doz (mL/L)	100,0	



Şekil 3.13: pH ve dozun koagülasyonda giderim üzerine etkisi.

4. SONUÇLAR

İçme suyu arıtma çamurunun boru bağlama kabiliyetinden yola çıkarak yüksek konsantrasyonda bor içeren sulardan ucuz ve pratik olarak bor giderilebilirliğinin araştırılmasının amaçlandığı tez çalışmasında; deneysel çalışmalar ile aşağıda verilen genel sonuçlar elde edilmiş ve buna bağlı olarak uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.

İçme suyu arıtma çamuru kırma öğütme işlemlerinden geçip toz haline geldikten sonra adsorbent olarak kullanılırken; aslında arıtma tesisinden çıkan bir atık olan bu toz halindeki içme suyu arıtma çamuru 2 M 400 mL H₂SO₄ çözeltisi içerisinde çözülüp koagülant olarak deneylerde kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmasında pH, doz, sıcaklık, konsantrasyon ve sürenin giderime olan etkisi araştırılırken; koagülasyon çalışmasında pH ve dozun giderime etkisi araştırılmıştır. Bunun için ön çalışmaların sonuçlarına göre elde edilen değer aralıkları YYY programına girilip deney şartları belirlenmiştir. İçme suyu arıtma çamuru hem adsorbent hem de koagülant olarak kullanılarak bor giderimi üzerine etki eden parametrelerin optimizasyonu YYY ile yapılmıştır.

Adsorpsiyon ile bor giderimi çalışmalarında optimum şartlar; pH 10, doz 100 g/L, sıcaklık 15°C, konsantrasyon 650 ppm ve süre 270 dk olarak belirlenmiş, bu şartlarda yapılan deneylerde % 63,5 bor giderim verimine ulaşılmıştır. Ayrıca adsorbent olarak kullanılan içme suyu arıtma çamurunun bor giderme kapasitesinin 4,13 mg/g olduğu görülmüştür. Koagülasyon çalışmalarında optimum şartlar pH 8 ve doz 100 ml/L olup bu şartlarda yapılan deneylerde % 40,6 bor giderimine ulaşılmıştır.

Adsorpsiyon deneylerinde ortam pH değerinin, içme suyu arıtma çamuru ile bor giderilmesinde en önemli etken olduğu görülmüştür. pH 10 civarında maksimum giderim verimi elde edilmiştir. Bu sonuç literature ile uyum göstermektedir.

İçme suyu arıtma çamurunun koagülant olarak kullanıldığı bor giderim çalışmalarında optimum şartlar pH 8 ve doz 100 mL/L olarak belirlenmiş olup, bu şartlarda % 40,6 bor giderimi elde edilmiştir. Genel olarak yüksek pH ve dozlarda çalışılması giderim verimini arttırmaktadır.

İçme suyu arıtma tesislerinde oluşan bir atık olan arıtma çamurunun bor içeren atıksuların giderilmesinde ucuz bir adsorbent olarak kullanılması ekonomik olacaktır.

İçme suyu arıtma çamuru ile bor gideriminde materyal yüzeyi üzerinde gerçekleşen kompleksleşme reaksiyonlarının bor gideriminde etkili mekanizma olduğu sonucu elde edilmiştir.

Bor içeren suların içme suyu arıtma çamuru ile arıtılması hem içme suyu arıtma çamurunun atık olarak değerlendirilmesi hem de ekonomik olmasından dolayı tercih edilebilir. Ayrıca bu çalışma ile literature katkı sağlanacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı (Sayı:78), Çevre ve İnsan, Ankara (Aralık 2009),
- [2] Angın, M.H. ve Yılmaz, A., “Tekstil Tipi Cam Elyafı Ön Fizibilite Etüdü, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü”,(2003).
- [3] Altun, F., *BOR*, Ankara: Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, (2005).
- [4] “2008 Faaliyet Raporu”, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2008).
- [5] “2010 Faaliyet Raporu”, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, (2010).
- [6] Güler, H., “Bor elementi, bileşikleri ve mineralleriile ilgili genel bilgiler”, (10 Mayıs 2010), <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html>, (2003).
- [7] Şaylı, B. S., “Estimation of Human Daily Boron Exposure ina Boron-Rich Area”, *British Journal of Nutrition*, 98, 571-575,(2007).
- [8] Orman Su İşleri Bakanlığı 15.04.2015 tarih ve 29327 sayılı Resmi Gazete
- [9] Weber, W.J., 1972. *Physicochemical Processes: For Water Quality Control*, Wiley Interscience, NY, (1972)
- [10] Dinçer, A., “Sepiyolit ve genleşmiş perlit üzerine katyonik poliakrilamid adsorpsiyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.*, (2007)

- [11] Başıral, Y., Çeşitli adsorbanlarla fosfat giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1996).
- [12] Bozkaya, O., Civa iyonlarının çinko ve nikel iyonları içeren sulu ortamda 4-vinil piridinaşlanılmış poli (etilentereftalat) lifler ile seçimli adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (2010).
- [13] Yuana, H. Zhanga, J., Lua, Z., Mina, H., and Wuc, C. Studies on biosorption equilibrium and kinetics of Cd²⁺ by *Streptomyces* sp. K33 and HL-12, *Journal of Hazardous Materials*, 164, 423–431.
- [14] Onyanha, D., Mavura, W., Ngila, J. C., Ongoma, P., and Chacha, J. Studies of chromium removal from tannery wastewater by algal biosorbents, *Spirogyra condensata* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Journal of Hazardous Materials*, 158, 605–614 (2008).
- [15] Florence, A. T. and Siepman, J. *Modern Pharmaceutics, Volume 1: Basic Principles and Systems*, 5. Baskı, Informa Healthcare, New York, ABD (2009).
- [16] Othmer, K. *Separation Technology, Second Edition, Vol.1*, John Wiley & Sons, USA. pp.85-156 (2008).
- [17] Özçimen, D., Çeşitli bitkisel atıkların karbonizasyon yoluyla değerlendirilmesi, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- [18] Filiz E., Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır metal giderimi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- [19] Aygün, A. Yerli doğal hammaddelerden aktif karbon üretimi ve adsorpsiyon

- özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2002).
- [20] Gerhartz, W., Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, A5, 124- 140, VCH, Almanya (1986).
- [21] E. Voudrias, F. Fytianos and E. Bozani, Sorption Description Isotherms of Dyes from aqueous solutions and Waste Waters with Different Sorbent materials, *Global Nest, The Int.J.* 4(1),75-83 (2002).
- [22] Ford, D. L. Toxicity Reduction: Evaluation and Control, Vol. 3, Technomic Publishing Company Inc., Lancaster, PA (1992).
- [23] Eroğlu, V., Atık suların tasfiyesi, *Su Vakfı Yayınları*, İstanbul (2002).
- [24] T.N Webber and R.K. Chakravarti Pore and Solid Diffusion Models for fixed bed adsorbers. *J. Am. Inst. Chem. Eng.* 20:228-238 (1974).
- [25] H.M.F. Freundlich, "Über die Adsorption in Lösungen", *Z. Phys. Chem*, 57:385–470 (1906).
- [26] Çiftçi, Ç., "Metal Kesme Atıksularının Koagülasyon ve Elektrokoagülasyon İle Arıtımı", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze (2007).
- [27] Mollah, M.Y.A., Schennach, R., Parga, J.R., Cocke, D.L., Electrocoagulation (EC) - Science and Applications. *Journal of Hazardous Materials B84*, (2001) 29–41.
- [28] Eroğlu, V., Su Tasfiyesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi*

Matbaası, İstanbul (1995).

- [29] Yılmaz, M.T., “*Bor Endüstrisi Atıksularının Fizikokimyasal Yöntemlerle Arıtılması*”, Atatürk Üniversitesi, Doktora Tezi, Erzurum (2004)
- [30] Naharcı, B.; Kırıl Mert, B.; Kestiöglu, K., 2009. Ters Osmoz Membran Sisteminin İçme Suyu Arıtımında Kullanımının Araştırılması. 5. Dünya Su Forumu 2-4-5 Eylül 2008, İznik Bursa Bildiriler Kitabı 231-240.
- [31] Dölgen, D.; Sarptaş, H.; Alpaslan, M. N., 2009. Merkezi İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Sistemlerinde Uygulanan Yöntemlerin Değerlendirilmesi: İzmir Örneği. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu 08.01.2009-10.01.2009, Tepekule Kongre ve Sergi Merkezi, İzmir: 391-402.
- [32] Muisa, N., 2010. Impacts of Alum Residues from Morton Jaffray Water Works on Water Quality and Fish, Harare, Zimbabwe. MSc. Thesis. University of Zimbabwe, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering. 78p.
- [33] Babatunde, A. O.; Zhao, Y. Q., 2007. Constructive Approaches Toward Water Treatment Works Sludge Management: An International Review of Beneficial Reuses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37 (2):129-164
- [34] Verlicchi, P.; Masotti, L., Reuse Of Drinking Water Treatment Plants Sludges in Agriculture: Problems, Perspectives and Limitations. FAO European Cooperative Research. Report of the Ninth International Workshop of the European Cooperative Research Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial residues in agriculture. 6-9 September, 2000. Italy. 19-25.
- [35] Dunster, A.; Petavratzi, E., 2007. Water Treatment Residues as a Clay Replacement and Colorant in Facing Bricks. WRT 177/WRO115. http://www.smartwaste.co.uk/filelibrary/Brick_WaterTreatmentResidue.pdf

- [36] Razali, M.; Zhao, Y. Q.; Bruen, M., 2007. Effectiveness of a Drinking-Water Treatment Sludge in Removing Different Phosphorus Species from Aqueous Solution. *Separation and Purification Tech.*, 55 (2007) 300–306
- [37] Mason, R. L., Gunst, R. F., Hess, J. J., *Statistical Design and Analysis of Experiments with Applications to Engineering and Science*, John Wiley and Sons Inc. (An International Thomson Publishing, Europe, London, 1V7AA, Hoboken, NJ, 2003.
- [38] Ahmadi, M., Vahabzadeh, F., Bonakdarpour, B., Mofarrah, E., Mehranian, M., 2005: Application of the central composite design and response surface methodology to the advanced treatment of olive oil processing wastewater using Fenton's peroxidation, *J. Hazard. Mater.*, B123, 187-195.
- [39] Myers, R. H., Montgomery, D.C., *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Designed Experiments*, 2nd ed., John Wiley & Sons, USA (2002).
- [40] Körbahti, B. K., Rauf, M. A., Application of response surface analysis to the photolytic degradation of Basic Red 2 dye, *Chemical Engineering Journal*, 138, 166–171 (2008).
- [41] Kavak D. / Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Eskişehir Osmangazi University, 26480, Meşelik, Eskişehir, Turkey
- [42] Krzysztof Piaskowski / *Water Science & Technology*, Vol. 68 Issue 8, p1757-1762. 6p (2013).

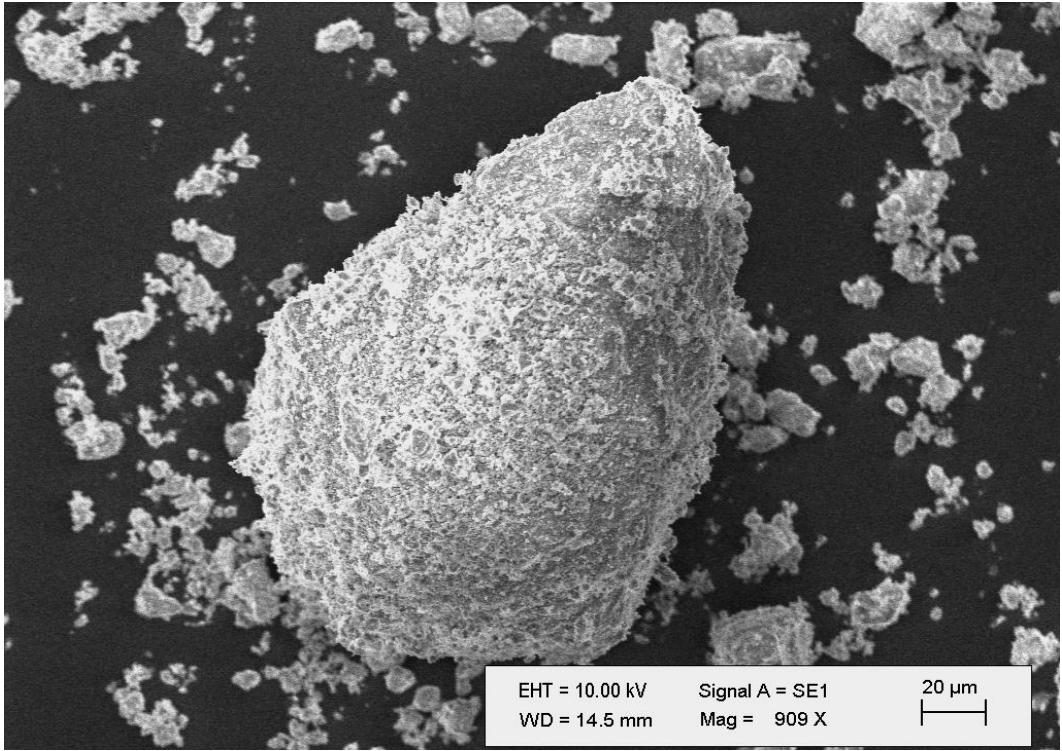
- [43] Titshall, L.W.; Hughes, J.C.; Morris, C.D.; Zacharias, P.J.K., The Disposal of a Lime Water Treatment Residue on Soil and Spoil Material from a Coalmine: A Glasshouse Investigation. *Jr. of Env. Quality* 36:568-579 (2007).
- [44] Lu Lin, Xuesong Xu, Charalambos Papelis, Tzahi Y. Cath, Pei Xu Separation and Purification Technology Volume 134, 25 September 2014, Pages 37–45 Department of Civil Engineering, New Mexico State University, 3035 S Espina Street, Las Cruces, NM 88003, USA
- [45] Eko Siswoyo, Yoshihiro Mihara, Shunitz Tanaka Applied clay science Issn0169-1317 Coden Aclser 2014, vol. 97-98, pp. 146-152 [7page(s) (article)] (1/4 p.)
- [46] Zhiwei Zhou, Yanling Yang, Xing Li Ultrasonics Sonochemistry Volume 27, November 2015, Pages 62–71 Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environment Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, PR China
- [47] Lan Yang, Jie Wei, Yumei Zhang, Jianli Wang, Dongtian Wang Applied Surface Science / Volume 305, 30 June 2014, Pages 337–346 College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, PR China
- [48] Ünlü, S., "Kağıt endüstrisi atık sularının arıtımında içme suyu arıtma tesisi atık çamurlarının koagülant olarak kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana (2003)
- [49] Bayar, D., "Sulu çözeltilerden adsorpsiyonla bor giderimi ve deney tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir (2001)

- [50] Sönmez, N.A., "Sulardan adsorbsiyon yöntemi ile bor giderimi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli (2014)
- [51] Selimoğlu, V., "Endüstriyel atıksulardan kimyasal reaksiyon-koagülasyon metoduyla bor giderimi", *Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum (2005)

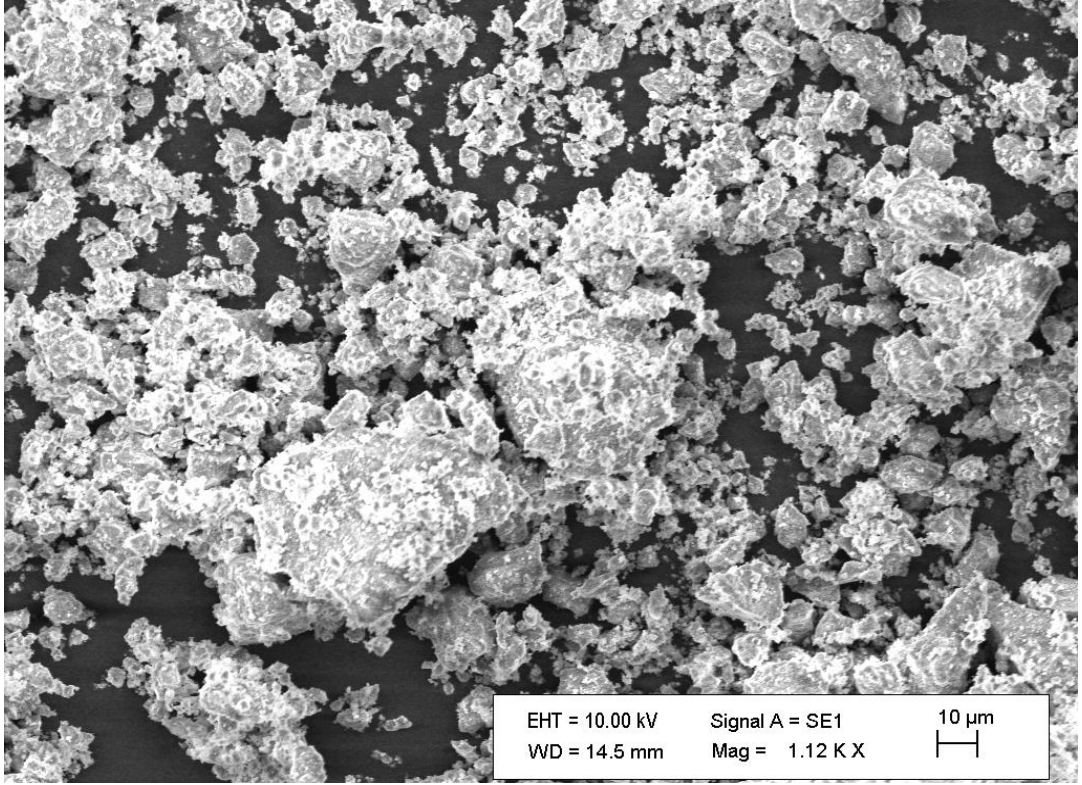
EKLER

6. EKLER

EK A İçme Suyu Arıtma Çamuru SEM Görüntüsü



EK B İçme Suyu Arıtma Çamuru SEM Görüntüsü



EK C İçme Suyu Arıtma Çamuru SEM Görüntüsü

