

**ÖN İŞLEMSİZ VE CTAB ÖN İŞLEMLİ ŞEKER PANCARI
ADSORBENTE TEKLİ BOYARMADDE VE TEKLİ
METAL İYONLARI İLE İKİLİ KARIŞIMLARININ
ADSORPSİYONUNUN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF ADSORPTION OF SINGLE DYE
AND SINGLE METAL IONS AND THEIR BINARY
MIXTURES ONTO THE UNTREATED AND CTAB
TREATED SUGAR BEET PULP ADSORBENT**

Duygu ŞAFAK

Prof. Dr. Zümriye AKSU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Her zaman beni destekleyen annem ve babam için...

ÖZET

ÖN İŞLEMSİZ VE CTAB ÖN İŞLEMLİ ŞEKER PANCARI ADSORBENTE TEKLİ BOYARMADDE VE TEKLİ METAL İYONLARI İLE İKİLİ KARIŞIMLARININ ADSORPSİYONUNUN İNCELENMESİ

Duygu ŞAFAK

Yüksek Lisans, Kimya Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zümriye AKSU

Temmuz 2024, 117 sayfa

Tekstil ve deri endüstrilerin atıksularında anyonik Remazol Black B (RBB) boyarmaddesi ve anyonik kromat/bikromat yapıda yer alan krom(VI) iyonları yüksek derişimlerde birlikte yer almaktadır. Şeker pancarı küspesi (ŞPK) hem boyarmaddelerin hem de ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu bilinen bir adsorbenttir. Bu adsorbent Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) gibi bir katyonik yüzey aktif maddeyle muamele edilerek adsorbent özellikleri geliştirilebilir. Bu tez çalışmasında, şeker pancarı küspesi doğrudan kurutulularak (ön işlemsiz) ve CTAB ile muamele edilerek (ön işlemlı) adsorbent olarak hazırlanmış ve RBB ve krom(VI) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılmıştır.

Tez çalışmasının ilk kısmında kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda başlangıç pH'ının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmış ve en uygun çalışma pH'ı her iki kirletici için aynı ve pH 2 olarak

saptanmıştır. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonu pH 2-8 aralığında incelendiğinde ise RBB için pH 8, krom(VI) için pH 2 en uygun çalışma pH'ı olarak saptanmıştır.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında her iki bileşen için aynı olarak saptanan en uygun çalışma pH değeri olan 2'de ön işlemsiz kurutulmuş ŞPK adsorbente tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda başlangıç kirletici derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri, 25-500 mg/L aralığında değişen derişimlerde incelenmiştir. Daha sonra ise aynı adsorbentle aynı pH değerinde RBB+krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda birinci bileşenin sabit 25, 50, 100, 250, 500 mg/L'de tutulan başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri incelenmiştir. Sonuçlar her bir tekli ve ikili adsorbat-adsorbent sisteminde başlangıç kirletici derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığını, % giderimin ise azaldığını göstermiştir. 500 mg/L tekli RBB içeren, 500 mg/L tekli krom(VI) içeren ve 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) karışımını içeren adsorpsiyon ortamlarında en yüksek adsorpsiyon kapasitesi değerleri sırasıyla 94,2 mg/g RBB, 49,1 mg/g krom(VI), 104,8 mg/g RBB+32,8 mg/g krom(VI) saptanmıştır. RBB+krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda RBB'nin varlığı krom(VI) adsorpsiyonunu azaltmış, krom(VI) varlığı ise RBB adsorpsiyonunu arttırmıştır.

Tez çalışmasının daha sonraki aşamasında CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB ve krom(VI) adsorpsiyonunda en uygun çalışma pH değerleri sırasıyla 8 ve 2 olarak saptandığından, tekli RBB, tekli krom(VI) ve RBB+krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda başlangıç kirletici derişimlerinin etkileri bu iki pH değerinde incelenmiştir. Her iki pH değerinde tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda başlangıç kirletici derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri, 25-500 mg/L aralığında değişen derişimlerde incelenmiştir. Daha sonra ise aynı adsorbentle iki pH değerinde RBB+krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda birinci bileşenin sabit 25, 50, 100, 250, 500 mg/L'de tutulan başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi yine 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri incelenmiştir. Sonuçlar her iki pH değerinde de her bir tekli ve ikili adsorbat-adsorbent sistemi için başlangıç kirletici derişiminin 500 mg/L'ye kadar

artmasıyla adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığını, % giderimin ise azaldığını göstermiştir.

pH 8’de 500 mg/L tekli RBB içeren, 500 mg/L tekli krom(VI) içeren ve 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) karışımını içeren adsorpsiyon ortamlarında en yüksek adsorpsiyon kapasitesi değerleri sırasıyla 250,1 mg/g RBB, 37,1 mg/g krom(VI), 336,5 mg/g RBB+23,3 mg/g krom(VI) iken pH 2’de 500 mg/L tekli RBB içeren, 500 mg/L tekli krom(VI) içeren ve 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) karışımını içeren adsorpsiyon ortamlarında en yüksek adsorpsiyon kapasitesi değerleri sırasıyla 56,8 mg/g RBB, 69,0 mg/g krom(VI), 89,8 mg/g RBB+34,5 mg/g krom(VI) olarak saptanmıştır. Benzer olarak hem pH 2 hem de pH 8’de RBB+krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda RBB’nin varlığı krom(VI) adsorpsiyonunu oldukça azaltmış, krom(VI) varlığı ise RBB adsorpsiyonunu arttırmıştır.

Tez çalışmasında ayrıca her bir tekli ve ikili adsorbat(lar)-adsorbent sistemi için tek ve iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir Denge Modelleri kullanılmış ve model sabitleri bulunmuştur.

DeneySEL sonuçlar ŞPK adsorbentın CTAB ile yüzeyinin modifiye edilmesiyle hem RBB hem de krom(VI) için adsorpsiyon kapasitesinin arttığını, iki bileşenli adsorpsiyonda adsorbatların birbirlerinin adsorpsiyonunu etkiledikleri, adsorpsiyon pH’nın adsorbentın adsorbat seçiminde önemli olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, boyarmadde, Remazol Black B (RBB), ağır metal, krom(VI), RBB+krom(VI) karışımı, adsorpsiyon, kurutulmuş ön işlemsiz şeker pancarı küspesi adsorbent, CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbent, kesikli sistem

ABSTRACT

INVESTIGATION OF ADSORPTION OF SINGLE DYE AND SINGLE METAL IONS AND THEIR BINARY MIXTURES ONTO THE UNTREATED AND CTAB TREATED SUGAR BEET PULP ADSORBENT

Duygu ŞAFAK

Master, Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zümriye AKSU

July, 2024 117 pages

In textile and leather industry wastewaters, anionic Remazol Black B (RBB) dye and chromate/bichromate ions, which are anionic and contain chromium(VI) ions, coexist at high concentrations. Sugar beet pulp (SBP) is known for its high adsorption capacity for both dyes and heavy metal ions and has been used as an adsorbent. This adsorbent was prepared by direct drying (without pretreatment) and treated with a cationic surfactant, Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB), to enhance its adsorption properties. In this thesis, SBP without pretreatment and SBP treated with CTAB were used as adsorbents for the adsorption of single RBB and single chromium(VI) ions as well as their mixtures. The initial pH effects on the adsorption rate and capacity were investigated in the first part of the thesis for single RBB and single chromium(VI) adsorption using dried,

untreated SBP, determining pH 2 as the optimal operating pH for both pollutants. When SBP treated with CTAB was used, the optimal operating pH was found to be pH 8 for RBB and pH 2 for chromium(VI) in the pH range of 2-8.

In the subsequent part of the thesis, the effects of initial pollutant concentration on the adsorption rate and capacity were examined over a range of 25-500 mg/L for single RBB and single chromium(VI) adsorption on dried, untreated SBP at pH 2, which was identified as the optimal pH for both components. Subsequently, for RBB+chromium(VI) mixtures, the initial concentration of one component was kept constant (25, 50, 100, 250, 500 mg/L) while the other component's initial concentration was varied from 25-500 mg/L to study their combined effects on adsorption rate and capacity. The results indicated that increasing the initial pollutant concentration up to 500 mg/L increased the adsorption equilibrium capacity while decreasing the removal efficiency for each single and mixed adsorbate-adsorbent system.

The highest adsorption capacity values in environments containing 500 mg/L single RBB, 500 mg/L single chromium(VI), and 500 mg/L RBB+500 mg/L chromium(VI) were determined as 94.2 mg/g RBB, 49.1 mg/g chromium(VI), and 104.8 mg/g RBB+32.8 mg/g chromium(VI), respectively. The presence of RBB in RBB+chromium(VI) mixtures reduced the adsorption of chromium(VI), whereas the presence of chromium(VI) increased the adsorption of RBB.

In the subsequent stages of the thesis, since pH 8 was identified as optimal for RBB and pH 2 for chromium(VI) adsorption on CTAB-treated SBP, the effects of initial pollutant concentrations were studied at these pH values for single RBB, single chromium(VI), and RBB+chromium(VI) mixtures. Similar trends were observed regarding the influence of initial pollutant concentrations on adsorption rate and capacity at both pH 2 and pH 8.

At pH 8, the highest adsorption capacity values for environments containing 500 mg/L single RBB, 500 mg/L single chromium(VI), and 500 mg/L RBB+500 mg/L chromium(VI) were 250.1 mg/g RBB, 37.1 mg/g chromium(VI), and 336.5 mg/g RBB+23.3 mg/g chromium(VI), respectively. At pH 2, these values were 56.8 mg/g RBB, 69.0 mg/g chromium(VI), and 89.8 mg/g RBB+34.5 mg/g chromium(VI). Similarly, in

RBB+chromium(VI) mixtures, the presence of RBB significantly reduced the adsorption of chromium(VI), while the presence of chromium(VI) increased the adsorption of RBB.

Furthermore, Langmuir Equilibrium Models were applied to each single and mixed adsorbate-adsorbent system to derive model constants.

Experimental results showed that surface modification of SBP with CTAB enhanced the adsorption capacity for both RBB and chromium(VI), and in mixed-component adsorption, the adsorption of one component was influenced by the presence of the other. The pH of adsorption was found to be crucial in selecting the adsorbent for these pollutants.

Keywords: Wastewater, dye, Remazol Black B (RBB), heavy metal, chromium(VI), RBB+chromium(VI) mixture, adsorption, dried untreated sugar beet pulp adsorbent, CTAB-treated sugar beet pulp adsorbent, batch system

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca verdiği her detaylı geri bildirim ve her yönlendirme ile tezimin kalitesini artırmamamda yardımcı olan; benim için bir rehber ve ilham kaynağı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Zümriye AKSU'ya geçirdiğim bu süreçte bana gösterdiği güven ve desteği için sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Onun bilgi birikiminden ve deneyimlerinden faydalanmak benim için büyük bir şanstı ve desteği olmadan, bu tezin bu şekilde başarıyla tamamlanması mümkün olmazdı.

Tezimin laboratuvar çalışması sürecinde sağladığı destek, rehberlik ve bilgiler için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hande GÜNNAN YÜCEL'e içtenlikle teşekkür ederim.

Bu süreçte bana gösterdiği destek ve motivasyon için İrem KALEBOZAN'a içtenlikle teşekkür etmek istiyorum. Her zaman yanımda olduğu için minnettarım. Bu süreçte onunla çalışmak ve zaman geçirmek, benim için büyük bir şanstı.

Eğitim hayatım boyunca bana sağladığı eğitim, olanaklar ve destekler için Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim.

Bugün burada olmamın ve bu noktaya gelmemin ardında sevgi dolu destekleri ve fedakarlıkları için aileme ve sevdiklerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Anneciğim, sevgin ve sabrın benim için sınırsızdı. Her zaman yanımda olduğun ve beni desteklediğin için sana minnettarım. Beni her zaman cesaretlendirdin ve hayallerimi gerçekleştirmem için bana güç verdin. Babacığim, seni özlemle anıyorum. Senin öğrettiklerin ve örnek aldığım fedakarlıkların, benim hayatım boyunca yol gösterici oldu. Bana öğrettiklerin ve bıraktığın miras ile her gün seni hatırlıyor ve sana minnet duyuyorum. İkinizin de bana sağladığı sevgi ve destek, hayatımın her anında benimle olacak.

Duygu ŞAFAK

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ŞEKİLLER	xiii
ÇİZELGELER.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Boyarmaddeler	3
2.1.1. Tekstil Boyarmaddeleri	3
2.1.2. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	3
2.1.2.1. Boyarmaddelerin Çözünürlük Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	4
2.1.2.2. Boyarmaddenin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması	5
2.1.2.3. Boyarmaddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması	7
2.1.3. Reaktif Boyarmaddeler	8
2.1.3.1. Reaktif Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	9
2.1.3.2. Reaktif Boyarmaddelerin Sınıflandırılması	10
2.2. Ağır Metaller	11
2.2.1. Krom(VI) İyonları	11
2.3. Atıksular	12
2.3.1. Atıksuların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	12
2.3.2. Atıksu Parametreleri.....	13
2.3.2.1. Fiziksel Parametreler	13
2.3.2.2. Kimyasal Parametreler	14

2.3.2.3. Biyolojik Parametreler	17
2.3.3. Atıksuların Arıtım Yöntemleri.....	17
2.3.3.1. Ön Arıtma	17
2.3.3.2. Birincil Arıtma	18
2.3.3.3. Aerobik Arıtım (Aktif Çamur Prosesi)	18
2.3.3.4. Anaerobik Arıtım	19
2.3.3.5. Üçüncül Arıtım (Kimyasal Arıtma).....	19
2.4. Boyarmadde İçeren Atıksular	20
2.4.1. Remazol Black B İçeren Atıksular	20
2.4.2. Boyarmadde İçeren Atıksuların Arıtılması.....	21
2.5. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksular	22
2.5.1. Krom (VI) İyonu İçeren Atıksular	23
2.5.2. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksuların Arıtım Yöntemleri	23
2.6. Boyarmadde ve Ağır Metal Kirliliğini Birlikte İçeren Atıksular	25
2.6.1. Boyarmadde ve Ağır Metal Kirliliğini Birlikte İçeren Atıksuların Arıtım Yöntemleri	25
2.7. Adsorpsiyon	26
2.7.1. Adsorpsiyon Çeşitleri	27
2.7.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon (Fizisorpsiyon).....	27
2.7.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon (Kemisorpsiyon).....	27
2.7.2. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler	27
2.7.2.1. Çözeltinin Özellikleri.....	27
2.7.2.2. Adsorplanan Bileşenin Özellikleri.....	28
2.7.2.3. Adsorbentin Özellikleri.....	28
2.7.3. Adsorpsiyon Mekanizması	29
2.8. Adsorbentler.....	29
2.8.1. Tarımsal Atıkların Adsorbent Olarak Kullanılmaları.....	30
2.8.1.1. Şeker Pancarı Küspesinin Özellikleri ve Adsorbent Olarak Kullanılması	31
2.8.2. Adsorpsiyon Kapasitesinin Arttırılması İçin Adsorbente Yapılan Ön İşlemler	32
2.8.3. Yüzey Aktif Maddeler	34
2.8.3.1. CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide).....	35

3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI.....	37
3.1. Tek ve İki Bileşenli Sistemlerde Adsorpsiyon ve Denge Adsorpsiyon Kapasiteleri.....	37
3.2. Adsorpsiyon Hızı.....	37
3.3. Tek ve İki Bileşenli Sistemlerde Adsorpsiyon ve Toplam Adsorpsiyon Verimi .	38
3.4. Adsorpsiyon Dengesi (İzotermi) ve Modellenmesi	38
3.4.1. Tek Bileşenli Sistemde Adsorpsiyon Denge Modellemesi	39
3.4.1.1. Langmuir Modeli.....	39
3.4.1.2. Freundlich Modeli	40
3.4.2. İki Bileşenli Sistemde Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi	40
3.4.2.1. Bileşenlerin Birbirlerinin Adsorpsiyonunu Arttırdığı (Sinerjistik) Sistemler için Türetilmiş Langmuir Modeli.....	41
3.4.2.2. Bileşenlerin Birbirlerinin Adsorpsiyonunu Azalttığı (Antagonistik) Sistemler için Türetilmiş Langmuir Modeli.....	42
3.5. Adsorpsiyon Kinetiğinin Modellenmesi	42
4. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ	43
4.1. Kurutulmuş Ön İşlemsiz ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentlerin Deneysel Çalışmalar için Hazırlanması.....	43
4.2. Adsorpsiyon Çözeltilerinin Hazırlanması	43
4.2.1. Remazol Black B (RBB) Çözeltilerinin Hazırlanması.....	43
4.2.2. Krom(VI) Çözeltilerinin Hazırlanması	44
4.2.3. Remazol Black B ve Krom(VI) İyonlarını Birlikte İçeren Karışım Çözeltilerinin Hazırlanması	44
4.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Deney Düzeneği	44
4.4. Adsorpsiyon Çalışmaları	44
4.5. Analiz Yöntemleri	45
4.5.1. Remazol Black B (RBB) Derişim Tayini.....	45
4.5.2. Krom (VI) Derişimi Tayini	46
4.5.3. Remazol Black B (RBB) ve Krom(VI) İyonlarını Birlikte İçeren Deney Ortamında RBB ve Krom(VI) Derişiminin Tayini	46
4.5.4. Kurutulmuş Şeker Pancarı Küspesi ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları	46

5. DENEYSEL SONUÇLAR	47
5.1. Kurutulmuş Ön İşlemsiz Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentle Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları.....	48
5.1.1. Tek Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları	48
5.1.1.1. Remazol Black B Adsorpsiyon Çalışmaları	48
5.1.1.2. Krom (VI) Adsorpsiyon Çalışmaları	51
5.1.2. İki Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları.....	55
5.1.2.1. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri	56
5.1.2.2. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi.....	58
5.1.2.3. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri	58
5.1.2.4. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı Krom(VI) Derişiminde RBB Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi.....	60
5.1.2.5. pH 2’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması.....	61
5.2. CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentle Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları.....	64
5.2.1. Tek Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları	64
5.2.1.1. Remazol Black B Adsorpsiyon Çalışmaları	64
5.2.1.2. Krom (VI) Adsorpsiyon Çalışmaları	68
<u>Başlangıç pH’ ının Etkisi</u>	68
5.2.2. İki Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları.....	72
5.2.2.1. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri	72
5.2.2.2. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi.....	74

5.2.2.3. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri.....	75
5.2.2.4. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı Krom(VI) Derişiminde RBB Adsorpsiyon İzotermlerinin Elde Edilmesi	77
5.2.2.5. pH 2’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması	78
5.2.2.6. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri.....	81
5.2.2.7. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermlerinin Elde Edilmesi	83
5.2.2.8. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri.....	83
5.2.2.9. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermlerinin Elde Edilmesi.....	86
5.2.2.10. pH 8’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması	86
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	90
7. KAYNAKLAR.....	105
EKLER	110
EK 1. REMAZOL BLACK B (RBB) TAYİNİ.....	110
EK 2. KROM(VI) TAYİNİ.....	111
EK 3. REMAZOL BLACK B (RBB)-KROM(VI) İKİLİ KARIŞIMLARINDA REMAZOL BLACK B TAYİNİ.....	112
EK 4. Kurutulmuş Ön İşlemsiz Şeker Pancarı Küspesi ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları	115
ÖZGEÇMİŞ	117

ŞEKİLLER

- Şekil 2.1.** Reaktif Boyarmaddelerin Karakteristik Yapısı [4] 9
- Şekil 2.2.** Remazol Black B Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı [8] 10
- Şekil 2.3.** Anyonik Yüzey Aktif Maddenin Yapısı [50]..... 34
- Şekil 2.4.** Yüzey Aktif Maddelerin Sınıflandırılması [53] 35
- Şekil 2.5.** CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide)'ın Kimyasal Yapısı [55]..... 36
- Şekil 5.1.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarına etkisi (T=25°C, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm) 48
- Şekil 5.2.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 51
- Şekil 5.3.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli krom(VI) adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarına etkisi (T=25°C, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)..... 52
- Şekil 5.4.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)..... 55
- Şekil 5.5.** pH 2'de krom(VI)+RBB karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 58
- Şekil 5.6.** pH 2'de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyonu derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 61

- Şekil 5.7.** pH'ı 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının adsorpsiyonunda, her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm).....63
- Şekil 5.8.** pH'ı 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının adsorpsiyonunda, her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm).....64
- Şekil 5.9.** CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarına etkisi (T=25°C, C_o=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)65
- Şekil 5.10.** pH 2'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)67
- Şekil 5.11.** pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)68
- Şekil 5.12.** CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarına etkisi (T=25°C, C_o=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)69
- Şekil 5.13.** pH 2'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)71
- Şekil 5.14.** pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)72

- Şekil 5.15.** pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 75
- Şekil 5.16.** pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyonu derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 78
- Şekil 5.17.** pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm) 80
- Şekil 5.18.** pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm) 80
- Şekil 5.19.** pH 8’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 83
- Şekil 5.20.** Sabit tutulan krom(VI) iyon derişimindeki pH 8 ortamında tekli RBB ve artan derişimlerde eklenen RBB iyonlarının adsorpsiyonunda elde edilen RBB izotermi (pH=2, T=25°C, X=1,0 g/L, K.H. = 120 rpm) 86
- Şekil 5.21.** pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm) 88
- Şekil 5.22.** pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli

	antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm).....	88
Şekil 6.1.	100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2’de ve pH 8’de tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrileri	94
Şekil 6.2.	pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB, pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB, pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB adsorpsiyonunda % RBB giderim değerlerinin karşılaştırılması	99
Şekil 6.3.	pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımında krom(VI), pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımında krom (VI), pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımında krom(VI) adsorpsiyonunda % krom(VI) giderim değerlerinin karşılaştırılması.....	100
Şekil 6.4.	100 mg/L RBB ve 100 mg/L krom (VI) içeren ikili karışım için her bir bileşenin pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente, pH 2’de ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrilerinin karşılaştırılması	101
Şekil E.1.1.	RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu.....	110
Şekil E.2.1.	Krom(VI) derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu	111
Şekil E.3.1.	25 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu.....	112
Şekil E.3.2.	50 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu	113
Şekil E.3.3.	100 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu.....	113

Şekil E.3.4. 250 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu	114
Şekil E.3.5. 500 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu	114
Şekil E.4.1. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentin FTIR spektrumu.....	115
Şekil E.4.2. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentin FTIR spektrumu.....	116

ÇİZELGELER

- Çizelge 2.1.** Remazol Black B Boyarmaddesinin Özellikleri [10]11
- Çizelge 2.2.** CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide)'in Özellikleri [55].....36
- Çizelge 5.1.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı tanecik boyut aralıklarında elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve % giderim değerleri (T=25°C, pH=2, C_o=100 mg/L, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm).....49
- Çizelge 5.2.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm).....50
- Çizelge 5.3.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)50
- Çizelge 5.4.** Kurutulmuş ön işlemsiz şeker pancarı küspesi adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı tanecik boyut aralıklarında elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızları ve % giderim değerleri (T=25°C, pH=2, C_o=100 mg/L, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm).....53
- Çizelge 5.5.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç krom(VI) iyon derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm).....54
- Çizelge 5.6.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)54
- Çizelge 5.7.** pH 2'de krom(VI)+RBB karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB

- miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderimi (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm) 56
- Çizelge 5.8.** pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderimi (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)..... 59
- Çizelge 5.9.** pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 62
- Çizelge 5.10.** pH 2’de ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2- pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 66
- Çizelge 5.11.** pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 67
- Çizelge 5.12.** pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç krom(VI) derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm) 70
- Çizelge 5.13.** pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küşesi adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich denge

modelinden elde edilen denge model sabitleri (pH=2 ve pH=8, T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm).....71

Çizelge 5.14. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)73

Çizelge 5.15. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)76

Çizelge 5.16. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)79

Çizelge 5.17. pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarları ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri (T=25°C, X=1,0 g/L, K.H.=120 rpm)82

- Çizelge 5.18.** pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri (T=25°C, X=1,0 g/L, K.H.=120 rpm)..... 84
- Çizelge 5.19.** pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 87
- Çizelge 6.1.** Kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentlere tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç kirletici derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan kirletici miktarları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm) 93
- Çizelge 6.3.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunda, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2 ve pH 8’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 95
- Çizelge 6.4.** Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2 ve pH 8’de RBB ve krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda, farklı sabit birinci bileşen başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarlarının karşılaştırılması (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)..... 98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- A: Absorbans
- b: Adsorpsiyon entalpisi ve adsorbatla adsorbent arasındaki bağın kuvvetini belirten Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)
- b_1 İki bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde birinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)
- b_2 İki bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde ikinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)
- b_i Çok bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde i bileşenin e ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)
- b_j Çok bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde j bileşenine ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (L/mg)
- C Herhangi bir anda, adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan bileşen derişimi (mg/L)
- $C_{ad,i}$ Kesikli/sürekli dolgulu kolon sistemde tekli ya da ikili karışımda herhangi bir anda adsorpsiyon ortamında adsorplanan her bir bileşenin derişimi (mg/L)
- $C_{ad,den}$ Tek bileşenli sistemde denge durumunda adsorplanan bileşenin derişimi (mg/L)
- $C_{ad,den,i}$ İki bileşenli karışımda denge durumunda adsorplanan her bir bileşenin derişimi (mg/L)
- C_{den} Adsorpsiyon ortamında dengede adsorplanmadan kalan bileşen derişimi (mg/L)
- $C_{den,i}$ Kesikli/sürekli dolgulu kolon sistemde tekli ya da ikili karışımda dengede adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan her bir bileşenin derişimi (mg/L)
- C_i Tekli veya iki bileşenli karışımda adsorpsiyon ortamında herhangi bir anda adsorplanmadan kalan her bir bileşenin derişimi (mg/L)
- C_{den1} İki bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde birinci bileşenin denge durumunda çözeltide adsorplanmadan kalan derişimi (mg/L)
- C_{den2} İki bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde ikinci bileşenin denge durumunda çözeltide adsorplanmadan kalan derişimi (mg/L)

C_{denj}	İki bileşenli Langmuir adsorpsiyon eşitliğinde her bir bileşenin denge durumunda çözültide adsorplanmadan çözültide kalan derişimi (mg/L)
C_{ij}	Adsorplanan j'nin başlangıç derişimi (mg/L)
$C_{o,i}$	Tekli veya iki bileşenli karışımda, her bir bileşenin başlangıç derişimi (mg/L)
$C_{o,1}$	Birinci bileşenin başlangıç derişimi (mg/L)
$C_{o,2}$	İkinci bileşenin başlangıç derişimi (mg/L)
$C_{o,top}$	İkili karışımlardaki her bir bileşenin başlangıç derişimleri toplamı (mg/L)
K_{ij}	Adsorplanan j 'ye ait modifikasyon katsayısı
K_1	Adsorplanan 1 bileşeni için bir modifikasyon katsayısı
K_2	Adsorplanan 2 bileşeni için bir modifikasyon katsayısı
K_F	Adsorbata, adsorbente ve sıcaklığa göre değişen ve adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü gösteren Freundlich adsorpsiyon eşitliği sabiti ($L^{1/n} mg^{1-1/n}/g$)
n	Freundlich adsorpsiyon modelindeki adsorpsiyon şiddetini gösteren adsorpsiyon dercesi
η_1	Antagonistik Langmuir modeline göre bulunan birinci bileşene ait Langmuir düzeltme sabiti
η_2	Antagonistik Langmuir modeline göre bulunan ikinci bileşene ait Langmuir düzeltme sabiti
q_i	Tek bileşen veya iki bileşenli karışım adsorpsiyonunda herhangi bir zamanda birim adsorbent kütlesi başına adsorbe edilen her bir bileşenin miktar (mg/g)
q_{den}	Dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarı (mg/g)
q_{deni}	Her bir bileşenin, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)
q_{den1}	Birinci bileşenin, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)
q_{den2}	İkinci bileşenin, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)
$q_{den,den}$	Deneysel olarak bulunan, bileşenin dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)

$Q_{den,teo,L}$	Langmuir modeli kullanılarak bulunan, bileşenin dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)
$Q_{den,teo,F}$	Freundlich modeli kullanılarak bulunan, bileşenin dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarı (mg/g)
Q_{top}	Toplam adsorplanan bileşen miktarı (mg)
Q^o	Adsorbentin en yüksek adsorpsiyon kapasitesini gösteren Langmuir adsorpsiyon sabiti (mg/g)
Q^o_1	Birinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (mg/g)
Q^o_2	İkinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (mg/g)
Q^o_j	Her bir bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabiti (mg/g)
r	Adsorpsiyon hızı (mg/L.dk)
R^2	Korelasyon Katsayısı
t	Zaman (dk)
T	Sıcaklık (°C)
X	Adsorbentin çözeltideki derişimi (g/L)

Kısaltmalar

Cr	Krom
CTAB	Cetyltrimethylammonium Bromide
K.H.	Karıştırma hızı
RBB	Remazol Black B
ŞPK	Şeker Pancarı Küspesi

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfusla birlikte gelişen ve büyüyen sanayi, çevre için çözümü zor kirlilikleri de beraberinde getirerek geleceği tehdit etmektedir. Endüstrilerde üretim türüne bağlı olarak çeşitli kirleticiler farklı içerik ve hacimlerde atıksular oluşturmaktadır. Atıksulardan bu kirleticilerin gideriminde yüksek maliyetli yöntemler kullanılmaktadır.

Tekstil ve deri endüstrisi atıksularında çeşitli boyarmaddelerin yanı sıra krom(VI) gibi ağır metal iyonları da yer almaktadır. Renk içeren atıksular, su ortamında estetik olarak görüntü kirliliği oluşturmalarının yanı sıra suya ışık geçişini de kısıtlarlar. Böylece fotosentetik aktivite ve sudaki çözünmüş oksijen derişimi azalır ve canlı yaşamının tükenmesine neden olur. Renkli atıksular az bir miktarda dahi olsa geniş alanlara yayılma potansiyeline sahiptir. Bu durum temiz su kaynaklarının kullanımına engel olurken, içeriğindeki toksik bileşikler de canlı yaşamını tehdit etmektedir. Atıksulardaki ağır metal iyonları düşük derişimler de bile canlı yaşamı ve çevre için zararlı etkide bulunmaktadır. Atıksulardaki ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin tekli ve ikili giderilmesinde çöktürme, iyon değişimi, ileri oksidasyon teknikleri, adsorpsiyon gibi yöntemler kullanılmaktadır. Günümüzde adsorpsiyon prosesi düşük maliyetli ve yüksek verimli olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir.

Son zamanlarda tarımsal atıklar dahil pek çok doğal malzeme adsorbent olarak kullanım alanı bulmaktadır. Tarımsal atıkların doğada bol miktarda bulunması, sürdürülebilirliği, ucuz ve çevre dostu olmaları ve adsorpsiyon için uygun kimyasal yapıya sahip olmaları tercih edilmelerindeki önemli etmenlerdendir. Tarımsal atıklardan biri olan şeker pancarı küspesi de iyi adsorplama yeteneği sayesinde, günümüzde hem boyarmaddelerin hem de ağır metal iyonlarının atıksulardan giderilmesinde adsorbent olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır.

Şeker pancarı küspesi (ŞPK) çeşitli boyarmaddelerin ve metal iyonlarının adsorpsiyonunda hiçbir ön işlem uygulanmadan doğrudan ya da çeşitli ön işlemlerle muamele edilerek kullanılabilir. Ön işlemsiz küspe adsorbentin yüzeyi negatif

yüklü olup, adsorbent düşük pH'larda (anyonik) eksi yüklü reaktif boyarmadde iyonlarını, yüksek pH'larda ise metal katyonlarını yüksek kapasiteyle adsorplama eğilimindedir. Küspe adsorbent CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide) gibi katyonik bir yüzey aktif malzeme ile muamele edildiğinde ise, pozitif yüklü adsorbent yüzeyi elde edilmektedir. Bu durumda daha yüksek pH'larda anyonik boyarmaddelerin ve anyonik metal iyonlarının tekli ve birlikte daha yüksek kapasite ile adsorpsiyonu mümkün olacaktır.

Bu tez çalışmasında; tarımsal atık şeker pancarı küspesi kurutulmuş ve CTAB ile ön işleme tabi tutularak tekstil ve deri endüstrisi atıksularında yer alan anyonik yapıdaki reaktif boyarmaddelerden Remazol Black B (RBB) ve yine anyonik kromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) yapısındaki krom(VI) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının kesikli sistemde adsorpsiyonu incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Boyarmaddeler

Boyarmaddeler, çeşitli malzemeleri renklendirmek için kullanılan renk verici maddelerdir. Organik yapıda olan boyarmaddeler molekül yapılarının özellikleri ile üzerine gelen ışınları absorbe edebilmeleri ve yansıtılabilmeleri sayesinde renk özelliklerini gösterirler. Boyarmaddeler, ışınları görünür spektrum bölgesinde (400-700 nm) emerler dolayısıyla farklı dalga boylarında farklı renkler görünürler.

Boyarmaddelerin yapısında azo, nitro, nitroazo ve karbonil grupları gibi en az bir çift bağ içeren ve renklilik veren kromofor gruplar ve amino(-NH₂), hidroksil(-OH), sülfonik (SO₃H), sübtitüye amino (NHR, -NR₂) ya da karboksil (COOH) grupları gibi oksokrom olarak adlandırılan kimyasal gruplar bulunmaktadır [1]. Oksokromlar yapılarında bulunan eşlenmemiş elektron çiftleriyle elektron verici olarak, elektron alıcısı kromofor grupların tamamlayıcısı olarak görev alırlar. Oksokromlar, renk vermezler ancak rengi yoğunlaştırır, boyarmaddenin suda çözünmesine ve life karşı afiniteye sahip olmalarına yardım eder. Kısaca özetlenirse kromoforlar, boyarmaddenin renk almasını sağlayan kimyasal gruplar; oksokromlar ise boyarmaddenin life adsorbe olmalarını sağlayan kimyasal gruplardır [2].

2.1.1. Tekstil Boyarmaddeleri

Tekstil boyarmaddeleri, tekstil endüstrisi ürünlerini renklendirmek için kullanılan ve malzemeye fiziksel ya da kimyasal bağlarla bağlanan organik bileşiklere denir. Boyanacak olan çeşitli iplik, kumaş vb. ürünlerin boyarmaddeyi çekerek onunla bağ kurması, boyamada uygun boyarmadde seçimiyle gerçekleştirilebilir [3].

2.1.2. Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Boyarmaddeler, çözünürlük özelliklerine, boyama özelliklerine ve kimyasal yapılarına göre 3 gruba ayrılarak sınıflandırılır.

2.1.2.1. Boyarmaddelerin Çözünürlük Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

A- Suda Çözünebilen Boyarmaddeler

Bu tür boyarmaddeler yapılarında en az bir tane tuz oluşturan suda çözündürücü grup içermelidir. İçerdikleri tuz grubuna göre 3 kısma ayrılırlar.

- 1) **Anyonik Suda Çözünebilen Boyarmaddeler:** Suda çözünen sodyum tuzları olarak özellikle sülfonik ($-\text{SO}_3^-$), kısmen de karboksil ($-\text{COO}^-$) grupları da içerirler. Asit ve direkt boyarmadde türleri bu sınıfa örnektir.
- 2) **Katyonik Suda Çözünebilen Boyarmaddeler:** Bu tür boyarmaddeler suda çözünen $-\text{NH}_2$ gibi bazik bir grubu içerir ve organik ($(\text{COOH})_2$) veya anorganik (HCl) asitlerle tuz oluşturdukları bir yapıya sahiptirler.
- 3) **Zwitter İyon Karakterli Boyarmaddeler:** Molekül yapılarında hem bazik hem de asidik gruplar bulunur ve iç tuz oluştururlar. Ortamın nötr veya bazik olması halinde anyonik boyarmadde davranışı gösterirler.

B- Suda Çözünmeyen Boyarmaddeler

Bu tür boyarmaddeler 6 gruba ayrılarak incelenirler.

- 1) **Substratta Çözünen Boyarmaddeler:** Su içinde çözünmeden süspansiyon şeklinde dağılırlar. Sentetik elyafa (polyester vb.) uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bunlara örnektir.
- 2) **Organik Çözücülerle Çözünen Boyarmaddeler:** Bu gruptaki boyarmaddelerin diğer bir adı da solvent boyarmaddeleridir. Her türlü organik çözücü içinde çözünebilirler.
- 3) **Geçici Çözünürlüğü Olan Boyarmaddeler:** Önce indirgenme malzemeleri kullanılarak suda çözünür hale getirilir ve elyaf üzerine uygulandıktan sonra yükseltgenerek suda çözünmez duruma getirilir. Bu gruba örnek olarak kükürt ve küpe tipi boyarmaddeler gösterilebilir.

- 4) **Polikondenzasyon Boyarmaddeleri:** Bu tür boyarmaddeler ya birbirleri ile ya da başka moleküllerle birleşip su açığa çıkartarak daha büyük moleküller oluştururlar.
- 5) **Elyaf İçinde Oluşturulan Boyarmaddeler:** Boyarmadde, kimyasal reaksiyon yoluyla elyaf içerisinde oluşturulur. Ayrıca bu tür boyarmaddeler suda çözünmezler .
- 6) **Pigmentler:** Kuruyan yağ ve reçinelere süspansiyon şeklinde uygulanan, boyarmaddelerden farklı olarak suda çözünmeyen toz halinde kullanılan bileşiklerdir.

2.1.2.2. Boyarmaddenin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Boyarmaddenin hangi yöntemle boyama yapabileceğine göre sınıflandırma yapılmış ve 10 grupta incelenmiştir.

- 1) **Katyonik (Bazik) Boyarmaddeler:** Katyonik boyarmaddeler, katyonik grubu renkli kısımlarda taşırlar ve içeriğinde anyonik grup bulunan liflere bağlanırlar. Burada boyarmadde ile kurulan ilişki iyoniktir. Boyarmadde içindeki katyon elyaftaki anyonik gruplarla tuz oluşturur. Çoğunlukla poliakrilonitril, kısmen de pamuk, yün ve elyaf boyamasında kullanılırlar.
- 2) **Asit Boyarmaddeler:** Bu tür boyarmaddelerle yapılan boyama işlemi asidik banyolarda yapılır. Molekül yapılarında sülfonik asit ($-SO_3H$) ya da karboksilik asit ($-COOH$) grubu içerirler. Asit boyarmaddeleri kimyasal yönden ele alındığında anyonik boyarmaddeler grubuna girer ancak farklı şekilde boyama yaptıkları için bu sınıftan ayrılmıştır.
- 3) **Direkt Boyarmaddeler (Substantif Boyarmaddeler):** Bu boyarmaddelerin yapıları sülfonik ya da karboksilik asitlerin tuzları şeklindedir. Molekül yapılarına bakıldığında asit boyarmaddeler ile benzerlik gösterirler. Farklılığı oluşturan boyama yöntemleridir. Direkt boyarmaddeler ön işlem yapılmadan (mordanlama) çözelti içerisinde selüloz ya da yün life doğrudan çekilirler ve herhangi bir kimyasal bağ yapmadan boyanmayı sağlarlar.

- 4) **Mordan Boyarmaddeler:** Mordanın kelime anlamı boyarmaddeyi elyafa yerleştiren demektir. Al, Sn, Fe, Cr tuzlarının oluşturduğu suda çözünmeyen hidroksitler mordan olarak kullanılır. Bu boyarmaddeler asidik, bazik birçok grubu içerirler ve elyaf ile kararlı olmayan bileşikler oluştururlar. Boyama işlemi yapılırken boyarmadde ve elyafa benzer kimyasal ilgiyi gösteren mordan maddesi elyafa yerleştirilir ve daha sonra elyaf-boyarmadde ikilisi reaksiyona girer. Bunun sonucunda boyarmadde elyafa tutunur.
- 5) **Reaktif Boyarmaddeler:** Bu boyarmaddelerin tamamı kromofor gruplarla birlikte boyarmadde molekülünün çözünürlüğünü sağlayan reaktif grupları içerirler. İçerdikleri reaktif gruplar sayesinde elyaf aralarında kovalent bağ oluştururlar. Bu sayede boyarmadde molekülleri elyaf üzerinde tutunurlar.
- 6) **Küpe Boyarmaddeleri:** Suda özünürlüğü olmayan bu boyarmaddeler karbonil (C=O) grubu içerirler. İndirgenme ile suda çözünebilir durumdan elyafa ektirildikten sonra oksidasyon ile tekrar suda çözünmez hale getirilir. İndirgeme yapılırken sodyum ditiyonit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) ve daha sonra oksidasyon için ise havada bulunan oksijen kullanılır. Doğal kökenli olan indigo boyarmaddesi bu gruba örnektir.
- 7) **İnkışaf Boyarmaddeleri:** Bu gruptaki boyarmaddeler elyaf üzerinde oluşturularak elde edilirler. Bu boyarmaddelerin yapılarında bulunan ve elyafa afinitesi olan bileşen ilk olarak elyafa emdirilir, sonrasında ise diğer bileşenle reaksiyona girerek suda çözünmeyen boyarmadde elde edilir.
- 8) **Metal-Kompleks Boyarmaddeler:** Bazı azo boyarmaddeleri Cu, Cr, Co ve Ni metal katyonları ile yapılarında metal kompleksi oluştururlar.
- 9) **Dispersiyon Boyarmaddeleri:** Suda çok az miktarda çözündükleri için sudaki dispersiyonlarıyla uygulanabilirler. Boyama yapılırken boyarmadde dispersiyon ortamından elyafa difüzyonla çekilir. Boyarmadde elyaf içinde çözündürülerek boyama tamamlanır. Bu boyarmaddeler genellikle poliester, bazen de poliamid ve akrilik elyafı boyamak için kullanılırlar.

10) Pigment Boyarmaddeleri: Pigmentlerin elyaf afiniteleri yoktur ayrıca absorpsiyon ve kimyasal bağ da yapmazlar. Bağlayıcı olarak sentetik reçineler kullanılarak elyafın yüzeyine bağlanırlar.

2.1.2.3. Boyarmaddelerin Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırken moleküle renklilik özelliğini veren kromojen dikkate alınarak 7 grupta sınıflandırılabilir [4];

1. Azo Boyarmaddeleri: Organik boyarmaddelerin en önemli ve kalabalık sınıfını oluştururlar. Azo bileşikleri olarak yapılarında bulunan azo (-N=N-) grubu ile karakterize edilirler. Boyama özelliği bulunanlarına da azo boyarmaddeleri denir. Doğal boyarmaddeler azo grubu içermezler, bu boyarmadde grubunun tamamı sentetik yolla elde edilirler. Azo gruplarında bulunan azot atomları sp^2 hibritleşmesi yaparak karbon atomlarına sigma bağı ile bağlanır. Karbon atomlarında birisi aromatik bir grup ise diğer karbon atomu aril grubuna ait enolleşebilen alifatik zincire bağlı bir grup olmalıdır. Bu boyarmaddeler yapılarında içerdikleri azo grubu sayısına göre mono-, di-, tris- veya daha fazla azo grubu içeriyorlarsa poliazo boyarmaddesi olarak tanımlanabilirler.

2. Nitro ve Nitroso Boyarmaddeleri: Bu boyarmaddelerde nitro ve nitroso grubunun yanında elektro donör grup da bulunur. Nitroso bileşiklerinin ağır metal tuzları ile meydana getirdikleri kompleksler boyama özelliği gösterir. Bu kompleksler ya pigment ya da asit boyarmadde özelliğine sahiptir. İpek, yün ve kâğıt boyamalarında boyarmadde olarak kullanılırlar.

3. Polimetin Boyarmaddeleri: Mezomer sistemler ile tanımlanırlar. Yapılarında birçok ikili bağ bulunduran bu boyarmaddeler konjuge zincirlerle birbirlerine bağlıdır. Zincirin bir ucu elektrondonör, diğer ucu ise elektronakseptör olarak görev alır. Taşıdıkları yüke göre isimlendirilip ayrılırlar. Yük pozitif ise katyonik, negatif ise anyonik ve nötr ise nötral polimetin denilmektedir.

4. Arilmetin Boyarmaddeleri: Genel formülasyon gösterimleri $Ar-X=Ar$ olan arilmetin boyarmaddeleride X, -CH= ya da -N= biçiminde olabilir. -CH grubu bulunanlarına diarilkarbonyum, -C(Ar)= bulunanlarına ise triarilkarbonyum

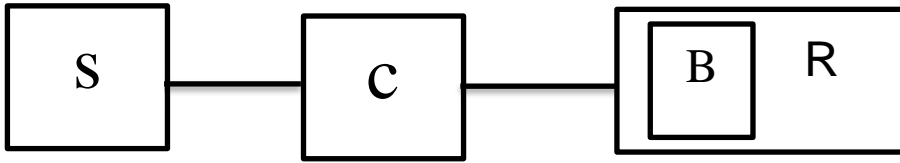
denilmektedir. -N= grubu ise aza türevidir. Bu boyarmaddelerin elektrofil özelliklerinin bulunmalarından dolayı çok sayıda karakteristik reaksiyonları bulunmaktadır.

5. **Aza [18] Annulen Boyarmaddeleri:** Konjuge durumda çift bağlara sahip ve 18 π elektrona sahip ve siklik renk veren boyarmaddelerdir. Kanın yapısında bulunan hemoglobin ve yeşil yaprakların yapılarındaki klorofil bu boyarmaddelere örnek olarak verilebilir.
6. **Karbonil Boyarmaddeleri:** Molekül yapılarında konjuge çift bağlar ve bunlara bağlı en az iki adet karbonil grubu içeren boyarmaddelerdir. İki gruba ayrılırlar. En az iki karbonil grubu bulunan türlerine antrakinin, bu gruba ek N-H grupları içeren diğer türlerine ise indigo denir.
7. **Kükürt Boyarmaddeleri:** Bu boyarmadde türü aromatik aminlerin, fenollerin, kükürt ve sodyum sülfür ya da sodyum polisülfürle reaksiyona girmesi sonucu oluşan organik bileşiklerdir. Bunlar suda çözünemeyen makromoleküler yapıdadır. Bu boyarmaddelerin substantifliği yüksektir ve bu sayede elyafa çekilirler. Çekilen monomerler yıkama sonrası havadaki oksijen ile yükseltgenerek elyafın içinde baştaki haline geri döndürülürler. Bu bakımdan küpe boyarmaddelerine benzerler ancak indirgenmede kullanılan kimyasalların farklılıkları farklarını oluşturur. Kükürt boyarmaddelerinde indirgen olarak Na_2S kullanılır.

2.1.3. Reaktif Boyarmaddeler

Bu boyarmaddeler elyaf üzerindeki fonksiyonel gruplarla reaksiyona girerek aralarında kovalent bağ oluştururlar. Reaktif boyarmaddelerin genel karakteristik yapısı Şekil 2.1.'de gösterilmiştir. Burada S harfi suda çözünen grubu temsil etmektedir. Reaktif boyarmaddelere suda çözünme özelliği sağlayan ve sayısı 1-4 arasında değişen sülfonik grup bulunmaktadır. C harfi ile gösterilen kısım moleküle renk veren kromofor grubu göstermektedir. Genel olarak boyarmaddede sarı, turuncu, kırmızı renkleri veren renk verici gruplar yer aldığına, bu boyarmaddenin basit monoazo yapısında olduğunu, koyu kırmızı, mor, lacivert renkleri veren renk verici gruplar yer aldığına, bu boyarmaddenin mono ve disazo yapısında olduğunu, parlak ve açık mavi renkleri veren renk verici gruplar yer aldığına ise bu boyarmaddenin antrakinin ve ftalosiyanın yapılarının

türevleri olduğunu göstermektedir. Şekilde B harfi ile gösterilen kısım köprü bağlarını göstermektedir. Bu bağlar boyarmadde molekülündeki renkli kısım ile reaktif grubu birbirine bağlayan -NH-, -CO-, -SO₂- gruplarıdır. Diğer görevleri ise reaktif grubun reaktivitesini artırmak ve en önemlisi ise elyafa tutunan boyarmadde moleküllerinin ayrılmasını önlemektir. Şekilde R harfi ile gösterilen bölge ise reaktif grubu göstermektedir. Reaktif grup bu tür boyarmaddelerde elyaf ile aralarında kovalent bağ kuran gruptur. Elyafta bu bağın kurulması için reaksiyona girebilecek fonksiyonel gruplar farklılık gösterir. Bunlar selülozda hidroksil(OH⁻), yün ve ipekte amino(-NH₂), hidroksil, karboksil(-C(=O)OH) ve tiyoalkol(-SH) grupları olabilmektedir. Bu grupların yapılarının nükleofilik olması nedeniyle reaktif gruptaki elektrofilik merkeze katılırlar. Boyamanın yapılacağı ortam sulu ise, boyarmaddeki reaktif grup sudaki hidroksil iyonları ile reaksiyona girerek boyarmadde hidrolize uğrayabilir. Bu durumda boyarmadde ile elyafın reaksiyonu gerçekleşmez. Bu yüzden hidroliz yerine bağlanma reaksiyonu gerçekleşecek şekilde şartlar ayarlanmalıdır. Reaksiyon sonucu kurulacak olan kovalent bağ hidrolize karşı dirençli olmalıdır [4].



Şekil 2.1. Reaktif Boyarmaddelerin Karakteristik Yapısı [4]

2.1.3.1. Reaktif Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Reaktif boyarmaddeler için farklı sınıflandırmalar mevcuttur. Bunlardan reaksiyon mekanizmasına göre ve içerdikleri fonksiyonel gruplara göre yapılan sınıflandırmalar aşağıda açıklanmıştır.

1. Reaktif Grup Mekanizmalarına Göre:

- Nükleofilik yer değiştirme reaksiyon mekanizmasına sahip reaktif boyarmaddeler; kromofor olarak triazinil halkasına sahiptirler. Elyaf ile reaksiyona nükleofilik yer değiştirme tepkimesi ile girer.
- Nükleofilik ekleme reaksiyon mekanizmasına sahip reaktif boyarmaddeler ise; beta sülfatoetil sülfon tipi kromofor grubuna sahiptir. Remazol boyaları bu gruba girmektedir.

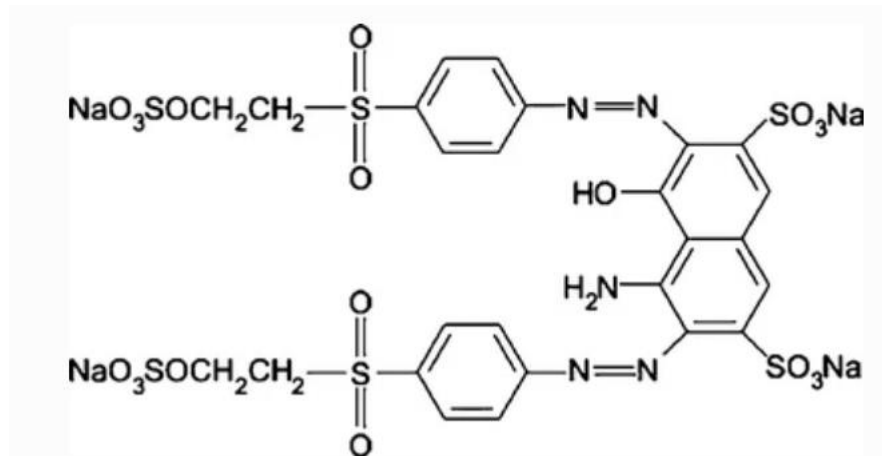
Bu iki grup reaktif boyarmadde esterleşme ve hidroliz reaksiyonlarını yaparlar.

2. İçerdikleri Fonksiyonel Gruplara Göre:

- a) Monofonksiyonel reaktif boyarmaddeler; boyarmadde molekülünde ayrı yerlerde bulunan bir veya iki reaktif gruba sahiptir. Bu tür reaktif boyarmaddelere örnek olarak monokloro, dikloro triazin ve vinilsülfon içeren boyarmaddeler verilebilir.
- b) Bifonksiyonel reaktif boyarmaddeler; boyarmadde molekülünde farklı yerlerde iki reaktif gruba sahiptir. İçerdikleri reaktif gruplar aynı ise homo bifonksiyonel, iki farklı grup ise hetero bifonksiyonel reaktif boyarmaddeler olarak adlandırılırlar [5].
- c) Multifonksiyonel reaktif boyarmaddeler; boyarmadde molekülünde birden fazla reaktif gruba sahiptir. Birden fazla kovalent bağ kurabildiği için renk yoğunluğu diğer türlere göre daha fazladır [5,6].

2.1.3.2. Reaktif Boyarmaddelerin Sınıflandırılması

Tez çalışmasında kullanılan Remazol Black B boyarmaddesi aynı zamanda Reactive Black 5, Cavalite Black B ya da Celmazol Black B vb. olarak da adlandırılmaktadır [7]. Yapısında azo bazlı kromofor grup olarak iki adet vinil sülfon bulunduran bu boyarmadde azo reaktif boyarmadde sınıfında yer alır [8]. Bu boyarmadde sınıfı -N=N- bağı ile karakterize edilir ve parlak renge sahiptir [9]. Remazol Black B (RBB) boyarmaddesinin Şekil 2.2.'de moleküler yapısı, Çizelge 2.1.'de ise özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Remazol Black B Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı [8]

Çizelge 2.1. Remazol Black B Boyarmaddesinin Özellikleri [10]

Molekül Formülü	C ₂₆ H ₂₁ N ₅ Na ₄ O ₁₉ S ₆
Renk İndeksi	20505
Molekül Ağırlığı	991.82 g/mol
λ_{max}	597 nm

2.2. Ağır Metaller

Ağır metaller, genellikle atom numarası 20'den büyük ve atomik yoğunluğu 5 g/cm³ üzerinde olan elementler olarak tanımlanırlar. Bu elementler metalik özellikler gösterirler. Esansiyel olanlar ve esansiyel olmayan ağır metaller olarak iki gruba ayrılırlar. Esansiyel ağır metaller farklı organların büyümesi, metabolizması ve gelişimi gibi temel süreçleri yürütmek için canlı organizmalar tarafından gerekli olanlardır. Cu, Fe, Mn, Co, Zn ve Ni gibi esansiyel metaller, enzimler ve diğer proteinler için yapısal ve işlevsel olarak hayati öneme sahip kofaktörler oluşturdukları için bitkilerin ihtiyaç duyduğu metallerdir. Bunlar genellikle 10-15 ppm seviyesinde eser miktarlarda gereklidir ve mikro besinler olarak bilinirler. Cd, Pb, Hg, Cr ve Al gibi esansiyel olmayan ağır metaller ise, bitkiler tarafından eser miktarda bile olsa metabolik süreçlerin hiçbiri için gerekli değildir [11]. Organik kirleticilerin aksine, ağır metaller biyolojik olarak parçalanamaz ve canlılarda birikme eğilimindedir. Ağır metallerin aslında, çoğunun potansiyel kanserojen olduğu bilinmektedir. Ağır metallere uzun süreli ve sürekli maruz kalınması nedeniyle, canlılarda önemli sağlık sorunları oluşturduğu bilinmektedir. Ağır metaller bozunmaz ve biyolojik olarak birikme eğiliminde olduklarından, çevreden verimli bir şekilde uzaklaştırılmaları için uygun yöntemlerin oluşturulması gerekir [12].

2.2.1. Krom(VI) İyonları

Tez çalışmasında kullanılan ve ağır bir metal olan krom yer kabuğunda yaygın olarak bulunmaktadır. Farklı oksidasyon durumlarına bağlı olarak -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5 ve +6 değerlikli olabilir. Bu iyonlardan en çok +3 ve +6 oksidasyon durumları karardır [13]. Üç değerlikli krom, krom(III) iyonları olarak adlandırılır ve vücut için gerekli bir besin elementidir. Pek çok sebze, meyve, et, tahıl ve mayada bulunur. Altı değerlikli krom içeren krom bileşikleri, galvanik kaplama, paslanmaz çelik üretimi, deri tabaklama, tekstil imalatı ve ahşap korumada yaygın olarak kullanılmaktadır [14]. Krom(VI) iyonları, besin

zincirine farklı yollardan girme eğiliminde olan, biyolojik olarak parçalanamayan bir kirleticidir. Yüksek toksisitesi nedeniyle tehlikeli kimyasallar listesinde ilk 20 kirletici arasında yer almaktadır. Krom(VI) iyonlarına izin verilen düzeyin (WHO tarafından tavsiye edilen 0,05 mg/L) üzerinde kısa süreli maruz kalma, ülserasyon, mide ve cilt tahrişleri gibi zararlı sağlık etkilerine neden olabilirken, uzun süreli maruz kalma sinir dokusu hasarına ve dermatite neden olmaktadır. Krom(VI) iyonlarının çok daha yüksek dozları ise böbrek dolaşımına ve karaciğere zarar vererek ölümlere neden olur [13].

2.3. Atıksular

Resmî gazetede, “evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sular” atıksular olarak tanımlanmıştır [15].

2.3.1. Atıksuların Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması

Atıksulardaki kirliliği oluşturan başlıca kirleticiler; organik bileşikler (proteinler, karbonhidratlar ve yağlar), deterjanlar, fenoller, zirai ilaçlar (pestisitler) gibi sentetik organik maddeler, ağır metal iyonları, hidrojen sülfür ve metan gibi zehirli ve tehlikeli gazlar ve yüksek oranda virüs, bakteri gibi mikroorganizmalar olabilir [16,17].

Boyarmaddeler, ağır metal iyonları, yüzey aktif maddeler, kişisel bakım ürünleri, böcek ilaçları ve ilaçlar gibi giderimi zor toksik kirleticiler içeren tarımsal, endüstriyel ve belediye kaynaklarından su akıntılarına karışan büyük atıksular nedeniyle dünyanın su kaynakları kirlenmiştir. Su kirliliği ve arıtımı, küresel olarak artan bir sorun olarak ortaya çıkmıştır.

Son yıllarda atıksu arıtımındaki zorlukların üstesinden gelmek için olağanüstü çabalar sarf edilmektedir. Klasik biyolojik arıtım yöntemlerinin yanı sıra adsorpsiyon, iyon değiştirme, membran ayırma, ileri oksidasyon gibi pek çok yeni yöntem de atıksu arıtımında kullanım alanı bulmaktadır [18].

Atıksular oluştukları kaynaklara göre evsel ya da endüstriyel olarak ayrılabilir. Endüstriyel atıksular; ticari veya endüstriyel faaliyetlerin sonucunda oluşmuş, evsel

kaynaklı atıksular ve yağmur sularının dışında kalan atıksulardır. Evsel atıksular ise, evsel faaliyetler sonucunda, günlük yaşam faaliyetlerinin olduğu okul, hastane, otel ve benzeri sektörlerin de kullanımı sonucu oluşan atıksulardır [15].

2.3.2. Atıksu Parametreleri

2.3.2.1. Fiziksel Parametreler

- a) **Katılar:** Atıksularda bulunan katı formundaki kirleticiler doğal kaynaklı ya da insan yapımı olabilir. Bunlar genel olarak alüvyon, kum, çakıl ve kil gibi inorganik maddeleri, bitki lifleri ve mikroorganizmalar gibi organik maddeleri içerir. Boyutlarına ve konumlarına göre atıksudaki katılar, askıda, çökebilir, koloidal veya çözünmüş olarak sınıflandırılabilir. Atıksudaki katılar ayrıca uçucu veya uçucu olmayan olarak da karakterize edilirler. Farklı parçacık boyutlarına göre atıksudaki katıları analiz etmek için çökeltme, filtrasyon ve buharlaştırma gibi farklı analitik yöntemler mevcuttur.
- b) **Bulanıklık:** Suyun berraklığı genellikle bulanıklığı ile ölçülür. Bulanıklık, ışığın sudaki askıda katı madde tarafından soğurulma veya saçılma derecesinin bir ölçüsüdür, ancak askıda katı maddelerin doğrudan kantitatif bir ölçümü değildir. Askıdaki katı maddelerin hem boyutu hem de yüzey özellikleri soğurulmayı ve saçılmayı etkiler.
- c) **Renk:** Renge göre suyun kalitesi değerlendirilebilir. Saf su renksizdir. Atıksu arıtımında, renk mutlak bir problem değildir, bunun yerine atıksuyun durumunun bir göstergesidir. Atıksuyun rengi ve kokusu niteliksel olarak atıksuyun yaşını ifade eder. Taze atıksu açık kahverengimsi gri renktedir. Toplama sistemindeki seyahat süresi arttıkça (akış giderek daha septik hale gelir) ve daha fazla anaerobik koşullar geliştikçe atıksuyun rengi sırayla griden koyu griye ve nihayetinde siyaha dönüşür.
- d) **Sıcaklık:** Sıcaklık, kimyasal reaksiyonların reaksiyon hız sabitlerini ve su yaşamında oksijen gibi temel gazların sudaki çözünürlüğünü doğrudan etkilemesinden dolayı çok önemli bir parametredir. Evsel atıksuyun sıcaklığı, evlerden sıcak su eklenmesi nedeniyle su kaynağı sıcaklığından daha yüksektir. Coğrafi konuma bağlı olarak, atıksuyun yıllık ortalama sıcaklığı yaklaşık 10 ila 21,1 ° C arasında değişmektedir. Bir

atıksu numunesinin sıcaklığı, sıradan cıvalı veya dijital termometre yardımıyla ölçülebilir.

- e) **Atıksuyun Kokusu:** Atıksulardaki kokular, özellikle bir atıksu arıtma tesisine yakın yerlerde yaşayanlar için büyük endişe kaynağıdır. Bu kokular, organik maddenin ayrışmasıyla oluşan gazlar veya atıksuya eklenen maddeler tarafından üretilir. Taze atıksudan gelen koku, anaerobik ayrışmaya uğramış atıksudan gelen kokudan daha az sakıncalıdır. Bayat veya septik atıksuyun en karakteristik kokusu, sülfatı sülfite indirgeyen anaerobik mikroorganizmalar tarafından üretilen hidrojen sülfürdür (H_2S). Atıksudan havaya yayılan hidrojen sülfür, amonyak, merkaptanlar vb. gibi kötü kokulu gazların konsantrasyonu piyasada bulunan herhangi bir gaz ölçer ile ölçülebilir.

2.3.2.2. Kimyasal Parametreler

- a) **Alkalinite:** Alkalinite, suyun asitleri nötralize etme kapasitesidir. Kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum veya amonyak gibi elementlerin hidroksitlerinin, karbonatlarının ve bikarbonatlarının varlığından kaynaklanır. Atıksu normalde alkalidir ve alkalinitesini su kaynağından, yeraltı suyundan ve evsel kullanım sırasında eklenen malzemelerden alır. Alkalinite, suyun tampon kapasitesini gösterdiği için atıksu arıtımında önemli bir rol oynar ve atıksuyun arıtılmasından sorumlu olan aktif çamurda bulunan mikropların büyümesini ve aktivitesini etkiler. Ayrıca, korozyon ve koku kontrol süreçlerinin tasarlanması ve uygulanması için tahmin edilmesi gereken önemli bir parametredir.
- b) **pH:** Hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif loguna pH denir. Hidrojen iyonu konsantrasyonu hem doğal su hem de atıksu için önemli bir kalite parametresidir. Organizmaları korumak için atıksuyun pH'ının 6 ile 9 arasında kalması gerekir. Asitler ve pH'ı değiştiren diğer maddeler arıtma işlemlerini etkisiz hale getirebilir.
- c) **Çözünmüş Oksijen (ÇO):** Çözünmüş Oksijen (ÇO), suda çözünmüş moleküler oksijen derişimidir. Aerobik mikroorganizmaların solunumu için gereklidir. Bununla birlikte, oksijen suda çok az çözünür. Çözeltide bulunabilen gerçek oksijen miktarı (diğer gazlar da) aşağıdakiler tarafından belirlenir;

- Gazın çözünürlüğü
- Atmosferdeki gazın kısmi basıncı
- Sıcaklık
- Sudaki safsızlıkların konsantrasyonu (örn. tuzluluk, askıda katı maddeler, vb.)

ÇO derişimi artan su sıcaklığı ile azalır. Yani soğuk veya soğuk bir su, ılık sudan çok daha fazla ÇO içerebilir. Sonuç olarak, akarsu ve göllerdeki su yaşamı yaz aylarında diğer mevsimlere göre daha fazla oksijen stresi altındadır.

d) Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, suda bulunan organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından okside edilmesi için gereken oksijen miktarının derişimidir. BOİ, sudaki organik kirlilik derişiminin dolaylı bir ölçüsüdür.

e) Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Bir su numunesinde bulunan toplam organik maddeyi güçlü bir kimyasal oksitleyici ajan aracılığıyla oksitlemek için gereken eşdeğer oksijen derişimine kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) denir. KOİ değerleri, biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak parçalanamayan maddelerin yarattığı oksijen talebini içerir.

f) Toplam Organik Karbon (TOK): Suda bulunan organik maddeyi ölçmenin başka bir yolu da özellikle küçük organik madde derişimleri için geçerli olan TOK testidir. Organik moleküllerde bağlı karbonun atıksu içeriği TOK'dur. Organik karbon, inorganik olarak kabul edilen birkaç karbon türü (karbon dioksit, hidrojen karbonat, karbonat, siyanür ve atıksularda yaygın olarak bulunmayan diğer bazı örnekler) dışında hemen hemen tüm karbon bileşiklerini içerir. İnorganik moleküllerde veya iyonlarda bağlı karbon, toplam inorganik karbon (TİK) olarak adlandırılır. TOK ve TİK toplamı, toplam karbonu (TK) verir.

g) Klorür: Evsel atıksu, zengin bir klorür kaynağıdır çünkü insan dışkı, özellikle idrar, klorür açısından zengindir. Büyük bir kirlilik tehdidi oluşturmaz. Ancak, arıtılmış atıksu sulama için kullanılıyorsa, klorür iyonu konsantrasyonu dikkate alınması

gereken önemli bir faktördür. Yüksek klorür konsantrasyonu, bitkilerin büyümesini etkileyen bitkiler ve toprak arasındaki ozmotik dengeyi bozar.

- h) Azot:** Atıksuda sıklıkla analiz edilen çevresel önemi olan azot bileşikleri amonyak, nitrit, nitrat ve Kjeldahl azotudur. Yüzey suyuna boşaltılan amonyak, nitrifikasyon bakterileri mevcutsa sulu ortamda nitrifiye edilebilir. Nitrifikasyon bakterileri bu işlem için çözülmüş oksijeni tüketir böylece balıkların kitlesel olarak ölümü gerçekleşir. Ayrıca yüzey suyunun pH'ı alkalın aralığında ise balıklar için toksik olan NH_3 oluşur.
- i) Fosfor:** Fosfor, alglerin ve diğer biyolojik organizmaların büyümesi için gereklidir. Atıksu deşarjında bulunan fosfor bileşiklerinin miktarı, yüzey suyunda meydana gelen zararlı alg patlamalarını önlemek için kontrol edilmelidir.
- j) Yağ ve Gres:** Yağlar, katı yağlar, mumlar ve yağ asitleri, evsel atıksularda bu kategoride yer alan başlıca bileşenlerdir. Atıksuda önemli miktarda yağ ve gres bulunması atıkların boru hatları ile taşınmasını engellemektedir. Aktif çamur tesislerinin havalandırma havuzlarında atıkların biyolojik oksidasyonuna müdahale eden ve düşük kaliteli bir çökeltme çamuru üreten pisliğe neden olur.
- k) Gazlar:** Atıksuda yaygın olarak bulunan gazlar arasında azot (N_2), oksijen (O_2), karbon dioksit (CO_2), hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (NH_3) ve metan (CH_4) bulunur. N_2 , O_2 , CO_2 atmosferdeki yaygın gazlardır ve havaya maruz kalan tüm sularda bulunur. H_2S , NH_3 , CH_4 ise atıksuda bulunan organik maddenin ayrışmasıyla oluşur.
- l) Kükürt:** Sülfat iyonları çoğu su kaynağında doğal olarak bulunur ve atıksuda da yer alır. Sülfat biyolojik olarak anaerobik koşullar altında sülfite indirgenir, bu da hidrojen ile birleşerek hidrojen sülfür (H_2S) oluşturabilir. Kanalizasyonda biriken H_2S , kanalizasyon boruları için aşındırıcı olan sülfürik aside oksitlenebilir.

m) Absorblanabilir Organik Halojenler (AOX): Absorblanabilir Organik Halojenler (AOX), aktif karbon tarafından adsorbe edilebilen organikleri içeren klor, brom veya iyot atomlarından oluşan organik toplam parametredir [19].

2.3.2.3. Biyolojik Parametreler

- a) Bakteriler:** Bakteriler, suyun pH'ı, besin kaynağı ve sıcaklığı uygunsa ise atıksudaki besin bileşenlerini tüketebilen ve hızlı oranlarda üreyebilen tek hücreli prokaryotik canlılardır. Çoğu durumda, bakteriler daha soğuk suda daha yavaş ürerler. Kolera, tularemi ve tifo gibi sudaki yüksek miktardaki bakterilerin neden olabileceği birçok zararlı su kaynaklı hastalık vardır.
- b) Algler:** Algler, fotosentetik pigmentleri içeren ökaryotik canlılardır. İnorganik maddeyi, güneşten gelen enerji ile organik maddeye dönüştürerek kendilerini destekleyebilirler. Bu süreç devam ederken algler karbondioksit tüketir ve oksijen üretirler. Algler, stabilizasyon havuzlarının kullanıldığı atıksu arıtma işlemlerinde önemlidir. Alglerin sularda neden olduğu ana sorunlar arasında yaydığı garip kokular ve suya verdiği tat problemleri yer alır. Bazı alg türleri ciddi halk sağlığı riskleri oluşturabilirler. Örneğin, mavi-yeşil alglerin sığırları öldürmesi mümkündür.
- c) Virüsler:** Atıksuda yer alan virüsler boyutları çok küçük olduklarından filtrelerin çoğundan geçebilirler. Bazı su kaynaklı virüsler, hepatit ve benzeri sağlık sorunlarına neden olabilir. Su arıtma tesislerinin, dezenfeksiyon işlemi sırasında virüsleri ortadan kaldıracak proseslere/ekipmanlara sahip olması gerekmektedir [20].

2.3.3. Atıksuların Arıtım Yöntemleri

2.3.3.1. Ön Arıtma

Arıtma tesislerine giren atıksuda, tahta parçaları, paçavralar, plastikler ve diğer döküntülerin yanı sıra evsel, endüstriyel, ticari ve kurumsal su kullanımından kaynaklanan organik maddelere ek olarak akışta kum, yumurta kabukları ve diğer kaba inorganik maddeler bulunur.

Ön arıtma, atıksu akışında bulunan büyük katı parçaların ve ağır inorganik maddelerin uzaklaştırılmasını sağlar. İlk arıtım basamağında atıksu akış yoluna açıyla yerleştirilmiş paralel çubuklardan veya kademeli plakalardan oluşan mekanik elekler ve ızgaralar kullanılır. Bu atıkların giderilmesi, arıtma tesisinin borularını ve aşağı akış ekipmanını tıkanmaya ve/veya hasara karşı korur. Bu işlemlerin ardından atıksu akışı, akış hızını saniyede 0,3 metreye düşürmek için tasarlanmış havalandırılmalı kanallara geçer. Burada grit adı verilen ağır inorganik maddeler çökeltilerek atıksudan ayrılır. Gritteki kum çok aşındırıcıdır ve arıtma sürecinin erken safhalarında uzaklaştırılması pompalardaki ve diğer ekipmanlardaki aşınmayı azaltır.

2.3.3.2. Birincil Arıtma

Büyük katı parçaları ve kumu uzaklaştırılan ve hacimce %99,9'dan fazla su ve %0,1'den az katı madde (çözünmüş, askıda ve çökebilir) içeren atıksu, birincil arıtım için çöktürme tanklarına yollanır ve çökebilir katıların önemli bir kısmının ayrılması ve uzaklaştırılması burada gerçekleştirilir. Bu tanklarda atıksuyun akış hızı düşürülerek 2 ila 4 saat arasında hidrolik alıkonma süreleri sağlanır. Çöktürme tanklarının tabanında çökebilir katıların %40- %50'si çökerek birincil çamuru oluşturur. Atıksudaki ağırlıklı olarak yağlar ve greslerden oluşan hafif ve yüzen bileşenler tank yüzeyinden sıyrılır. Çöktürme havuzlarından çıkan ve çökelemeyen çözünmüş ve askıda katı maddeleri içeren atıksu akımı ikincil arıtıma tabi tutulmak üzere biyolojik arıtıma yönlendirilir.

2.3.3.3. Aerobik Arıtım (Aktif Çamur Prosesi)

Atıksuyun BOİ değerine bağlı olarak atıksu, içerdiği çözünmüş ve kolloidal organik katıların aktif çamur bakterileri tarafından besin kaynağı olarak kullanılması için havalandırılmalı ve mekanik yüzey karıştırılmalı aktif çamur tanklarına ikincil arıtım için gönderilir. Bu proseste atıksuyun organik bileşenleri mikroorganizmalar tarafından tüketilir, karbondioksit ve su oluşumunun yanı sıra mikroorganizma kütlesi de hızla artar ve sonuçta bu biyokütle ile kolloidal bileşenlerin bir kısmının çökmesiyle biyolojik bir çamur oluşur. İkincil arıtmadan çıkan su içerdiği diğer safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla kimyasal arıtıma yollanır. Aktif çamur prosesinin birçok varyasyonu veya modifikasyonu vardır, ancak temel çalışma prensipleri hepsi için geçerlidir.

2.3.3.4. Anaerobik Arıtım

Atıksuyun BOİ değeri çok yüksekse birincil arıtmadan gelen atıksu anaerobik koşullarda çalışan biyolojik arıtım tankına yollarır. Atıksudaki çözülmüş organik kirleticileri anaerobik koşullarda çalışan bakteriler besin kaynağı olarak kullanarak karbondioksit ve metan gazına dönüştürür. Bu gaz hacimce %35 karbondioksit ve %65 metandan oluşur ve ısı ve enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Anaerobik arıtım 35-37 °C sıcaklıkta gerçekleşir ve tanktaki alıkonma süresi 15 ila 28 gün arasında değişir.

2.3.3.5. Üçüncül Arıtım (Kimyasal Arıtma)

Birincil ve ikincil arıtma işlemleri çoğu atıksu kirleticisinin uzaklaştırılmasında etkin olmasına karşın, bazı kirleticilerin uzaklaştırılması için özel üçüncül arıtım yöntemleri gerekmektedir [21].

Kimyasal Çökeltme: Atıksudan giderilemeyen metal iyonları gibi bazı çözülmüş inorganik bileşenler bir asit veya alkali eklenerek, katı formunda çökeltilerek giderilebilir.

Nötralizasyon: pH'ı 7 civarında tutmak için atıksuyun pH'ının ölçülmesi ve kontrol edilmesi gerekmektedir. Asidik pHlarda soda külü olarak da bilinen kireç (CaO), kalsiyum hidroksit (Ca (OH)₂), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum karbonat (Na₂CO₃), bazik pHlarda ise sülfürik asit (H₂SO₄) ve karbonik asit (H₂CO₃), pH'ı ayarlamak için en yaygın kullanılan kimyasallardır.

Adsorpsiyon: Adsorpsiyon, çözümlü moleküllerin (adsorban) katı bir substratın (adsorbent) yüzeyine bağlanarak uzaklaştırıldığı fiziksel bir süreçtir. Adsorbentlerin son derece yüksek bir spesifik yüzey alanına sahip olmaları gerekmektedir. Adsorbentlere örnek olarak aktif karbon, aktif alümina, kil kolloidleri ve reçineler verilebilir. Atıksudan deterjanlar ve toksik bileşikler de dahil olmak üzere pek çok organik bileşen adsorpsiyonla giderilebilir. En yaygın kullanılan adsorbent, biyokütlenin pirolitik karbonizasyonu ile üretilen aktif karbondur.

Dezenfeksiyon: Atıksuyun dezenfeksiyonu, üçüncül arıtma sürecinin son arıtma adımıdır. Dezenfeksiyon, mikrop, virüs ve protozoan gibi patojenleri yok etmek veya en azından etkisiz hale getirmek için atıksuların seçilen bir dezenfektanla kimyasal arıtma işlemidir. Böylece halk sağlığının korunması ve atıksu deşarj standartlarının karşılanması mümkün olacaktır. İdeal dezenfektan bakteriyel toksisiteye sahip olmalı, ucuz olmalı ve kullanımı tehlikeli olmamalıdır. Kimyasal dezenfeksiyon ajanları arasında klor, ozon, ultraviyole radyasyon, klor dioksit ve brom sayılabilir [22].

2.4. Boyarmadde İçeren Atıksular

Tekstil, kâğıt baskı, deri gibi endüstrilerin boyarmadde içeren atıksuları, normalden yüksek kimyasal ve biyolojik oksijen talepleri (KOİ ve BOİ), askıda katı maddeleri, boya ara maddeleri veya kalıntıları ve prosesten gelen yardımcı kimyasalları nedeniyle yoğun renkleri ile karakterize edilir. Çeşitli toksik kimyasalları içeren, toksik kanserojen parçalanma ürünlerinin oluşumuna neden olan ve ışığın suya nüfuz etmesini engelleyen bu atıksuların belediye atıksu tesislerine veya çevreye doğrudan boşaltılması, sağlık açısından oldukça risklidir.

Karmaşık aromatik yapılara sahip boyarmaddeler, aktif çamur sistemlerindeki tipik mikrobiyal popülasyonlar tarafından biyolojik bozunmaya dirençli olduğundan ve hatta mevcut birçok mikrobiyal tür için toksik olabileceğinden, boyarmadde içeren atıksuların arıtma tesislerine deşarjı sakıncalıdır. Bu tür atıksular, uygun şekilde arıtılmazsa alıcı sular için ciddi bir tehdit oluşturabilir. Bu endişeler göz önüne alındığında, boyarmadde içeren atıksu oluşturan endüstrilerin öncelikle deşarjlarından kaynaklanan rengi azaltmaları gerekmektedir.

2.4.1. Remazol Black B İçeren Atıksular

Remazol Black B tekstil, boyama, kâğıt baskı, renkli fotoğrafçılık, gıda, kozmetik ve diğer endüstrilerde yaygın olarak kullanılan monoazo bir boyarmadde [23]. Boyarmaddenin kompleks aromatik süstitüe yapısı konjuge bir sistem oluşturur ve yoğun renk ve yüksek suda çözünürlük sağlar. Bu boyarmadde, doğal boyarmaddelere göre sentez kolaylığı ve ucuzluğu nedeniyle endüstride giderek daha fazla tercih

edilmektedir. Bu boya yapısında bulunan azo bağlarından dolayı asidik ve alkali koşullarda çok kararlıdır, sıcaklığa ve ışığa dayanıklıdır ve kolayca bozunmazlar. Bununla birlikte, çoğu azo boyası gibi toksik, kanserojen ve mutajenik olan bu boyarmadde tekstil atıklarıyla kirlenen yer altı ve yüzey sularının mutajenik aktivitesine katkıda bulunur, yüksek seviyelerde kalıcılık ve birikim potansiyeline sahiptir [30]. Yüzey sularına deşarjı ayrıca su kütlelerine ışık geçişini ve oksijen transferini engeller ve gaz çözünürlüğünün düşmesine neden olur.

Boyama proseslerinde kullanılan Remazol Black B boyarmaddesinin yaklaşık %15'inin atıksular yoluyla çevreye salındığı tahmin edilmektedir. Remazol Black B bu atıksularda anyonik formda yer almaktadır. Bu nedenle bu atıksulardan bu boyarmaddenin giderimi büyük önem taşımaktadır [23].

2.4.2. Boyarmadde İçeren Atıksuların Arıtılması

Boyarmadde içeren atıksuların arıtılmasında çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler (koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon, iyon değiştirme, ileri oksidasyon) ve ayrıca biyolojik işlemler dahil olmak üzere geleneksel arıtma işlemlerinin çeşitli kombinasyonları kullanılmaktadır [24]. Tüm bu yöntemler, atıksuda bulunan boyarmaddelerin türüne bağlı olarak farklı KOİ ve renk giderim özelliklerine sahiptir [25].

Koagülasyon-Flokülasyon: Boyarmadde içeren atıksuların arıtımında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Prosesin amacı, pıhtılaştırıcı maddeler kullanarak atıksularda kolloid halde bulunan boyarmadde moleküllerini destabilize etmek ve daha sonra sentetik veya doğal polimerler ile küçük partiküllerin agregasyonunu oluşturmaktır. Böylelikle daha büyük kümeler sedimentasyon gibi ayırma işlemleriyle kolayca uzaklaştırılabilir. İşlemden önce çoğunlukla alüminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$), alüminyum klorür ($Al_2(Cl)_3$) ve demir sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$) gibi inorganik pıhtılaştırıcılar kullanılmaktadır.

Adsorpsiyon: Çözünmüş/çözünmemiş organik ve inorganik kirleticileri etkin bir şekilde ayırma yeteneği ve kolay kullanımı nedeniyle boyarmadde içeren atıksuların arıtımında en verimli proseslerden biridir. Adsorpsiyonda düşük maliyetli, yüksek verimli, çevre

dostu biyolojik kökenli adsorbentler (biyosorbentler) boyarmaddelerin gideriminde (biyosorpsiyon) başarıyla kullanılmaktadır [40].

İyon Değişirme: İyon değişimi, bir katı (iyon değiştirici malzeme) üzerinde yer alan yüklü iyonların temas ettiği sulu çözeltideki aynı yüklü iyonlarla yer değiştirmesine dayanan, katının yapısında kalıcı bir değişiklik oluşturmayan tersinir bir prosestir. Boyarmadde içeren atıksu, istenmeyen boyarmadde iyonları gibi iyonları ve bunların uzaklaştırılmasını gerektiren bir çözeltidir ve iyon değiştiricilerle iyon değişimi sağlanarak bu atıksu istenmeyen iyonlarından arındırılabilir. Zayıf asit katyon değiştirici reçineler pozitif yüklü iyonların (katyonların) değişiminde ve zayıf baz anyon reçineleri negatif yüklü iyonların (anyonların) değişiminde kullanılır.

Biyolojik Yöntemler: Aerobik ve anaerobik biyolojik prosesler ve bunların kombinasyonları, boyarmadde içeren atıksularının arıtılmasında etkin bir şekilde uygulanmaktadır [26]. Bazı azo boyarmaddelerin özel bazı aerobik ve anaerobik bakteri ve mantarlarla dönüştürüldüğü ve parçalandığı çalışmalarda mevcuttur [25].

2.5. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksular

Kaplama ve galvanik kaplama endüstrileri, pil endüstrisi, pestisit endüstrisi, madencilik endüstrisi, suni ipek endüstrisi, metal durulama işlemleri, tabaklama endüstrisi, tekstil endüstrisi, petrokimya endüstrisi, kâğıt endüstrisi ve elektroliz uygulamaları vb. atıksularında kurşun (Pb), çinko (Zn), civa (Hg), nikel (Ni), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), krom (Cr) ve arsenik (As) gibi ağır metal iyonlarına rastlanmaktadır. Atıksulardaki ağır metallerin varlığı, endüstri ve insan faaliyetlerinin büyümesiyle birlikte artmaktadır.

Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş atıksular çevreye karışarak insan sağlığını ve ekosistemi tehdit etmektedir. Ağır metal iyonları biyolojik olarak parçalanamazlar ve kanserojen olabilirler. [27]

2.5.1. Krom (VI) İyonu İçeren Atıksular

Krom hem insanlar hem de çevre için toksik etkileri olan ağır metallere biridir ve genellikle madencilik, tabaklama, galvanik kaplama, boya ve tekstil endüstrileri ile ahşap koruyucular, endüstriyel inorganik kimyasallar ve pigment üreten fabrikaların atıksularında üç değerlikli ve/veya altı değerlikli formlarında bulunmaktadır. Eser miktarda krom(III) memelilerde şeker, protein ve yağ metabolizması için gerekli bir mikro besindir, ancak krom(VI) birincil kirleticidir ve karaciğer kanserine neden olabilir. Bu nedenle krom(VI) iyonlarını içeren endüstriyel atıksuların çevreye verilmeden önce arıtılması gerekmektedir [28].

2.5.2. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksuların Arıtım Yöntemleri

Atıksulardan ağır metal iyonlarının gideriminde klasik kimyasal çöktürme, koagülasyon-flokülasyon proseslerinin yanı sıra son yıllarda adsorpsiyon, iyon değiştirme, membran filtrasyonu gibi yöntemler de başarıyla kullanılmaktadır [27].

Kimyasal Çöktürme: Basit uygulanabilirliği ve ucuz olması nedeniyle atıksulardan ağır metal iyonlarının gideriminde en yaygın kullanılan proseslerden biridir. Çöktürme proseslerinde, atıksuya eklenen kimyasallarla ağır metal iyonlarının reaksiyonu sonucu çöktürme sağlanır. Geleneksel kimyasal çöktürme işlemleri hidrosit çöktürme ve sülfid çöktürme olarak ikiye ayrılır [29].

Hidrosit çöktürmede atıksudaki ağır metal iyonları, suya sodyum hidrosit eklenerek çözünmeyen metal hidrositlerine dönüştürülür. Hidrosit çöktürme ile metal iyonlarının gideriminin amacı, suyun pH'ını ayarlayarak çöktürmenin sağlanmasıdır [30].

Sülfid çöktürmede atıksudaki ağır metal iyonları suya sodyum bisülfid eklenerek çözünmeyen metal bisülfidlerine dönüştürülür. Çöktürmede sodyum bisülfid kullanmanın avantajlarından biri, metal sülfid çökeltilerinin çözünürlüklerinin hidrosit çökeltilerinden çok daha düşük olması ve bir diğeri de daha geniş bir pH aralığında prosesin uygulanabilir olmasıdır [29].

Koagülasyon ve Flokülasyon: Çökelemeyen kolloid formdaki ağır metal iyonlarını belli koagülantlarla çöktürerek atıksulardan uzaklaştırmak için kullanılır. Bu işlemde en çok kullanılan koagülantlar alüminyum sülfat, demir sülfat ve demir klorürdür [29].

Adsorpsiyon: Adsorpsiyon/biyosorpsiyon atıksulardan ağır metal iyonlarının gideriminde etkili ve ekonomik bir yöntem olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır. Adsorpsiyon işlemi, tasarım ve çalıştırmada esneklik sunar ve çoğu durumda yüksek kaliteli arıtılmış atıksu üretir. Ek olarak, adsorpsiyon bazen tersine çevrilebilir olduğundan, adsorbentler uygun desorpsiyon işlemiyle yeniden kullanılabilir.

İyon Değişirme: İyon değişirme prosesleri, yüksek arıtma kapasitesi, hızlı giderim ve yüksek giderim verimliliği gibi birçok avantajı nedeniyle atıksulardan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. İyon değişirme işlemlerinde, sentetik reçineler sıklıkla tercih edilmektedir [30].

Membran Filtrasyonu: Membranlar ve filtrasyon teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak elde edilen yüksek verimlilikler, düşük yer kaplamaları ve basit tasarımları atıksulardan ağır metal iyonlarının gideriminde avantaj sağlamaktadır. Membran filtrasyonu ile ilgili prosesler ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz olarak ayrılmıştır.

Ultrafiltrasyon (UF), atıksudan çözünmüş ve kolloidal formdaki ağır metal iyonlarını uzaklaştırmak için düşük transmembran basınçlarla karşılaşıldığında kullanılır. Bu tür ultrafiltrasyon membranlarında yer alan gözenekler metal iyonlarından (hidratlı iyonlar olarak) daha büyüktür ve düşük molekül ağırlıklı metal iyon kompleksleri membrandan engellenmeden geçebilir.

Ters Osmoz (RO), atıksudan sadece sıvının geçişine izin vererek kirleticiyi ayıran yarı geçirgen bir membranın kullanıldığı bir sistemdir. Yöntem, geniş kirletici türü

yelpazesini ortadan kaldırma olanağına sahiptir ve tuzdan arındırma işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Nanofiltrasyon (NF), ultrafiltrasyon ve ters osmozun bir kombinasyonudur ve nikel, krom, bakır ve arsenik gibi ağır metal iyonlarının atıksudan uzaklaştırılmasında kullanıldığında her iki tekniğin avantajlarını içerir.

2.6. Boyarmadde ve Ağır Metal Kirliliğini Birlikte İçeren Atıksular

İlaç, kâğıt ve kâğıt hamuru, tekstil ve boyama endüstrileri, gıda işleme, deri tabaklama, galvanik kaplama ve madencilik endüstrilerinden çıkan atıksular boyarmaddeler ve ağır metal iyonları gibi kirleticileri birlikte içermekte ve bu kirleticileri içeren atıksuların doğrudan deşarjı nedeniyle alıcı ortam suları kirlenmektedir [31]. Tekstil ve deri endüstrisi atıksularında ise istenmeyen derişimlerde Remazol Black B ve krom(VI) iyonları yer almaktadır.

Canlılarda biriken, kalıcı, zehirli ve kanserojen etkilere sahip ağır metal iyonları ve boyarmadde kirleticilerinin atıksularda birlikte yer alması olumsuz çevresel sonuçlar oluşturacaktır. Boyarmaddelerin ve ağır metal iyonlarının atıksudaki olumsuz etkilerinden kaçınmak için, optimize edilmiş maliyete sahip, karmaşık olmayan, verimli ve çevre dostu olan proseslerin geliştirilmesi gerekmektedir [32].

2.6.1. Boyarmadde ve Ağır Metal Kirliliğini Birlikte İçeren Atıksuların Arıtım Yöntemleri

Atıksulardan ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin birlikte gideriminde çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemler uygulanmaktadır.

Kimyasal Çöktürme ağır metal iyonlarını ve boyarmadde iyonlarını birlikte içeren atıksuların arıtılmasında en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Redokslu kimyasal çöktürme tepkimeleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Koagülasyon/flokülasyon yöntemiyle de atıksuda kolloid çökeltmeyen formda birlikte bulunan ağır metal ve boyarmadde iyonlarının çöktürülerek giderilmesi sağlanabilir. Bu

yöntemde organik ve inorganik kirleticileri çöktürmede koagülant olarak etkin şekilde kullanılan metal tuzları (alüminyum sülfat, demir sülfat ve demir klorür) ve çeşitli polimerler atıksularda birlikte bulunan bu iki tür kirleticinin çöktürülmesinde de başarıyla kullanılmaktadır.

Membran Filtrasyonu teknolojileri atıksulardan ağır metal ve boyarmadde iyonlarının birlikte gideriminde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu yöntemde kullanılacak membranın boyut aralığının ağır metal ve boyarmadde iyonlarının moleküler boyutlarından daha küçük olmasına dikkat edilmelidir.

İyon değişimi yönteminde atıksudaki ağır metal ve boyarmadde iyonları iyon değiştirici reçine üzerindeki iyonlarla yer değiştirerek atıksudan bu iyonların gideriminde başarıyla kullanılmaktadır. İyon değiştirici reçine daha sonra rejenere edilerek tekrar tekrar kullanılmak üzere geri kazanılabilmektedir.

Biyolojik Yöntemler arasında yer alan biyosorpsiyon verimli, çevre dostu, uygun maliyetli bir yöntem olup, ağır metal iyonlarının ve boyarmadde iyonlarının birlikte giderilmesinde önemli bir uygulama alanı bulmaktadır [32].

2.7. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir molekülün sıvı yığından ilgisi olduğu katı yüzeye transferine yol açan bir yüzey işlemidir. Bu işlem, gaz veya sıvı kütlede bulunan adsorbat adı verilen bir molekül veya iyonun, adsorbent adı verilen katı yüzeyine yapışması şeklinde gerçekleşir. Bu süreç, çevrede doğal olarak gerçekleşir; aynı zamanda birçok endüstriyel uygulamaya da sahiptir. Adsorpsiyon fiziksel kuvvetler ve/veya kimyasal bağlarla oluşabilir. Adsorpsiyon genellikle geri dönüşümlüdür, yani bir molekülün katı yüzeyden ayrılması desorpsiyon olarak adlandırılır [33].

Adsorpsiyon, nispeten daha az maliyetli, enerji verimli, çevre dostu ve ucuz olduğu için atıksulardan ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin uzaklaştırılmasında en çok kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir. Adsorpsiyonun diğer bir önemli avantajı,

tasarım ve çalıştırma kolaylığıdır. Adsorpsiyon, çok düşük derişimlerdeki ağır metal iyonları ve boyarmaddelerin adsorpsiyonunda bile etkilidir [34].

2.7.1. Adsorpsiyon Çeşitleri

2.7.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon (Fizisorpsiyon)

Fiziksel Adsorpsiyon, Van der Waals kuvvetleri sayesinde gerçekleşir; bunlar adsorbent ve adsorbat arasında meydana gelen zayıf elektrostatik etkileşimler nedeniyle oluşan çekici kuvvetlerdir [33]. Van der Waals kuvveti herhangi iki molekül arasında var olduğundan, herhangi bir katı yüzey üzerinde fiziksel adsorpsiyon meydana gelebilir. Fiziksel Adsorpsiyon, moleküller arası kuvvetlerden kaynaklandığından, bağlanma kuvveti zayıftır, adsorpsiyon ısısı düşüktür ve hem adsorpsiyon hem de desorpsiyon daha hızlıdır [33, 35].

2.7.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon (Kemisorpsiyon)

Kimyasal Adsorpsiyon, adsorbatların ve adsorbentlerin atom veya molekülleri arasında elektronların transferini, değişimini veya paylaşılmasını içerir ve adsorbatların adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonu, aralarındaki kimyasal bağların oluşumundan kaynaklanır [35]. Bu adsorpsiyonda entalpideki değişim daha fazladır [33].

2.7.2. Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

2.7.2.1. Çözeltinin Özellikleri

Çözeltinin pH'ı

Çözeltinin pH'ı adsorpsiyonu etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Çözelti pH'ının değişmesi adsorbent yüzeyinin yüzey yükünü değiştirebilir, yüzeyde yeni iyonların oluşumuna neden olabilir ve bunlar da yüzeye adsorplanacak bileşen iyonlarıyla etkileşimi değiştirerek adsorpsiyon hız ve verimini değiştirebilir.

Çözeltinin Sıcaklığı

Fiziksel adsorpsiyon ekzotermik bir proses olup, sıcaklığın artmasıyla artan desorpsiyon nedeniyle adsorplanan bileşen miktarı azalır. Kimyasal adsorpsiyon ise endotermik bir proses olup, sıcaklığın artmasıyla adsorplanan madde miktarı artar.

Çözelti İçeriği

Çözeltide birden fazla adsorplanacak bileşenin aynı anda bulunması, bileşenlerin derişimleri, çözeltide yer alan diğer iyonlar/moleküller adsorpsiyonu etkileyen faktörler arasındadır.

2.7.2.2. Adsorplanan Bileşenin Özellikleri

Adsorplanan bileşen/bileşenlerin moleküler/iyonik yapısı, molekül/iyon büyüklüğü, molekül/iyon şekli, iyon çapı, anyonik veya katyonik yapıda oluşu, liyofobik-hidrofobik (çözücüden-sudan hoşlanmama) karakteristiği gibi özellikleri adsorpsiyon sürecini etkileyen önemli faktörlerden biridir.

2.7.2.3. Adsorbentin Özellikleri

Yüzey Alanı

Adsorpsiyon bir yüzey olayıdır. Adsorbent tanecik boyutunun küçülmesi adsorpsiyonun yüzey alanını arttırır. Bu yüzden daha geniş bir yüzeye sahip olan adsorbent, uygun koşullar altında daha fazla bileşeni yüzeyinde tutabilir ve bu da adsorpsiyon kapasitesinin artmasını sağlar. Adsorbent tanecik boyutunun küçülmesi adsorpsiyonun yüzey alanını arttırır.

Gözenek Yapısı

Adsorbentin gözenek yapısı adsorpsiyon mekanizmasını etkileyen başka bir önemli parametredir. Gözenek yapısı gözenek boyut dağılımı, gözenek büyüklüğü ve toplam adsorbent hacmi içindeki gözenek oranı tarafından belirlenir. IUPAC, adsorbentlerin gözenek boyutlarına göre dört kategori belirlemiştir. Bunlar; yarıçap 25 nm'den büyük olanlar makro gözenek, 1 ile 25 nm arasındakiler mezo gözenek, 0.4 ile 1 nm arasındakiler mikro gözenek ve 0.4 nm'den daha küçük olanlar submikro gözenek şeklinde

isimlendirilir. Makro gözenekler, adsorplanan maddenin moleküllerinin adsorbent içine girmesine izin verirken, mezo gözenekler daha iç bölgelere ilerlemelerini sağlar. Öte yandan, genellikle mikro gözeneklerde moleküllerin tutulması gerçekleşir. Bu gözenek yapıları, adsorpsiyon sürecinde moleküllerin hareketini, tutulumunu ve dağılımını belirlemede önemli bir rol oynar.

Tanecik Boyut Aralığı

Adsorbentler ticari olarak pelet, toz ya da granül şeklinde farklı boyut aralıklarında üretilmektedir. Bu farklı biçimler, adsorpsiyon prosesinde farklı boyut aralıklarındaki moleküllerin/iyonların yüzeye/gözeneklere adsorplanmasında farklı performanslar sunar. Adsorbentin tanecik boyut aralığının azaltılması yüzey alanını artırarak, birim adsorbent yüzeyinde tutulan molekül sayısını artırır.

2.7.3. Adsorpsiyon Mekanizması

Adsorpsiyonun gerçekleşmesinde aşağıdaki basamaklar yer alır.

Aşama 1: Dış Difüzyon: Adsorbatın adsorpsiyon çözeltisinden adsorbenti çevreleyen katı-sıvı sınır tabakasına dış difüzyonla aktarımı (konvektif kütle aktarımı).

Aşama 2: İç difüzyon: Adsorbatın adsorbentin dış yüzeyinden iç gözeneklerine moleküler iç difüzyonla aktarımı.

Aşama 3: Adsorpsiyon: Adsorbatın adsorbentin dış ve iç yüzeylerindeki aktif bölgelere fiziksel ya da kimyasal adsorpsiyonu [34].

2.8. Adsorbentler

Adsorbentler gaz/sıvı karışım içindeki etkileşime girdikleri bileşen/bileşenleri ayırma yetenekleri olan katı malzemelerdir. Geniş bir özgül yüzey alanı, benzersiz gözenek yapısı ve ayarlanabilir gözenek özelliği dahil olmak üzere üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri sayesinde, adsorbentler ayırma/saflaştırma, katalizör destekleri, adsorpsiyon, ilaç salımı, gaz ayırma/depolama, elektrokimyasal çift katmanlı kapasitörler ve yakıt hücreleri gibi birçok uygulamada kullanım alanı bulmaktadır. Etkili bir adsorbent, yüksek mekanik ve kimyasal kararlılığa sahip, uygulanabilir, kolay rejenere edilebilir ve tekrar

kullanılabilen bir malzeme olmalıdır. İkinci olarak, iyi bir adsorbent geniş yüzey alanına ve kütle difüzyonunu kolaylaştıran uygun bir gözenekli yapıya sahip olmalıdır. Üçüncüsü, gözenekli adsorbent yüzeyi, adsorpsiyon seçiciliğini ve kapasitesini belirlemeye yardımcı olan çok sayıda fonksiyonel grup içermelidir.

Adsorbentler 3 grupta sınıflandırılabilir: doğal inorganik, doğal organik ve sentetik adsorbentler [37].

Doğal inorganik adsorbentlere killere, mineraller (örn. hidroksi-apatit, kalsit), uçucu kül, zeolit, kalkerli topraklar, cüruflar, çamurlar, modifiye asfaltit örnek verilebilir.

Doğal organik adsorbentler arasında talaş, hindistancevizi kabuğu, mısır koçanı atığı, çay atığı, pirinç kabukları, ağaç kabuğu, fındık kabukları, yün ve kitosan yer alır.

Sentetik adsorbentler arasında nano boyutlu metal oksitler, sıfır değerlikli demir, modifiye edilmiş nano malzemeler vb. bulunmaktadır.

Doğal organik ve inorganik adsorbentler önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. Endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu açığa çıkan birçok atık adsorbent olarak kullanılmaktadır. Doğal pek çok adsorbent, atıksulardan kirleticilerin gideriminde daha yüksek verim sağlanması amacıyla farklı işlevsel gruplarla modifiye edilebilir ve geliştirilebilir [38].

2.8.1. Tarımsal Atıkların Adsorbent Olarak Kullanılmaları

Tarımsal atık, tarımsal üretim sürecinde kullanılmayan ve atılan organik maddeler için kullanılan genel bir terimdir ve temel olarak bitki atıkları, çiftlik hayvanları ve kümes hayvanları gübresi, tarım ve yan ürünleri işleyen atıklar, kırsal evsel atıklar içerir. Tarımsal atıkların çoğu büyük miktarda tekrar üretilebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostudur. Son yıllarda çeşitli endüstriyel faaliyetlerin ciddi atıksu kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Düşük işletme maliyetleri ve yüksek esneklik nedeniyle adsorpsiyon, kirletici yönetimi için en etkili teknolojilerden biri olarak kabul edilir. Tarımsal atıklar lignoselülozik malzemelerdir ve ana yapısal bileşenleri lignin, selüloz ve hemiselülozdur. Lignin karbonil, hidroksil, metil ve diğer fonksiyonel grupları içeren aromatik bir polimerdir. Hemiselüloz ve selüloz yapılar ise karbonil grupları, hidroksil grupları ve eter dahil olmak üzere oksijen fonksiyonel grupları içerir. Tüm bu fonksiyonel grupların ağır metal iyonlarını ve organik kirleticileri bağlama yeteneği bulunmaktadır.

Tarımsal atıkların düşük maliyetli ve yenilenebilir olmalarının yanı sıra, gevşek ve gözenekli yapılara sahip olmaları ve pek çok fonksiyonel grubu içermeleri nedeniyle adsorpsiyon malzemesi olarak yüksek kullanım potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir. Tarımsal atıklardan adsorbent eldesi, çevre kirliliğini etkili bir şekilde azaltmak ve ekolojik çevreyi iyileştirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür adsorbentlerin kimyasal ve fiziksel ön işlemlerle adsorpsiyon kapasitesi artırılabilir [39].

Literatürde son yıllarda çeşitli tarımsal atıklardan elde edilen muz kabuğu, portakal kabuğu, ananas kabuğu, hindistancevizi kabuğu, mısır koçanı atığı, çay atığı, pirinç kabuğu, ağaç kabuğu, fındık kabuğu gibi adsorbentlere bakır, kurşun, kadmiyum, krom, nikel gibi ağır metal iyonlarının, Remazol Black B, Congo Red, Methylene Blue, Methyl Orange gibi boyarmaddelerin ve Methylene Blue-Bakır (II), Rhodamine B-Krom(VI) gibi metal iyonu ile boyarmadde karışımlarının adsorpsiyonu ile ilgili çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır [40,41,42].

2.8.1.1. Şeker Pancarı Küspesinin Özellikleri ve Adsorbent Olarak Kullanılması

Şeker pancarı, yüksek şeker içeriğiyle bilinen *Beta vulgaris* türünden bir bitkidir. Soğuk iklimlerde yetişir ve genellikle toprak altında büyüyen yumrusu şeker fabrikalarında işlenerek şeker üretiminde kullanılır. Şeker endüstrisi yan ürünlerinden şeker pancarı küspesi hayvan yemi ve adsorbent olarak, melas ise biyoetanol üretiminde kullanılmaktadır. Şeker pancarı küspesi, şeker pancarının şeker fabrikalarında şekere işlenmesi sırasında pancardan şekerin özütlenmesi ve ayrılması işlemleri sonucu elde edilen lifli ve posalı bir yan üründür. İyi adsorpsiyon özellikleri sağlayan farklı fonksiyonel grupları içeren lignin, selüloz ve hemiselüloz yapıdan oluşan şeker pancarı küspesi ucuz ve erişilebilir biyobazlı bir adsorbent olarak, boyarmadde ve/veya ağır metal iyonlarınca kirlenmiş sulardan ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin gideriminde önemli bir potansiyele sahiptir [43].

Literatürde kurutulmuş şeker pancarı küspesi adsorbentle tekli metal iyonu, tekli boyarmadde ve metal iyonu-boyarmadde ikili sistemleriyle yapılan adsorpsiyon çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

Türk (2023) kesikli sistemde kurutulmuş şeker pancarı küspesi adsorbent kullanarak atıksulardaki methylene blue boyarmaddesinin giderimini incelemiştir. 15 dakikada 25-500 mg/L aralığındaki başlangıç derişimlerinde yüzde adsorpsiyon giderimi sırasıyla %67,9 ila %48,9 iken 360 dakika sonunda yüzde adsorpsiyon %95,6-%80,6 değerlerine ulaşmıştır [44].

Pehlivan (2008) kesikli sistemde kadmiyum (Cd^{2+}) ve kurşun (Pb^{2+}) iyonlarının kurutulmuş şeker pancarı küspesine biyosorpsiyonunu incelemiştir; en uygun pH değerleri sırasıyla 5,3 ve 5 olarak belirlenmiş, Cd^{2+} için 46,1 mg/g Pb^{2+} için 43,5 mg/g adsorpsiyon kapasitesine ulaşmıştır [45].

İşoğlu (2007), kesikli sistemde Gemazol Turquoise Blue-G reaktif boyarmadde anyonları ile bakır(II) katyonlarının kurutulmuş şeker pancarı küspesine biyosorpsiyonunu incelemiştir; çalışmada, en uygun pH değerleri sırasıyla 2 ve 4 olarak belirlenmiş, başlangıç derişiminin artmasıyla adsorpsiyon kapasitesinin arttığı ve ikili karışımlarda bakır(II) derişiminin boyarmadde adsorpsiyonunu arttırırken, boyarmadde derişiminin bakır(II) adsorpsiyonunu azalttığı gözlenmiştir [46].

2.8.2. Adsorpsiyon Kapasitesinin Arttırılması İçin Adsorbente Yapılan Ön İşlemler

Atıksulardan kirleticilerin adsorpsiyonunda kullanılan adsorbentler çeşitli ön işlemlere tabi tutularak adsorbent yüzeyindeki aktif kısımlar arttırılarak, yeni aktif kısımlar oluşturularak adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi ve performansı artırılabilir. Ön işlemler fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana grupta incelenir.

Fiziksel ön işlemler

- ✓ Vakumlama ile kurutma
- ✓ Isıl işlem
- ✓ Boyutlarına Ayırma
- ✓ Otoklavlama işlemi gibi işlemleri içerir.

Kimyasal ön işlemler

- ✓ Yüzey aktif maddeler ile muamele,
- ✓ İnorganik bileşikler ile muamele (H_2SO_4 , HNO_3 , $NaCl_2$)'dir.

Organik bileşikler (formaldehit, etanol, aseton vb.) ile muamele yapılabilmektedir [47]. Küspe adsorbentin adsorpsiyon özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için de çeşitli fiziksel ve kimyasal ön işlemler uygulanmaktadır. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Karslı (2019), kesikli karıştırılmalı ve sürekli düzende çalışan dolgulu kolon sistemlerinde kurutulmuş ve CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbentlerinin krom(VI) iyonlarını adsorpsiyon kapasitelerini incelemiş ve pH 2'de kesikli sistemde sırasıyla 66,8 mg/g ve 84,2 mg/g, sürekli çalışan dolgulu kolonda 0,7 mL/dk akış hızında sırasıyla 32,0 mg/g ve 37,2 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde etmiştir [48].

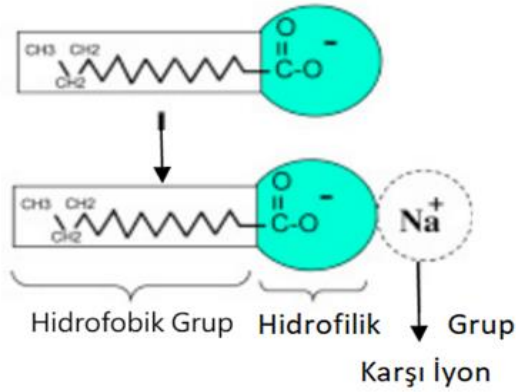
Yazgı (2023), sürekli düzende çalışan dolgulu kolon sistemlerinde kurutulmuş ve CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbentlerinin RBB adsorpsiyon kapasitelerini incelemiş ve 0,8 mL/dk akış hızında pH 2'de 38,8 mg/g, pH 8'de ise 2,67 mg/g; CTAB ile modifiye edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbentiyle ise 151,5 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde etmiştir [49].

Şeker pancarı küspesi adsorbent yüzeyi negatif yüklü olup, negatif yüklü metal anyonlarının ve negatif yüklü boyarmadde anyonlarının adsorpsiyonu ancak çok düşük pH'larda gerçekleşmektedir. Adsorpsiyonun uygulanabilirliği ve işlevselliği yüksek pH'larda mümkündür. Adsorbent yüzeyi pozitif yüklenebilirse, çok daha yüksek pH'larda anyon adsorpsiyonunun yüksek verimde gerçekleşeceği ön görülmektedir. Bu tez çalışmasında kurutulmuş şeker pancarı küspesi adsorbenti katyonik CTAB (Cetyl trimethyl ammonium bromide bromür) yüzey aktif maddesi ile muamele edilerek adsorbentin yüzeyinin pozitif yüklenmesiyle, çok düşük pH'larda gerçekleşen negatif yüklü $Cr_2O_7^{2-}$ (+6 yüklü krom iyonları içermektedir) ve negatif yüklü Remazol Black B anyonlarının adsorpsiyonunun yüksek pH'lara kaydırılması ve şeker pancarı küspesi adsorbentin bu iyonlar için adsorpsiyon kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir.

2.8.3. Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif maddeler (sümfaktanlar) aynı molekül içinde farklı afiniteye sahip iki farklı fonksiyonel (sulu ortamda hidrofofik (veya yağ ortamında lipofilik) ve hidrofilik) grup bulunduran amfifilik moleküllerdir [48]. Genellikle yüzey aktif madde molekülünde yer alan bu gruplar 8-22 karbonlu bir alkil zincir üzerinde yer almaktadır. Bu zincirin, suya afinite gösteren polar baş kısmına hidrofilik (yağ ortamında lipofilik), suya afinite göstermeyen apolar kuyruk kısmına hidrofofik grup denir [49]. Yüzey aktif maddeler hem organik çözücülerde hem de suda çözünür. Yüzey aktif maddeler, sıvı-gaz arayüzeyinde suda çözülmüş iyonları adsorbe ederek suyun arayüzey gerilimini, sıvı-sıvı arayüzeyinde ise adsorbe olarak yağ ve su arasındaki arayüzey gerilimini azaltır [50].

Şekil 2.3.'de anyonik yüzey aktif bir maddenin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Anyonik Yüzey Aktif Maddenin Yapısı [50]

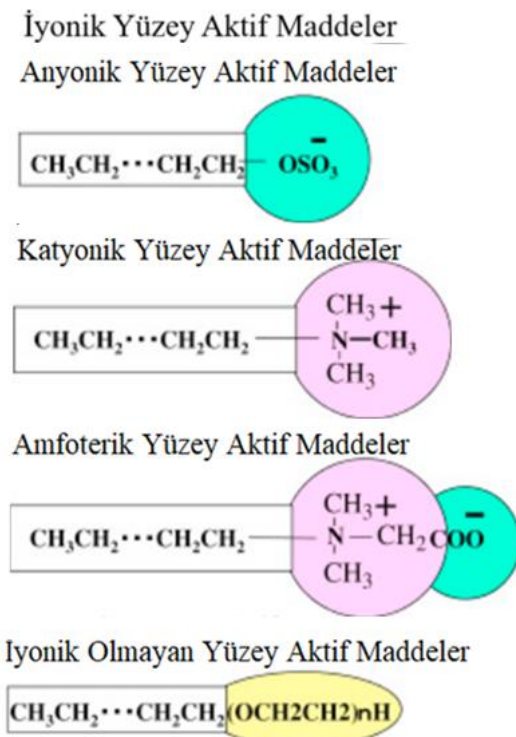
Yüzey aktif maddeler, iyonik ve iyonik olmayan yüzey aktif maddeler olarak sınıflandırılır.

İyonik yüzey aktif maddeler, sulu çözeltilerde hidrofilik grubun anyonlara ayrıldığı anyonik yüzey aktif maddeler, katyonlara ayrıldığı katyonik yüzey aktif maddeler ve genellikle pH'a bağlı olarak anyon ve katyonlara ayrılan amfoterik yüzey aktif maddeler olmak üzere üç alt sınıfa ayrılır.

İyonik yüzey aktif maddeler genellikle hidrofilik yüzey aktif maddelerdir, ancak iyonik olmayan yüzey aktif maddeler, hidrofilik grup ve lipofilik grup dengesine bağlı olarak hidrofilik veya lipofilik olabilir. Başka bir deyişle, iyonik olmayan yüzey aktif maddelerin çözünürlüğü, hidrofilik grubun su çekme kapasitesi ile lipofilik grubun yağ çekme kapasitesi arasındaki dengeye bağlıdır. [51,52]

İyonik olmayan yüzey aktif maddeler, sulu çözeltilerde iyonlara ayrılmayan kimyasallardır ve hidrofilik gruplar (karboksilat ($-\text{COO}^-$), sülfat ($-\text{OSO}_3^-$), sülfonat (SO_3), karboksibetain ($-\text{NR}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$), sülfobetain ($-\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{C}_3\text{H}_6\text{SO}_3^-$), Kuaterner amonyum ($-\text{R}_4\text{N}^+$))ının türüne göre alt sınıflara ayrılırlar. İyonik olmayan yüzey aktif maddeler, genellikle hidrofilik bir polioksietilen grubuna sahiptir, bu gruplar sulu ortamda çözünmeyi sağlar ve su ile etkileşimlerini artırır. Ancak, gliseril veya sorbitol gibi farklı hidrofilik gruplara sahip iyonik olmayan yüzey aktif maddeler de bulunmaktadır. Bu çeşitlilik, farklı endüstriyel ve kişisel bakım uygulamalarında kullanılmasını sağlar, örneğin kozmetik ürünlerde kararlılık sağlamak için gliseril grupları tercih edilirken, ilaç formülasyonlarında sorbitol grupları yaygın olarak kullanılır.

Şekil 2.4.'te yüzey aktif maddelerin sınıflandırılması verilmiştir.

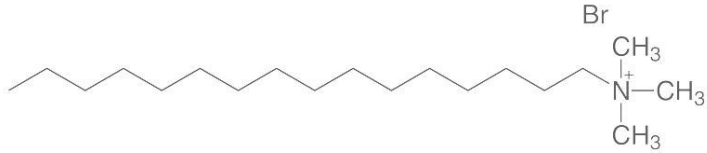


Şekil 2.4. Yüzey Aktif Maddelerin Sınıflandırılması [53]

2.8.3.1. CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromide)

Tez çalışmasında şeker pancarı küspesi adsorbentın negatif olan yüzey yükünün değiştirilmesi ve adsorbentın adsorpsiyon kapasitesinin artırılması için uygulanan

Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) önemli bir katyonik yüzey aktif maddedir ve hem temel araştırmalarda hem de birçok endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır [54]. CTAB'dan proteinlerin elektroforezinde (DNA ekstraksiyonu için), farmasötikler için antiseptik üretiminde, çözücü madde olarak, saç bakım ürünlerinde ve benzerlerinde yararlanılmaktadır [55]. CTAB'ın Şekil 2.5.'te kimyasal yapısı, Çizelge 2.2.'de özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.5. CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide)'ın Kimyasal Yapısı [55]

Çizelge 2.2. CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide)'ın Özellikleri [55]

Molekül Formülü	C ₁₉ H ₄₂ BrN
Molekül Ağırlığı	364,46 g/mol
Yoğunluk	0,5 g/cm ³
Erime Noktası	243 °C

3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI

Tekli Remazol Black B, tekli krom(VI) ve Remazol Black B-krom(VI) ikili karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi (ŞPK) adsorbentlere adsorpsiyonu sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışan kesikli karıştırmalı sistemde araştırılmıştır.

3.1. Tek ve İki Bileşenli Sistemlerde Adsorpsiyon ve Denge Adsorpsiyon Kapasiteleri

Tek bileşen veya iki bileşenli karışım adsorpsiyonunda adsorpsiyon kapasitesi, q_i (mg/g), herhangi bir t zamanında birim adsorbent kütlesi başına adsorbe edilen bileşenin miktarı q_i (mg/g), Eşitlik 3.1 ile tanımlanmıştır.

$$q_i = \frac{C_{0,i} - C_i}{X} = \frac{C_{ad,i}}{X} \quad (3.1)$$

Burada,

$C_{0,i}$: Tekli veya iki bileşenli karışımda, her bir bileşenin başlangıç derişimi (mg/L)

C_i : Tekli veya iki bileşenli karışımda adsorpsiyon ortamında herhangi bir anda adsorplanmadan kalan her bir bileşenin derişimi (mg/L)

$C_{ad,i}$: Tekli veya iki bileşenli karışımda adsorpsiyon ortamında herhangi bir anda adsorplanan her bir bileşenin derişimi (mg/L)

X : Çözeltideki adsorbent derişimi (g/L) 'dir.

Sistem dengeye ulaştığı anda Eşitlik 3.1'de yer alan C_i değeri $C_{den,i}$, q_i değeri ise $q_{den,i}$ (denge adsorpsiyon kapasitesi) olarak değiştirilir.

3.2. Adsorpsiyon Hızı

Adsorbentin birim kütlesi tarafından adsorplanan i bileşeni miktarının (q_i) zamanla değişim grafiğinde $t=0$ anında çizilen teğetin eğimi adsorpsiyonun hızını verir ve Eşitlik 3.2 ile tanımlanır.

$$r_{ad,i} = \frac{\Delta q_i}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

$r_{ad,i}$: Adsorpsiyon hızı (mg kirletici/g adsorbent dk)

t : Zaman (dk)'dir.

3.3. Tek ve İki Bileşenli Sistemlerde Adsorpsiyon ve Toplam Adsorpsiyon Verimi

Tekli bileşen adsorpsiyonunda, adsorpsiyon verimi, denge durumunda adsorplanan bileşen derişiminin başlangıç bileşen derişimine oranı olarak tanımlanır ve %Giderim şeklinde Eşitlik 3.3'teki gibi ifade edilir.

$$\%Giderim = \frac{C_{ad,den}}{C_o} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

$C_{ad,den}$: Tek bileşenli sistemde denge durumunda adsorplanan bileşenenin derişimi (C_o - C_{den}) (mg/L)'dir.

İki bileşen adsorpsiyonunda, toplam adsorpsiyon verimi (giderimi), denge durumunda adsorplanan bileşenlerin toplam derişiminin bileşenlerin başlangıç toplam derişimine oranı olarak hesaplanır ve % Toplam Giderim şeklinde Eşitlik 3.4'teki gibi tanımlanır.

$$\%Toplam Giderim = \frac{\sum_{i=1}^2 C_{ad,den,i}}{\sum_{i=1}^2 C_{o,i}} \quad (3.4)$$

Burada;

$C_{ad,den,i}$: İki bileşenli karışımında denge durumunda adsorplanan her bir bileşenin derişimi (mg/L)'dir.

3.4. Adsorpsiyon Dengesi (İzotermi) ve Modellenmesi

Adsorpsiyon adsorbent yüzeyinde sürekli bir adsorpsiyon-desorpsiyon tersinir işlemiyle gerçekleşen bir prostir. Adsorpsiyon-desorpsiyon hızları birbirine eşit olduğunda kirletici iyonların adsorbentin yüzeyine tutunduğu en yüksek miktarına ulaşılır ve adsorpsiyon denge durumuna gelir. Adsorpsiyon izotermi, bir adsorbatın bir adsorbent

tarafından dengede ne kadar adsorplandığını gösteren deneysel veya teorik ilişkilerdir. Bu izoterm, adsorbent yüzeyine bağlanan adsorbat miktarını, adsorbatın çözelti derişimine bağı olarak açıklar [36].

Adsorpsiyon izotermi (denge eğrisi) sabit sıcaklıkta denge durumunda adsorbent birim kütlesinin adsorpladığı kirletici miktarının ortamda adsorplanmadan kalan kirletici derişimiyle değışimini veren eğri ile tanımlanır. Bu izoterm davranışını açıklayan birçok matematiksel model mevcuttur.

3.4.1. Tek Bileşenli Sistemde Adsorpsiyon Denge Modellemesi

3.4.1.1. Langmuir Modeli

Irving Langmuir tarafından geliştirilen bu model, fiziksel adsorpsiyonu açıklamak için oluşturulmuştur. Langmuir Modeli, adsorpsiyonun adsorbe edilen iyonlar arasında herhangi bir etkileşim olmadan, tek katmanlı homojen bir yüzey üzerinde gerçekleştiğini varsayar. Bu modele göre adsorbent yüzeyi üzerindeki reaktif gruplar eşit enerjili, eşit sayıda ve homojen olarak dağılmış bir şekilde bulunur. Langmuir modeli Eşitlik 3.5 ile tanımlandığı gibidir.

$$q_{den} = \frac{Q^o b C_{den}}{1 + b C_{den}} \quad (3.5)$$

Burada;

Q^o : Adsorbent yüzeyinde tek bir tabaka oluşturabilmek için adsorbent her bir birim kütlesine adsorplanan adsorbat miktarıdır ve aynı zamanda adsorbent en yüksek adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

b : Adsorpsiyon entalpisi ve adsorbatla adsorbent arasındaki bağı kuvvetini belirten sabit'i (L/mg) ifade eder.

Eşitlik 3.5'in doğrusallaştırılmasıyla Eşitlik 3.6 elde edilir.

$$\frac{C_{den}}{Q_{den}} = \frac{1}{bQ^o} + \frac{1}{Q^o} C_{den} \quad (3.6)$$

C_{den}/Q_{den} 'e karşı C_{den} grafiğinin eğimi $1/Q^o$ 'ı, y eksenini kestiği nokta ise $1/bQ^o$ 'ı verir. Q^o ve b 'nin büyüklüğü adsorbent adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olduğunu gösterir.

3.4.1.2. Freundlich Modeli

Herbert Freundlich tarafından geliştirilen bu model, adsorbata katı adsorbent yüzeyi çok tabakalı adsorpsiyonunu tanımlayan başka bir matematiksel modeldir. Bu ampirik modelde adsorbent yüzeyinin heterojen enerji dağılımına sahip olduğu varsayılır. Bu modelde adsorpsiyon dengesi Eşitlik 3.6 ile tanımlanır.

$$q_{den} = K_F C_{den}^{1/n} \quad (3.6)$$

Burada;

K_F : Adsorbata, adsorbente ve sıcaklığa göre değişen ve adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü gösteren adsorpsiyon sabiti ($L^{1/n} \text{ mg}^{1-1/n}/\text{g}$)

n : Adsorpsiyon şiddetini gösteren adsorpsiyon derecesidir.

Eşitlik 3.6'nın doğrusallaştırılmasıyla Eşitlik 3.7 eldir.

$$\ln q_{den} = \ln K_F + \frac{1}{n} C_{den} \quad (3.7)$$

$\ln q_{den}$ 'e karşı $\ln C_{den}$ grafiğinin eğimi $1/n$ 'i, y eksenini kestiği nokta ise $\ln K_F$ 'i verir. n ve K_F değerlerinin yüksek olması adsorpsiyonun uygun ve adsorbent adsorpsiyon kapasitesinin büyük olduğunu gösterir.

3.4.2. İki Bileşenli Sistemde Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi

Birden çok bileşenin adsorplandığı sistemlerde bileşenlerin birbiriyle etkileşimleri adsorpsiyonu etkileyebilmektedir. Bu etkileşimler, bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyonunu azaltması (antagonistik), arttırması (sinerjistik) veya etkilememesi (non-interaktif) şeklinde gerçekleşebilir. Çok bileşenli sistemler için bu etkileşimlere göre türetilmiş denge modellerinin iki bileşenli sistemlere adapte edilmiş formları da mevcuttur. Tez çalışmasında ikili karışımlarda, sinerjistik ve antagonistik etkileşimleri içeren Langmuir modelleri kullanılmıştır.

3.4.2.1. Bileşenlerin Birbirlerinin Adsorpsiyonunu Arttırdığı (Sinerjistik) Sistemler için Türetilmiş Langmuir Modeli

Karışım içindeki iki bileşenin birbirlerinin adsorpsiyonunu arttırdığı (sinerjistik) sistemler için türetilmiş Langmuir Modeli Eşitliği 3.15'te verilmiştir.

$$q_{den,i} = \frac{Q_i^o b_i C_{den,i}}{1 + b_i C_{den,i}} [1 + F_i(C)]_i \quad (3.15)$$

Burada $F_i(C)$ terimi, i adsorplananı için tek bileşenli Langmuir Modelinden çok bileşenli adsorpsiyon modeline olan değişimi ifade etmektedir. $F_i(C)$ terimi Eşitlik 3.16 ile ifade edilebilir.

$$F_i(C) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N K_{ij} C_{ij}}{\sum_{j=1}^N K_{ij} C_{ij}} \quad (3.16)$$

Burada;

C_{ij} : Adsorplanan j 'nin başlangıç derişimi (mg/L).

K_{ij} : Adsorplanan j 'ye ait modifikasyon katsayısıdır.

Eşitlik 3.15'in iki bileşenli sistem için türetilmiş eşitlikleri Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18 ile ifade edilmektedir.

$$q_{den,1} = \frac{Q_1^o b_1 C_{den,1}}{1 + b_1 C_{den,1}} \left[1 + \frac{K_2 C_{o2}}{K_1 C_{o1} + K_2 C_{o2}} \right]_1 \quad (3.17)$$

$$q_{den,2} = \frac{Q_2^o b_2 C_{den,2}}{1 + b_2 C_{den,2}} \left[1 + \frac{K_1 C_{o1}}{K_1 C_{o1} + K_2 C_{o2}} \right]_2 \quad (3.18)$$

Burada,

q_{den1} ve q_{den2} : Birinci ve ikinci bileşenin dengedeki birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan miktarları (mg/g)

C_{den1} ve C_{den2} : Birinci ve ikinci bileşenin denge durumunda çözültide adsorplanmadan kalan derişimleri (mg/L)

Q_1^o ve Q_2^o : Birinci ve ikinci bileşen için adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan en yüksek miktarları (mg/g)

b_1 ve b_2 : Birinci ve ikinci bileşenin Langmuir adsorpsiyon sabitleri (l/mg)'dir.

Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18'deki Q_1^0 , Q_2^0 ve b_1 , b_2 değerleri tek bileşenli Langmuir adsorpsiyon modelinden elde edilirken; iki bileşenli Langmuir adsorpsiyon modelinde yer alan ve karışım içindeki her bir bileşene ait K_1 ve K_2 değerleri ise adsorpsiyon verilerinin sayısal çözümlemesinden bulunur.

3.4.2.2. Bileşenlerin Birbirlerinin Adsorpsiyonunu Azalttığı (Antagonistik) Sistemler için Türetilmiş Langmuir Modeli

Karışım içindeki iki bileşenin birbirlerinin adsorpsiyonunu azalttığı (antagonistik) sistemler için türetilmiş Langmuir Modeli'nin birinci bileşen için türetilmiş şekli Eşitlik 3.19'da verilmiştir.

$$q_{den1} = \frac{Q_1^0 b_1 \frac{C_{den1}}{\eta_1}}{1 + b_1 \frac{C_{den1}}{\eta_1} + b_2 \frac{C_{den2}}{\eta_2}} \quad (3.19)$$

Burada;

η_1 ve η_2 : Birinci ve ikinci bileşenlerin Langmuir düzeltme sabitleridir.

Eşitlik 3.19 ikinci bileşen için de benzer şekilde yazılabilir.

3.5. Adsorpsiyon Kinetiğinin Modellenmesi

Adsorpsiyonun nasıl gerçekleşeceğinin belirlenmesi için kinetik mekanizmasının bilinmesi gerekir. Bu kinetik modeller ile adsorpsiyonun hızı, süresi, mekanizmasını ve adsorbent-adsorbat arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılır. Adsorpsiyon mekanizması adsorbentın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişir. Karıştırma hızı, pH, sıcaklık vb. şartlar da adsorpsiyon hızını etkilemektedir. Kinetik modelleme ile adsorpsiyon süreci hakkında bilgi edinilebilir. Adsorpsiyon kinetiğinin modellenmesi için birinci derece kinetik model ve ikinci derece kinetik modeller kullanılabilir. [56]

4. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ

4.1. Kurutulmuş Ön İşlemsiz ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küşpesi Adsorbentlerin Deneysel Çalışmalar için Hazırlanması

Bu tez çalışmasında adsorbent olarak Ankara Şeker Fabrikası'ndan temin edilen ve kurutulmuş belli boyut aralıklarına getirilmiş şeker pancarı küspesi ve CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi kullanılmıştır.

Şeker pancarı küspesi ilk önce saf su ile birkaç kere yıkandıktan sonra fazla suyu giderilip 85°C sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Kurutma işlemi bittikten sonra küspe el değirmeni ile öğütülmüş ve elek analizi yapılarak farklı boyut aralıklarına ayrılmıştır. Bu çalışmada 500-707 µm, 707-850 µm, 850-1000 µm ve 1000-1190 µm boyut aralıkları kullanılmıştır. Farklı boyut aralıklarında hazırlanan adsorbentler hava almayan cam kavanozlarda saklanmış ve adsorpsiyon deneylerinde doğrudan ön işlemsiz şeker pancarı küspesi adsorbent olarak kullanılmıştır.

0,1 gram 707-850 µm boyut aralığındaki kurutulmuş şeker pancarı küspesi, 250 ml'lik erlende 100 ml 20g/L derişimindeki CTAB (Merck) çözeltisine eklenerek. 3 gün boyunca 150 rpm hızda karıştırılmıştır. Daha sonra küspeli CTAB çözeltisi 5000 rpm'de santrifüjlenerek katı-sıvı fazlar birbirinden ayrılmış, katı küspe kısmı saf su ile 3 kez yıkanarak yüzey aktif maddenin fazlası uzaklaştırılmıştır. CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbent, 80°C sıcaklıktaki etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş, hava almayan cam kavanozda saklanmış ve adsorpsiyon deneylerinde doğrudan CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbent olarak kullanılmıştır

4.2. Adsorpsiyon Çözeltilerinin Hazırlanması

4.2.1. Remazol Black B (RBB) Çözeltilerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan Remazol Black B (RBB) boyarmaddesi Dyestar firmasından temin edilmiştir. Stok çözelti olarak 1 g/L RBB çözeltisi hazırlanarak buzdolabında saklanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, bu stok çözeltiden gerekli seyreltmeler yapılarak belli derişimlerdeki RBB çözeltileri hazırlanmıştır.

4.2.2. Krom(VI) Çözeltilerinin Hazırlanması

1 g/L stok krom(VI) çözeltisi 1,412 gram $K_2Cr_2O_7$ 'ın 1 litrede çözünmesiyle hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere bu stok çözeltiden gerekli seyreltmeler yapılarak belli derişimlerdeki krom(VI) çözeltileri hazırlanmıştır.

4.2.3. Remazol Black B ve Krom(VI) İyonlarını Birlikte İçeren Karışım Çözeltilerinin Hazırlanması

Remazol Black B ve krom(VI) iyonlarını birlikte içeren iki bileşenli adsorpsiyon çalışmalarında, her iki bileşen için istenilen derişimlerini içeren karışımlar, her bir bileşene ait stok çözeltisinden gerekli seyreltmeler yapılarak elde edilmiştir.

4.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Deney Düzeneği

Tüm deneysel çalışmalar 25°C sabit sıcaklık ve 120 rpm karıştırma hızında çalışan inkübatörde (Medline SI-600 R) 100 ml çalışma hacmine sahip 250 ml'lik erlenlerde kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Deney süresince adsorpsiyon çözeltilerinin buharlaşmasını engellemek amacıyla, erlenlerin ağızları parafilm kullanılarak sıkı bir şekilde kapatılmıştır.

4.4. Adsorpsiyon Çalışmaları

Tekli RBB, tekli krom(VI) ve ikili RBB ve krom(VI) karışımlarının ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentleri ile adsorpsiyon çalışmalarının başlangıcında, pH'ı ayarlanmış belli derişimde tek bileşeni içeren çözeltilere ya da pH'ı ayarlanmış belli derişimlerde iki bileşeni içeren karışım çözeltilerine adsorbent derişimi 1,0 g/L olacak şekilde eklenmiştir. Adsorbentin çözeltilere eklenme anı $t=0$ olarak kabul edilmiştir. Adsorpsiyon başladıktan sonra belirli zaman aralıklarında adsorpsiyon çözeltisinden alınan örnekler santrifüjlenmiş ve sıvı kısımdaki çözeltide adsorplanmadan kalan RBB ve/veya krom(VI) iyonlarının derişimleri tayin edilmiştir.

Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle tek bileşenli adsorpsiyon çalışmalarında öncelikle başlangıç pH'ının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmış ve her bir

bileşen için en uygun çalışma pH'ı belirlenmiştir. Her bir bileşen için belirlenen optimum pH değerinde adsorbent tanecik boyut aralığının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve en uygun olarak saptanan boyut aralığına sahip adsorbentle her bir bileşen için başlangıç derişiminin adsorpsiyona etkileri araştırılmıştır.

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle tek bileşenli adsorpsiyon çalışmalarında ise başlangıç pH'ının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve her bir bileşen için saptanan en uygun çalışma pH'ında başlangıç derişiminin adsorpsiyon hız ve verimine etkileri araştırılmıştır.

Ön işlemsiz kurutulmuş ŞPK adsorbentle iki bileşenin eşanlı adsorpsiyon çalışmalarında her iki bileşen için aynı bulunan optimum pH değerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir.

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle iki bileşenin eşanlı adsorpsiyon çalışmalarında ise her iki bileşen için farklı bulunan optimum pH değerlerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir. Böylece adsorbentin boyarmadde ve krom(VI) iyonları için seçiciliği ve bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyon hız ve kapasitelerini nasıl etkiledikleri araştırılmıştır.

4.5. Analiz Yöntemleri

4.5.1. Remazol Black B (RBB) Derişim Tayini

Adsorpsiyon deneyi süresince belli zaman aralıklarında alınan örneklerden, adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan RBB derişimi, gerektiğinde belli oranlarda seyreltme yapılarak 598 nm'de kör olarak saf su kullanımıyla UV-visible spektrofotometrede (Thermo-Scientific) okunan adsorbans değerinden yararlanarak çalışma doğrusundan bulunmuştur. Çalışma doğrusu Ek 1.'de verilmiştir.

4.5.2. Krom (VI) Derişimi Tayini

Adsorpsiyon deneyi süresince belli zaman aralıklarında alınan örneklerden, adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan krom (VI) iyon derişimi, gerektiğinde uygun oranda seyreltme yapılarak, krom (VI)'nın difenil karbazit ile verdiği mor renkli kompleksin 540 nm'de kör olarak saf su kullanımıyla UV-visible spektrofotometrede okunan adsorbans değerinden yararlanarak çalışma doğrusundan bulunmuştur. Çalışma doğrusu Ek 2.'de verilmiştir.

4.5.3. Remazol Black B (RBB) ve Krom(VI) İyonlarını Birlikte İçeren Deney Ortamında RBB ve Krom(VI) Derişiminin Tayini

Yapılan ön çalışmalar RBB analizinin krom(VI) iyon varlığından, krom(VI) iyon analizinin ise RBB varlığından etkilenmediğini göstermiştir. Remazol Black B (RBB) boyarmaddesi ve krom (VI) iyonlarını belli derişimlerde birlikte içeren deney ortamından belli zaman aralıklarında alınan örneklerden adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan Remazol Black B (RBB) derişimi, 598 nm'de kör olarak adsorbent ve RBB eklenmemiş aynı derişimde krom(VI) iyonlarını içeren adsorpsiyon çözeltisinin kullanımıyla UV-visible spektrofotometrede okunan adsorbans değerinden yararlanarak çalışma doğrusundan bulunmuştur. Çalışma doğruları Ek 3.'te verilmiştir.

Adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan krom(VI) iyon derişimi, tekli krom(VI) çözeltisi içeren adsorpsiyon ortamındaki krom(VI) analizine benzer olarak, gerektiğinde uygun oranda seyreltme yapılarak, krom(VI)'nın difenil karbazit ile verdiği mor renkli kompleksin 540 nm'de kör olarak saf su kullanımıyla UV-visible spektrofotometrede okunan adsorbans değerinden yararlanarak çalışma doğrusundan bulunmuştur.

4.5.4. Kurutulmuş Şeker Pancarı Küspesi ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları

DeneySEL çalışmalarda kullanılan kurutulmuş ŞPK adsorbent ile CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) (Shimadzu) analizleri yapılarak, adsorbentlerin yapısal karakteri belirlenmiştir. Yapılara ait 750 cm⁻¹ ila 4000 cm⁻¹ aralığında incelenen spektrumlar Ek 4.'te sunulmuştur.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, şeker pancarı küspesi doğrudan kurutularak (ön işlemsiz) ve CTAB ile muamele edilerek boyarmadde, tekstil, deri ve benzeri endüstri atıksularında istenmeyen derişimlerde bulunan anyonik yapıdaki reaktif boyarmaddelerden RBB'nin ve yine anyonik kromat/bikromat yapısında yer alan krom (VI) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının adsorpsiyonunda adsorbent olarak kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının ilk kısmında kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve başlangıç pH'nın adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmış ve her bir bileşen için saptanan en uygun çalışma pH'ında adsorbent tanecik boyut aralığının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve en uygun olarak saptanan boyut aralığına sahip adsorbentle her bir bileşen için başlangıç derişiminin adsorpsiyona etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasının daha sonraki aşamasında CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve başlangıç pH'nın adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve her bir bileşen için saptanan en uygun çalışma pH'ında başlangıç derişiminin adsorpsiyon hız ve verimine etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında ön işlemsiz kurutulmuş ŞPK adsorbentle RBB ve krom(VI) iyonlarının eşanlı adsorpsiyon çalışmalarına geçilmiş ve her iki bileşen için aynı bulunan optimum pH değerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle RBB ve krom(VI) iyonlarının eşanlı adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve her iki bileşen için farklı bulunan optimum pH değerlerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir. Böylece adsorbentin boyarmadde ve krom(VI)

iyonları için seçiciliği ve bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyon hız ve kapasitelerini nasıl etkiledikleri araştırılmıştır. Tez çalışmasında ayrıca her bir tekli adsorbent-boyarmadde, tekli adsorbent-krom(VI) iyonları ve ikili adsorbent-boyarmadde-krom(VI) iyonları sistemi için denge modellemeleri yapılmış ve model sabitleri bulunmuştur.

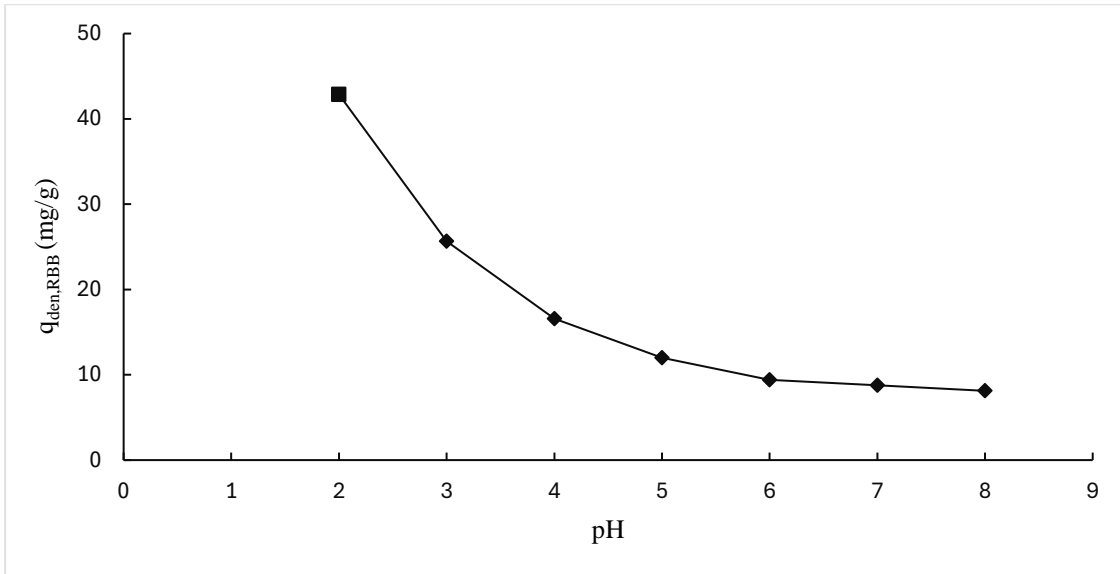
5.1. Kurutulmuş Ön İşlemsiz Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentle Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

5.1.1. Tek Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları

5.1.1.1. Remazol Black B Adsorpsiyon Çalışmaları

Başlangıç pH'ının Etkisi

25°C'de, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde, 707-850 µm tanecik boyut aralığındaki 1 g/L kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle başlangıç pH'nın adsorpsiyon kapasitesine etkisi araştırılmış, Şekil 5.1.'den görüleceği üzere, en yüksek kapasite değeri pH 2'de bulunmuştur.



Şekil 5.1. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarına etkisi (T=25°C, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)

Tanecik Boyut Aralığının Etkisi

Ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda, adsorpsiyon hız ve kapasitesini etkileyen diğer bir parametre de tanecik boyut aralığıdır. pH 2’de, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde 500-707 µm, 707-850 µm, 850-1000 µm ve 1000-1190 µm boyut aralıklarındaki ŞPK adsorbent ile yapılan adsorpsiyon çalışmasında elde edilen hız, kapasite ve giderim değerleri Çizelge 5.1.’de verilmiştir. Çizelgeden 707-850 µm boyut aralığındaki adsorbent taneciklerle en yüksek hız, kapasite ve verim değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Tanecik boyut aralığının azalmasıyla adsorbent yüzey alanı arttığından adsorpsiyon hız ve verimi artmıştır. En küçük tanecik boyut aralığında ise taneciklerin topaklaşmasıyla adsorpsiyon yüzey alanı azaldığından, adsorpsiyon hız ve verimi daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 5.1. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı tanecik boyut aralıklarında elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve % giderim değerleri (T=25°C, pH=2, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Tanecik Boyut Aralığı (µm)	r_{ad,RBB} (mg/g.dk)	q_{den,RBB} (mg/g)	% RBB Giderimi
500- 707	0,235	39,7	39,9
707- 850	0,270	42,9	41,5
850- 1000	0,193	38,5	38,6
1000- 1400	0,154	34,4	34,2

Başlangıç RBB Derişiminin Etkisi

Adsorpsiyonu sağlayan itici güç ΔC ’ye bağlı olarak başlangıç kirletici derişiminin artması adsorbentin adsorpsiyon hız ve kapasitesini artıran önemli bir parametredir. Çalışmaların bu kısmında pH 2’de başlangıç RBB derişimi 500 mg/L’ye kadar artırılarak, başlangıç RBB derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon hızı, kapasitesi ve giderim değerleri Çizelge 5.2.’de sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç RBB derişimi arttıkça, adsorpsiyon hızının ve adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığı, % giderimin ise azaldığı görülmektedir. 501,8 mg/L başlangıç RBB derişiminden dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 94,2 mg/g olarak saptanmıştır.

Çizelge 5.2. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

$C_{o,RBB}$ (mg/L)	$r_{ad,RBB}$ (mg/g.dk)	$q_{den,RBB}$ (mg/g)	% RBB Giderimi
24,8	0,105	16,7	66,0
50,5	0,161	27,1	51,8
99,4	0,270	42,9	41,5
250,1	0,445	75,5	29,9
501,8	0,545	94,2	18,4

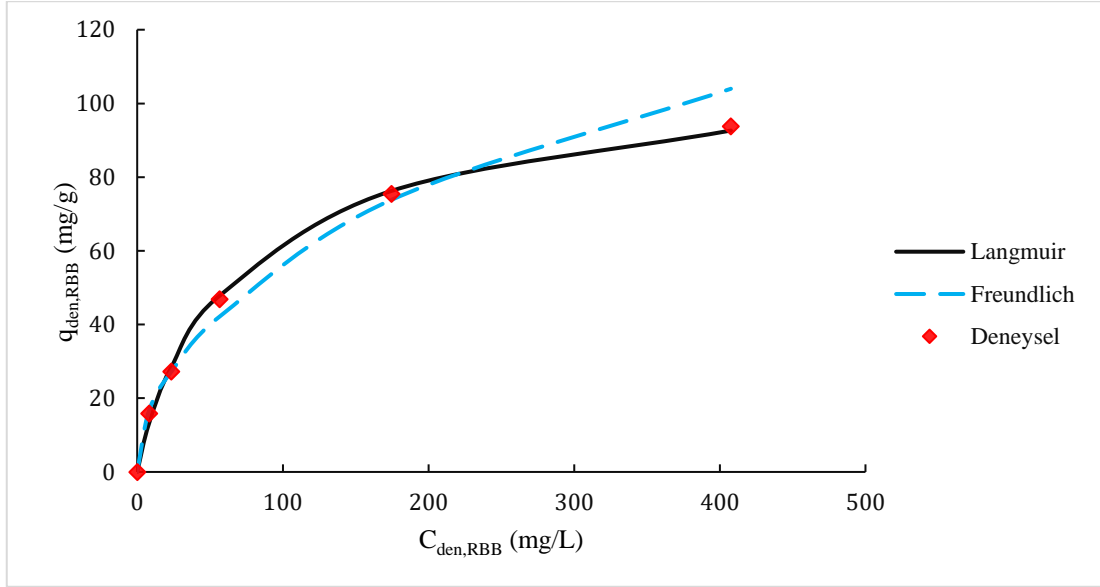
pH 2’de RBB Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı (q_{den}) ile çözeltide adsorplanmadan kalan RBB derişimi (C_{den}) arasındaki dengeyi matematiksel olarak tanımlamak için Langmuir ve Freundlich denge modelleri kullanılmıştır. Adsorpsiyon sisteminin bu modellerden hangisine en iyi uyduğunu belirlemek için Microsoft 360 Excel “çözücü” eklentili programının non-linear regresyon yöntemi kullanılarak bulunan model sabitleri Çizelge 5.3’te sunulmuştur. Çizelgeden kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunun Langmuir Modeline daha iyi uyduğu ve adsorbentin en yüksek RBB adsorpsiyon kapasitesinin 99,0 mg/g olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Langmuir Modeli			Freundlich Modeli		
Q^o (mg/g)	b (L/mg)	R^2	K_F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	n	R^2
99,0	0,0172	0,996	6,19	2,13	0,983

Çizelge 5.3.'te verilen model sabitleri kullanılarak hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir ve Freundlich denge eğrileri, deneysel q_{den} değerleriyle Şekil 5.2.'de karşılaştırılarak tekrar hangi modelin deneysel noktalara en çok yaklaştığı araştırılmıştır. Şekilden yine Langmuir Modelinin kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunu daha iyi tanımladığı görülmektedir.

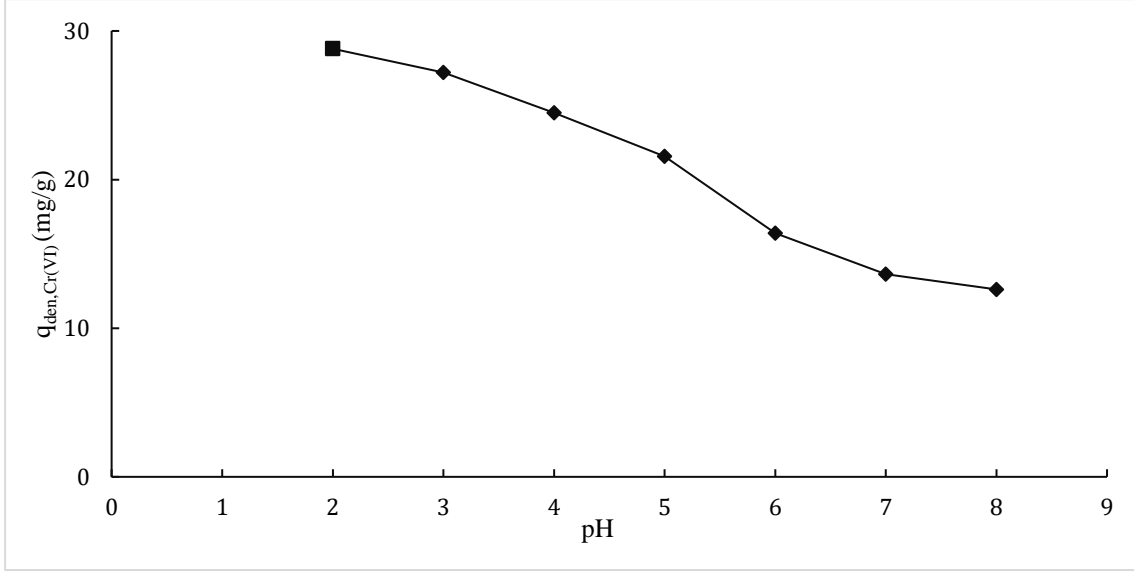


Şekil 5.2. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.1.1.2. Krom (VI) Adsorpsiyon Çalışmaları

Başlangıç pH'nın Etkisi

25°C'de, 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde, 707-850 µm tanecik boyut aralığındaki 1 g/L kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle başlangıç pH'nın adsorpsiyon kapasitesine etkisi araştırılmış, Şekil 5.3.'ten görüleceği üzere, en yüksek kapasite değeri pH 2'de bulunmuştur.



Şekil 5.3. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli krom(VI) adsorpsiyonunda, başlangıç pH'nın dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarına etkisi ($T=25^{\circ}C$, $C_o=100$ mg/L, $X=1$ g/L, K.H.= 120 rpm)

Tanecik Boyut Aralığının Etkisi

Ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda, adsorpsiyon hız ve kapasitesini etkileyen diğer bir parametre de tanecik boyut aralığıdır. pH 2'de, 100 mg/L başlangıç krom(VI) iyon derişiminde 500-707 μm , 707-850 μm , 850-1000 μm ve 1000-1190 μm boyut aralıklarındaki ŞPK adsorbent ile yapılan adsorpsiyon çalışmasında elde edilen hız, kapasite ve giderim değerleri Çizelge 5.4.'te verilmiştir. Çizelgeden 707-850 μm boyut aralığındaki adsorbent taneciklerle en yüksek hız, kapasite ve verim değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Tanecik boyut aralığının azalmasıyla adsorbent yüzey alanı arttığından adsorpsiyon hız ve verimi artmıştır. En küçük tanecik boyut aralığında ise taneciklerin topaklaşmasıyla adsorpsiyon yüzey alanı azaldığından, adsorpsiyon hız ve verimi daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Kurutulmuş ön işlemsiz şeker pancarı küspesi adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı tanecik boyut aralıklarında elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızları ve % giderim değerleri (T=25°C, pH=2, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Tanecik Boyut Aralığı (µm)	r _{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	q _{den,Cr(VI)} (mg/g)	% krom(VI) Giderimi
500- 707	0,146	24,8	25,5
707- 850	0,185	28,8	28,4
850- 1000	0,123	26,2	24,1
1000- 1400	0,105	22,4	22,6

Başlangıç Krom(VI) Derişiminin Etkisi

Adsorpsiyonu sağlayan itici güç ΔC 'ye bağlı olarak başlangıç kirletici derişiminin artması adsorbentin adsorpsiyon hız ve kapasitesini artıran önemli bir parametredir. Çalışmaların bu kısmında pH 2'de başlangıç krom(VI) iyon derişimi 500 mg/L'ye kadar artırılarak, başlangıç krom(VI) iyon derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Farklı başlangıç krom(VI) iyon derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon hızı, kapasitesi ve giderim değerleri Çizelge 5.5.'te sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç krom(VI) iyon derişimi arttıkça, adsorpsiyon hızının ve adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığı, % giderimin ise azaldığı görülmektedir. 498,7 mg/L başlangıç krom(VI) iyon derişiminden dengede en yüksek birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarı 49,1 mg/g olarak saptanmıştır.

Çizelge 5.5. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç krom(VI) iyon derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

$C_{o,Cr(VI)}$ (mg/L)	$r_{ad,Cr(VI)}$ (mg/g.dk)	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	% krom(VI) Giderimi
26,7	0,089	13,4	50,4
52,7	0,126	18,4	35,0
101,3	0,185	28,8	28,4
255,0	0,298	39,2	15,4
498,7	0,389	49,1	9,9

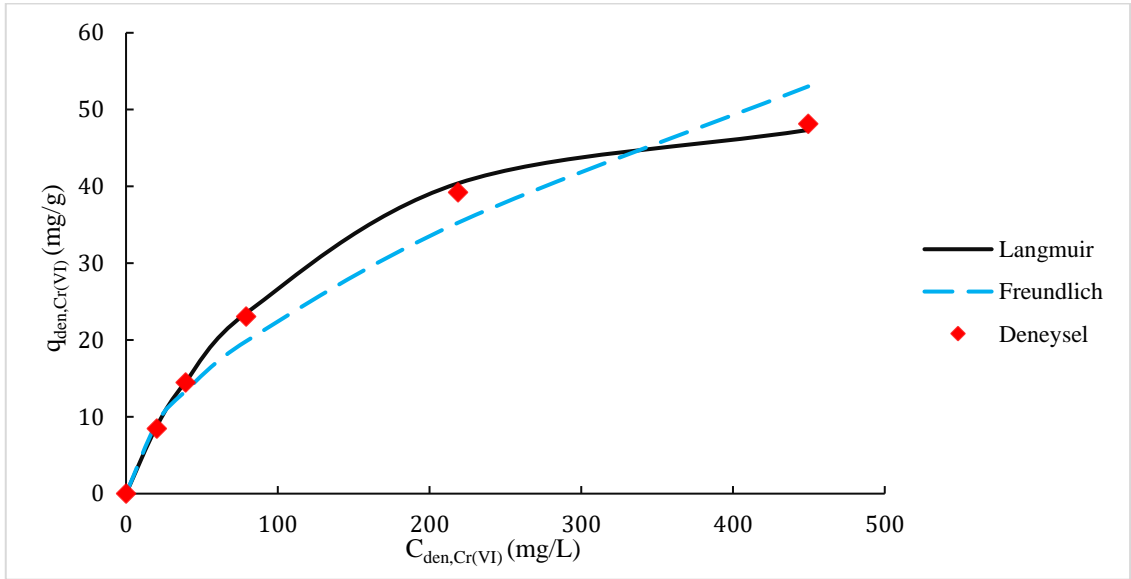
pH 2’de Krom (VI) Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarı (q_{den}) ile çözeltide adsorplanmadan kalan krom(VI) iyon derişimi (C_{den}) arasındaki dengeyi matematiksel olarak tanımlamak için Langmuir ve Freundlich denge modelleri kullanılmıştır. Adsorpsiyon sisteminin bu modellerden hangisine en iyi uyduğunu belirlemek için Microsoft Office 360 Excel “çözücü” eklentili programının non-linear regresyon yöntemi kullanılarak bulunan model sabitleri Çizelge 5.3’te sunulmuştur. Çizelgeden kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunun Langmuir Modeline daha iyi uyduğu ve adsorbentin en yüksek krom(VI) adsorpsiyon kapasitesinin 54,2 mg/g olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.6. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Langmuir Denge Modeli			Freundlich Denge Modeli		
Q^o (mg/g)	b (L/mg)	R^2	K_F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	n	R^2
54,2	0,0068	0,997	1,67	1,77	0,968

Çizelge 5.6.'te verilen model sabitleri kullanılarak hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir ve Freundlich denge eğrileri, deneysel q_{den} değerleriyle Şekil 5.4.'te karşılaştırılarak tekrar hangi modelin deneysel noktalara en çok yaklaştığı araştırılmıştır. Şekilden yine Langmuir Modelinin kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunu daha iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.4. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

5.1.2. İki Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları

Boyarmadde, tekstil, deri ve benzeri endüstri atıksularında anyonik yapıda RBB iyonları ve yine anyonik kromat yapısında yer alan krom (VI) iyonları sıklıkla birlikte yer almaktadır. Bu kirleticilerin adsorpsiyonla birlikte gideriminde bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyonunu azaltma/arttırma/etkilememe gibi etkileri bulunmaktadır. Tez çalışmasının bu kısmında bu kirleticilerin ikili karışımlarının 707-850 µm boyut aralığındaki kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonu her iki bileşen için de en uygun bulunan pH 2 değerinde incelenmiştir.

5.1.2.1. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI)+RBB karışımlarının adsorpsiyonunda, her bir deney seti için başlangıç RBB derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerinde sabit tutulurken, başlangıç krom(VI) derişimi derişimi sabit tutulan her bir RBB derişiminde 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç krom(VI) iyon derişiminin RBB ve krom(VI) iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri araştırılmıştır. Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, krom(VI) adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri Çizelge 5.7’de detaylı olarak sunulmuştur.

Çizelgeden, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde krom(VI) derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımdaki RBB derişimindeki artışın krom(VI) iyon adsorpsiyon hız ve verimini önemli ölçüde azalttığı da aynı çizelgeden görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında RBB bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı 28,8 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,185 mg/g.dk ve % krom(VI) giderimi %28,4 olarak saptanmışken, aynı krom(VI) iyon derişiminde, ortamda 100 mg/L RBB bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının 13,7 mg/g’a, adsorpsiyon hızının 0,115 mg/g.dk’ya ve % krom(VI) giderim değerinin %13,9’a düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumda dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı ve % krom(VI) giderimi iki katından fazla azalmıştır.

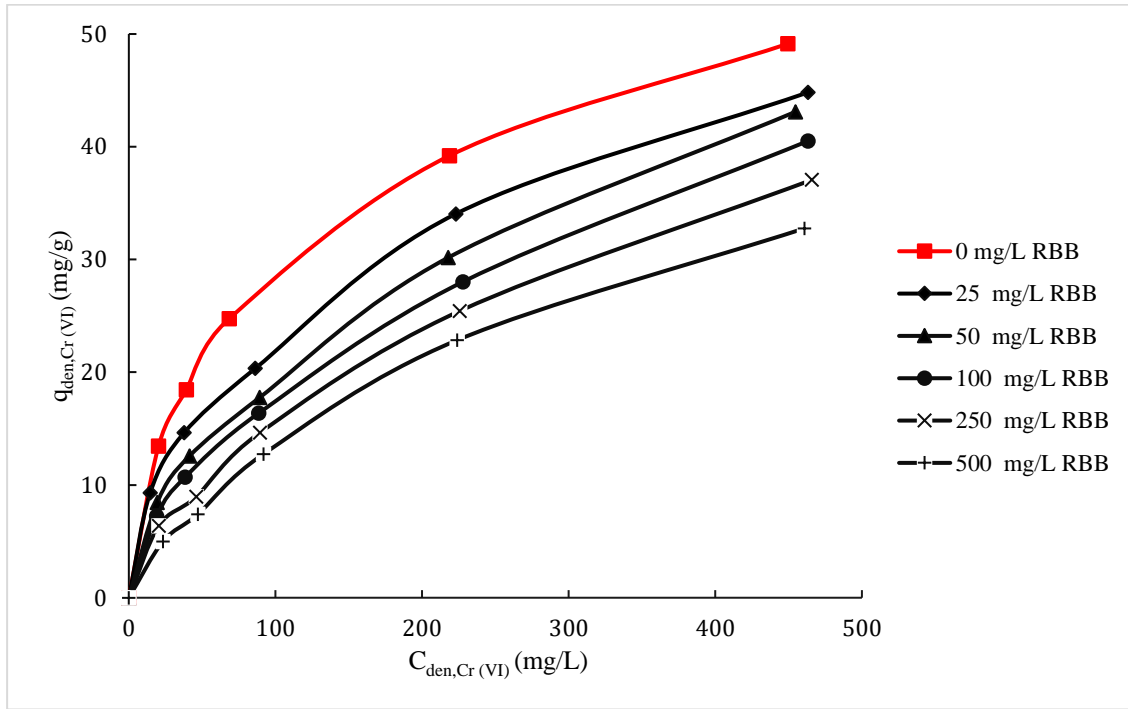
Çizelge 5.7. pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan

krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderimi (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

C_{o,RBB} (mg/L)	C_{o,Cr(VI)} (mg/L)	Q_{den,Cr(VI)} (mg/g)	r_{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	%Cr(VI) giderimi	Q_{den,RBB} (mg/g)	% RBB giderimi	C_{o,Cr(VI)} +RBB (mg/L)	Q_{den,Cr(VI)} +RBB (mg/g)	%Cr(VI) +RBB giderimi
0	26,7	13,4	0,089	50,2	0	0	26,7	13,4	50,2
0	52,7	18,4	0,126	34,9	0	0	52,7	18,4	34,9
0	101,3	28,8	0,185	28,4	0	0	101,3	28,8	28,4
0	255	39,2	0,298	15,4	0	0	255	39,2	15,4
0	498,7	49,1	0,389	9,8	0	0	498,7	49,1	9,8
26,6	23,9	9,3	0,074	38,9	18,1	68,0	50,5	27,4	54,3
25,2	49,1	14,7	0,101	29,9	18,4	73,0	74,3	33,1	44,5
24	101,5	20,3	0,136	20,0	18,5	77,1	125,5	38,8	30,9
24,7	252,8	34,1	0,263	13,5	19,9	80,6	277,5	54	19,5
24,2	503	44,8	0,344	8,9	20,2	83,5	527,2	65	12,3
53,7	27	8,4	0,065	31,1	29,6	55,1	80,7	38	47,1
50,9	52,3	10,9	0,088	20,8	28,2	55,4	103,2	39,1	37,9
48,2	100,1	14,1	0,126	14,1	28,6	59,3	148,3	42,7	28,8
51,7	248,1	30,2	0,241	12,2	31,1	60,2	299,8	61,3	20,4
50,1	497,8	43,1	0,31	8,7	32,3	64,5	547,9	75,4	13,8
102,9	26,3	7,2	0,053	27,4	45,2	43,9	129,2	52,4	40,6
97,6	49,1	10,7	0,078	21,8	45,4	46,5	146,7	56,1	38,2
96,5	98,4	13,7	0,115	13,9	46,6	48,3	194,9	60,3	30,9
103,5	255	27,2	0,22	10,7	51,7	50,0	358,5	78,9	22,0
98,1	503,9	40,5	0,287	8,0	53,6	54,6	602	94,1	15,6
252,3	25,1	4,7	0,048	18,7	77,7	30,8	277,4	82,4	29,7
252,8	52,7	6,7	0,067	12,7	79,1	31,3	305,5	85,8	28,1
247,1	102,5	12,9	0,102	12,6	80,3	32,5	349,6	93,2	26,7
247,8	251,1	25,4	0,202	10,1	82,1	33,1	498,9	107,5	21,5
253,3	503	37,1	0,265	7,4	86,8	34,3	756,3	123,9	16,4
499,1	24,9	3,6	0,035	14,5	98,2	19,7	524	101,8	19,4
502,1	51,1	4,1	0,054	8,0	99,5	19,8	553,2	103,6	18,7
503,7	99,6	7,6	0,09	7,6	101,1	20,1	603,3	108,7	18,0
500,7	246,8	18,1	0,171	7,3	102,9	20,6	747,5	121	16,2
498,6	493,5	32,8	0,226	6,6	104,8	21,0	992,1	137,6	13,9

5.1.2.2. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.5’te sunulmuştur. Şekilden yine çözeltilerdeki RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 5.5. pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.1.2.3. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, her bir deney seti için başlangıç krom(VI) iyon derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerinde sabit tutulurken, başlangıç RBB derişimi derişimi sabit tutulan her bir krom(VI) derişiminde 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç RBB derişiminin krom(VI) ve RBB iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak

etkileri araştırılmıştır. Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, RBB adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri Çizelge 5.8’de detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgeden, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyon derişiminde RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımındaki krom(VI) iyon derişimindeki artışın RBB adsorpsiyon hız ve verimini az da olsa artırdığı da aynı çizelgeden görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında krom(VI) bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 42,9 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,270 mg/g.dk ve % RBB giderimi % 43,2 olarak saptanmışken, aynı RBB derişiminde, ortamda 100 mg/L krom(VI) bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 46,6 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,303 mg/g.dk ve % RBB giderim değeri %48,3 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 100 mg/L RBB için dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı ve % RBB giderimi yaklaşık % 10 artarak sırasıyla 42,9 mg/g’dan 46,6 mg/g’a ve % 43,2’den % 48,3’e çıkmıştır.

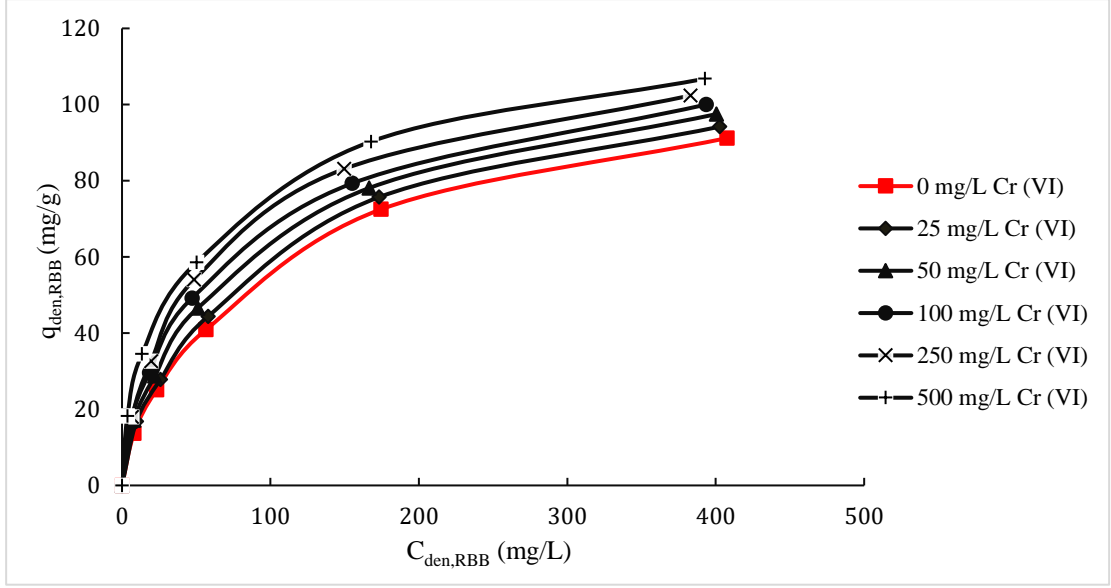
Çizelge 5.8. pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderimi (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

$C_{0,Cr(VI)}$ (mg/L)	$C_{0,RBB}$ (mg/L)	$q_{den,RBB}$	$r_{ad,RBB}$ (mg/g.dk)	% RBB giderimi	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	% Cr(VI) giderimi	$C_{0,RBB}$ +Cr(VI)	$q_{den,RBB}$ +Cr(VI) (mg/g)	% Cr(VI) +RBB giderimi
0	24,8	16,7	0,105	67,3	0	0	24,8	16,7	67,3
0	50,5	27,1	0,176	53,7	0	0	50,5	27,1	53,7
0	99,4	42,9	0,270	43,2	0	0	99,4	42,9	43,2
0	250,1	75,5	0,445	30,2	0	0	250,1	75,5	30,2
0	501,8	94,2	0,545	18,8	0	0	501,8	94,2	18,8

23,9	26,6	18,1	0,107	68,0	9,3	38,9	50,5	27,4	54,3
27	53,7	29,6	0,183	55,1	8,4	31,1	80,7	38,0	47,1
26,3	102,9	45,2	0,275	43,9	7,2	27,4	129,2	52,4	40,6
25,1	252,3	77,7	0,456	30,8	4,7	18,7	277,4	82,4	29,7
24,9	499,1	98,2	0,557	19,7	3,6	14,5	524	101,8	19,4
49,1	25,2	18,4	0,110	73,0	14,7	29,9	74,3	33,1	44,5
52,3	50,9	28,2	0,194	55,4	10,9	20,8	103,2	39,1	37,9
49,1	97,6	45,4	0,289	46,5	10,7	21,8	146,7	56,1	38,2
52,7	252,8	79,1	0,463	31,3	6,7	12,7	305,5	85,8	28,1
51,1	502,1	99,5	0,563	19,8	4,1	8,0	553,2	103,6	18,7
101,5	24	18,5	0,113	77,1	20,3	20,0	125,5	38,8	30,9
100,1	48,2	28,6	0,215	59,3	14,1	14,1	148,3	42,7	28,8
98,4	96,5	46,6	0,303	48,3	13,7	13,9	194,9	60,3	30,9
102,5	247,1	80,3	0,476	32,5	12,9	12,6	349,6	93,2	26,7
99,6	503,7	101,1	0,583	20,1	7,6	7,6	603,3	108,7	18,0
252,8	24,7	19,9	0,117	80,6	34,2	13,5	277,5	54,1	19,5
248,1	51,7	31,1	0,222	60,2	30,2	12,2	299,8	61,3	20,4
255	103,5	51,7	0,319	50,0	27,2	10,7	358,5	78,9	22,0
251,1	247,8	82,1	0,489	33,1	25,4	10,1	498,9	107,5	21,5
246,8	500,7	102,9	0,604	20,6	18,1	7,3	747,5	121,0	16,2
503	24,2	20,2	0,123	83,5	44,8	8,9	527,2	65	12,3
497,8	50,1	32,3	0,238	64,5	43,1	8,7	547,9	75,4	13,8
503,9	98,1	53,6	0,327	54,6	40,5	8,0	602	94,1	15,6
503	253,3	86,8	0,52	34,3	37,1	7,4	756,3	123,9	16,4
493,5	498,6	104,8	0,626	21,0	32,8	6,6	992,1	137,6	13,9

5.1.2.4. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı Krom(VI) Derişiminde RBB Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.6’da sunulmuştur. Şekilden yine çözeltideki krom(VI) iyon derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.6. pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyonu derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

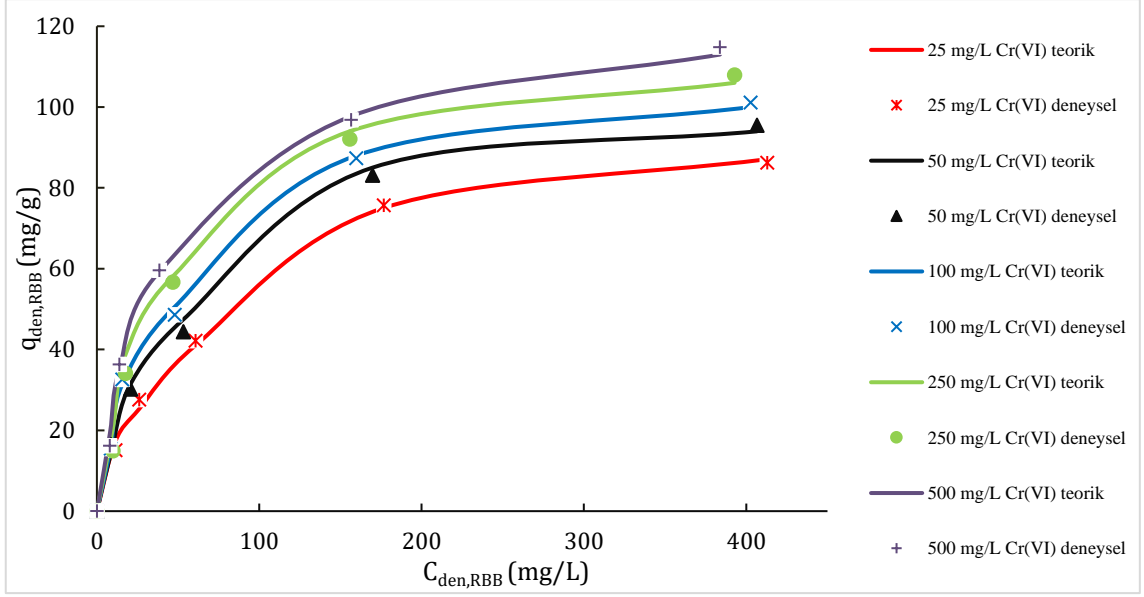
5.1.2.5. pH 2’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

pH’ı 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB bileşenlerinin birlikte adsorpsiyonunda, RBB’nin karışımdaki krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunu önemli ölçüde azalttığı (antagonistik etki), krom(VI) iyonlarının ise RBB adsorpsiyonunu az da olsa arttırdığı (sinerjistik etki) gözlenmiştir. Bu bağlamda, krom(VI) iyonları için antagonistik etkileşime göre türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.19) ve RBB için sinerjistik etkileşime göre türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.15) kullanılarak ikili karışım içindeki her bir bileşenin denge modellemesi yapılmış ve denge model sabitleri nonlineer regresyon yöntemiyle belirlenmiştir. Bulunan denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri Çizelge 5.9’da sunulmuştur. Çizelgeden sinerjistik ve antagonistik etkileşimler için türetilen ve kullanılan Langmuir modellerinin krom(VI)+RBB karışımlarının adsorpsiyon dengesini oldukça iyi tanımladığı söylenebilir.

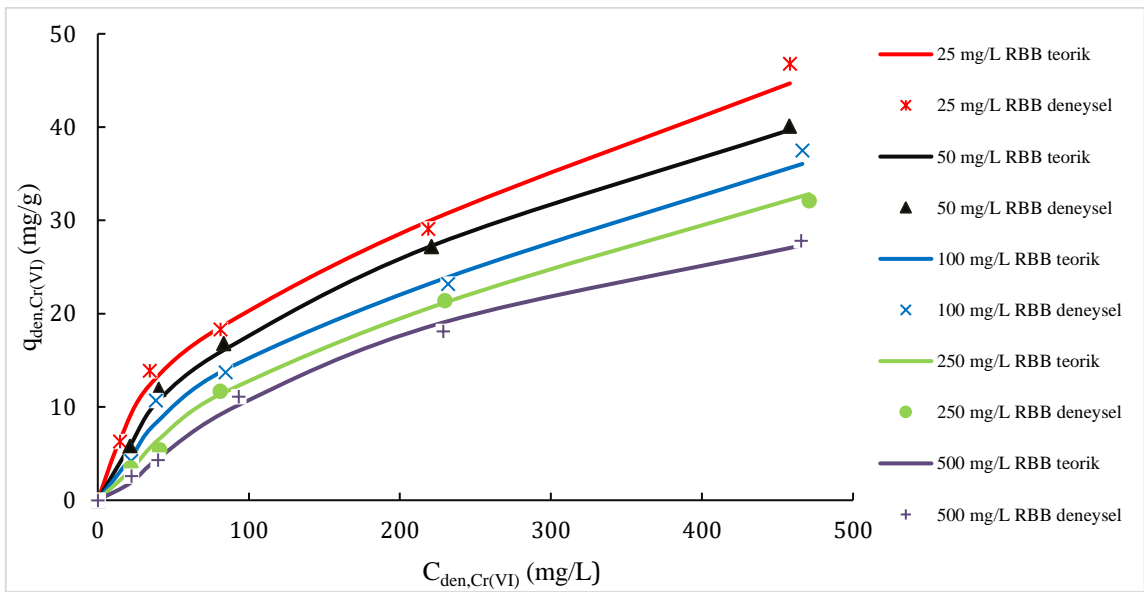
Çizelge 5.9. pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Krom(VI) varlığında RBB adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modeli		RBB varlığında krom(VI) adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik Langmuir Modeli	
RBB K ₁ : 1,182	Krom (VI) K ₂ : 0,161	RBB η ₁ : 1,718	Krom (VI) η ₂ : 8,226
% Ortalama Hata: 15,3		% Ortalama Hata: 10,5	

pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda, RBB bileşeni için iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden ve krom(VI) için iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen ve Çizelge 5.9.’da verilen model sabitleri kullanılarak, her bir farklı sabit bileşen derişiminde diğer bileşen için hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir denge eğrileri, karışım içindeki her bir bileşen için saptanan deneysel q_{den} değerleriyle Şekil 5.7. ve Şekil 5.8’de karşılaştırılarak her iki modelin uygunluğu araştırılmıştır. Her iki şekilden iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinin karışım içindeki RBB’nin ve iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinin karışım içindeki krom(VI)’nın denge davranışını oldukça iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.7. pH'ı 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının adsorpsiyonunda, her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)



Şekil 5.8. pH'ı 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının adsorpsiyonunda, her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

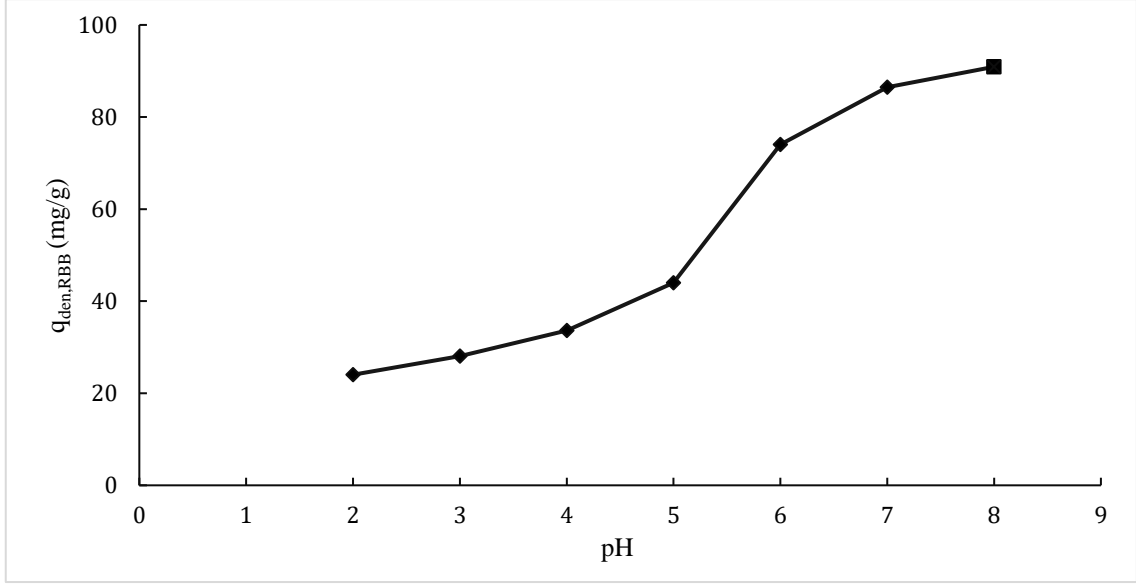
5.2. CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentle Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

5.2.1. Tek Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları

5.2.1.1. Remazol Black B Adsorpsiyon Çalışmaları

Başlangıç pH'ının Etkisi

25°C'de, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde, 707-850 µm tanecik boyut aralığındaki CTAB ile muamele edilmiş 1 g/L ŞPK adsorbentle başlangıç pH'nın adsorpsiyon kapasitesine etkisi pH 2-pH 8 aralığında incelenmiş, Şekil 5.9.'dan görüleceği üzere, en yüksek kapasite değeri pH 8'de bulunmuştur. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda en uygun çalışma pH değeri 2 iken, CTAB ile muamele edilmiş adsorbentle bu değer pH 8'e kaymıştır. Ayrıca pH 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentin RBB adsorpsiyon kapasitesi 42,9 mg/g iken, bu değer CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentiyle yüzeyin pozitif yüklenmesine bağlı olarak 90,9 mg/g'a çıkmıştır. Böylece adsorbentin CTAB ile ön muamelesi hem adsorpsiyon pH'ını daha uygulanabilir bir değere getirmiştir, hem de RBB adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde artırarak yaklaşık iki katına çıkarmıştır.



Şekil 5.9. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarına etkisi (T=25°C, C_o=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)

Başlangıç RBB Derişiminin Etkisi

Adsorpsiyonu sağlayan itici güç ΔC 'ye bağlı olarak başlangıç kirletici derişiminin artması adsorbentin adsorpsiyon hız ve kapasitesini artıran önemli bir parametredir. Çalışmaların bu kısmında pH 2 ve pH 8'de başlangıç RBB derişimi 500 mg/L'ye kadar artırılarak, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente başlangıç RBB derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon hızı, kapasitesi ve giderim değerleri Çizelge 5.10.'da sunulmuştur. Çizelgeden çalışılan her iki pH değerinde de başlangıç RBB derişimi arttıkça, adsorpsiyon hızının ve adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığı, % giderimin ise azaldığı, pH 8'de elde edilen hız ve kapasite değerlerinin ise pH 2'de elde edilen hız ve kapasite değerlerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir. pH 2'de 493,7 mg/L başlangıç RBB derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 56,8 mg/g iken, pH 8'de 498,5 mg/L başlangıç RBB derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 250,1 mg/'a çıkmıştır. pH 2'de ortamdaki aşırı derişimdeki H⁺ iyonları RBB anyonlarıyla etkileşmiş ve CTAB ile muamele edilmiş adsorbent yüzeye RBB anyonlarının adsorpsiyonunu azaltmıştır. pH 8'de ise ortamda H⁺ iyonlarının olmamasına bağlı olarak

CTAB ile muamele edilmiş pozitif yüklü adsorbent yüzeye RBB adsorpsiyonunu oldukça fazla artırmıştır.

Çizelge 5.10. pH 2’de ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda farklı başlangıç RBB derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2- pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbent pH 2				CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbent pH 8			
C _{o,RBB} (mg/L)	Γ _{ad,RBB} (mg/g.dk)	q _{den,RBB} (mg/g)	% RBB Giderimi	C _{o,RBB} (mg/L)	Γ _{ad,RBB} (mg/g.dk)	q _{den,RBB} (mg/g)	% RBB Giderimi
24,9	0,034	8,8	35,5	24,9	0,045	22,9	92,0
50,5	0,061	15,3	30,2	50,8	0,096	46,4	91,3
99,4	0,106	24,7	24,8	100,7	0,132	90,9	90,3
245,2	0,184	43,8	17,9	252,5	0,249	154,2	61,1
493,7	0,254	56,8	11,5	498,5	0,323	250,1	50,2

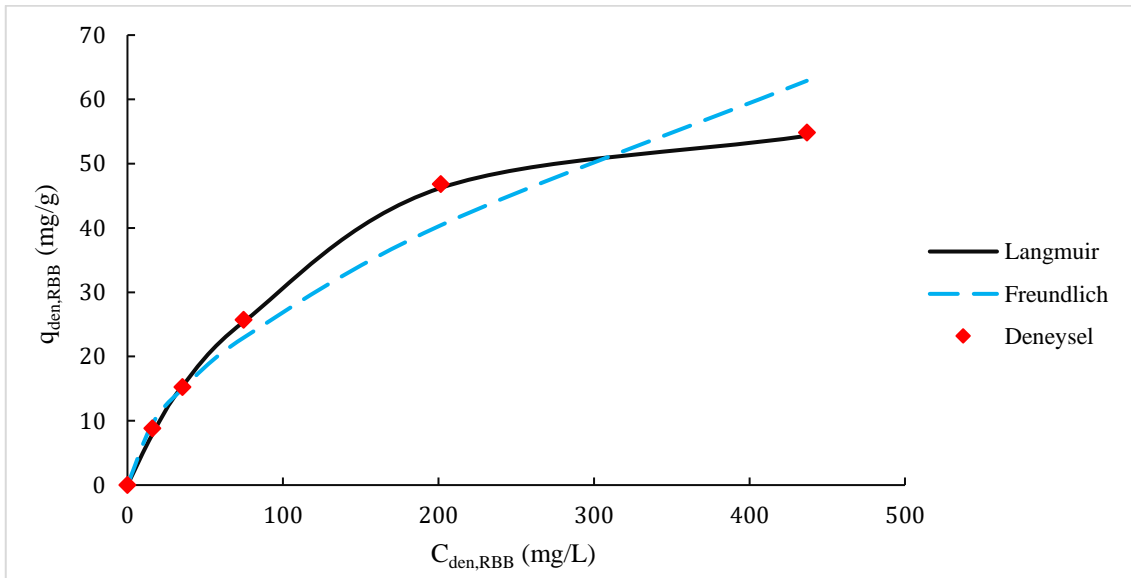
pH 2 ve pH 8’de RBB Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı (q_{den}) ile çözültide adsorplanmadan kalan RBB derişimi (C_{den}) arasındaki dengeyi matematiksel olarak tanımlamak için Langmuir ve Freundlich denge modelleri kullanılmıştır. Adsorpsiyon sisteminin bu modellerden hangisine en iyi uyduğunu belirlemek için Microsoft 360 Excel “çözücü” eklentili programının non-linear regresyon yöntemi kullanılarak bulunan model sabitleri Çizelge 5.11’de sunulmuştur. Çizelgeden çalışan her iki pH değerinde de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunun Langmuir Modeline daha iyi uyduğu, pH 2 ve pH 8’de adsorbentin en yüksek RBB adsorpsiyon kapasitesinin sırasıyla 61,5 mg/g ve 263,2 mg/g olduğu görülmektedir.

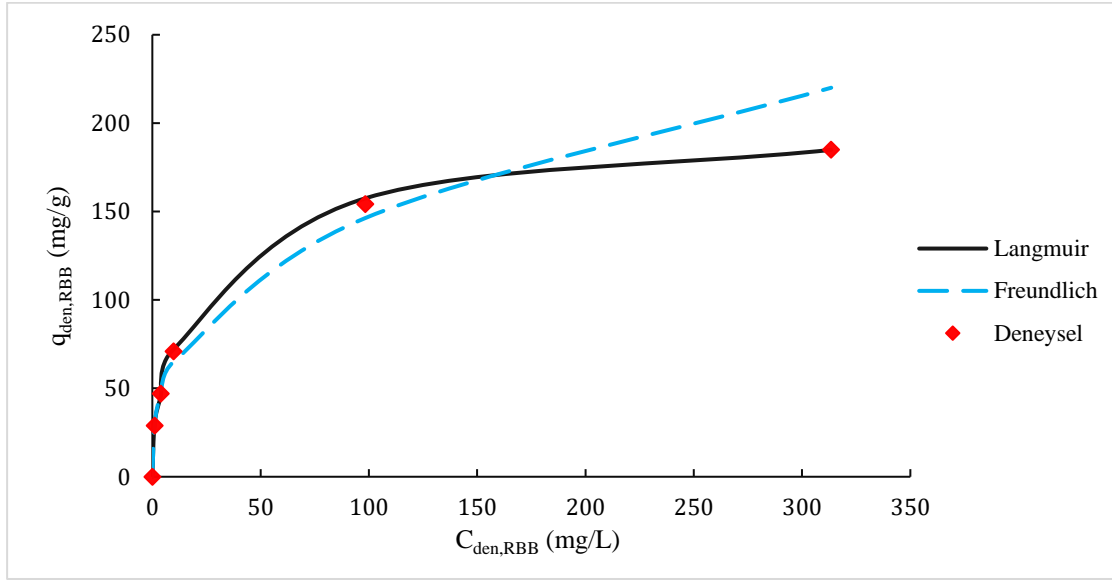
Çizelge 5.11. pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Langmuir Denge Modeli	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 2	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 8	Freundlich Denge Modeli	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 2	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 8
Q° (mg/g)	61,5	263,2	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	1,95	2,91
b (L/mg)	0,0075	0,0800	n	1,75	2,84
R ²	0,996	0,998	R ²	0,967	0,933

Çizelge 5.11.’de verilen model sabitleri kullanılarak hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir ve Freundlich denge eğrileri, deneysel q_{den} değerleriyle pH 2 için Şekil 5.10.’da ve pH 8 için de Şekil 5.11.’de karşılaştırılarak tekrar hangi modelin deneysel noktalara en çok yaklaştığı araştırılmıştır. Şekilden yine çalışılan her iki pH değerinde de Langmuir Modelinin CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunu daha iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.10. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermelerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

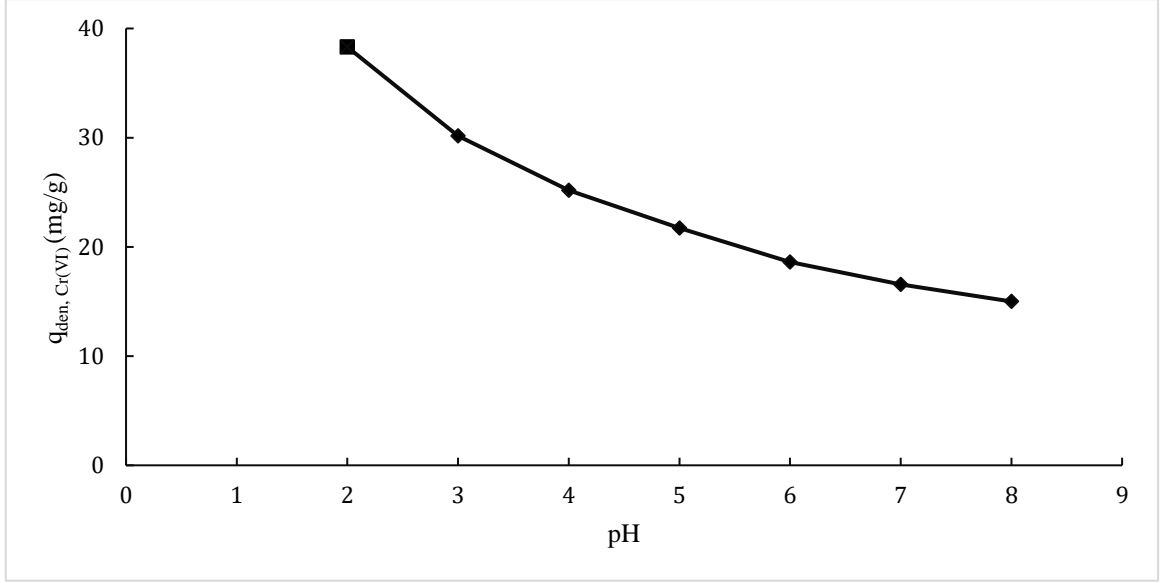


Şekil 5.11. pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.2.1.2. Krom (VI) Adsorpsiyon Çalışmaları

Başlangıç pH’ının Etkisi

25°C’de, 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde, 707-850 µm tanecik boyut aralığındaki 1 g/L CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle başlangıç pH’nın adsorpsiyon kapasitesine etkisi pH 2 ve pH 8 aralığında incelenmiş, Şekil 5.12.’den görüleceği üzere, en yüksek kapasite değeri pH 2’de bulunmuştur. Adsorbentin CTAB ile muamele edilmesinin, kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle en uygun çalışma pH’ı olarak bulunan pH 2 değerini değiştirmediği, ancak daha yüksek hız ve kapasite değerlerinin elde edildiği görölmektedir. 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda denge adsorpsiyon kapasitesi 28,8 mg/g iken, bu değer CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda yaklaşık % 25 artarak 38,3 mg/g bulunmuştur. pH 8’de ise kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentlerin krom(VI) adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 12,6 mg/g ve % 20 artışla 15,7 mg/g olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.12. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarına etkisi (T=25°C, C₀=100 mg/L, X=1 g/L, K.H.= 120 rpm)

Başlangıç Krom (VI) Derişiminin Etkisi

Çalışmaların bu kısmında pH 2 ve pH 8'de başlangıç krom(VI) derişimi 500 mg/L'ye kadar artırılarak, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente başlangıç krom(VI) derişiminin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Farklı başlangıç krom(VI) iyon derişimlerinde elde edilen adsorpsiyon hızı, kapasitesi ve giderim değerleri Çizelge 5.12.'de sunulmuştur. Çizelgeden çalışılan her iki pH değerinde de başlangıç krom(VI) iyon derişimi arttıkça, adsorpsiyon hızının ve adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığı, % giderimin azaldığı, pH 2'de elde edilen hız ve kapasite değerlerinin ise pH 8'de elde edilen hız ve kapasite değerlerinden yaklaşık iki katı daha yüksek olduğu görülmektedir. pH 2'de 500,4 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı 69,0 mg/g iken, pH 8'de 502,2 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı 37,1 mg/'a inmiştir. Adsorbentin CTAB ile muamelesinin yüzey yükünü daha da pozitiflemesiyle pH 2'deki krom(VI) adsorpsiyonunun daha da arttığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.12. pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç krom(VI) derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarları, adsorpsiyon hızları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbent pH 2				CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbent pH 8			
C _{o,Cr(VI)} (mg/L)	r _{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	q _{den,Cr(VI)} (mg/g)	% Krom (VI) Giderimi	C _{o,Cr(VI)} (mg/L)	r _{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	q _{den,Cr(VI)} (mg/g)	% Krom (VI) Giderimi
26,3	0,040	13,8	52,5	25,3	0,029	6,0	23,7
51,3	0,059	20,9	40,7	49,1	0,051	10,9	22,2
101,1	0,095	38,3	37,9	99,6	0,067	15,7	15,4
248,5	0,168	56,5	22,7	251,5	0,147	29,7	11,8
500,4	0,255	69,0	13,8	502,2	0,199	37,1	7,4

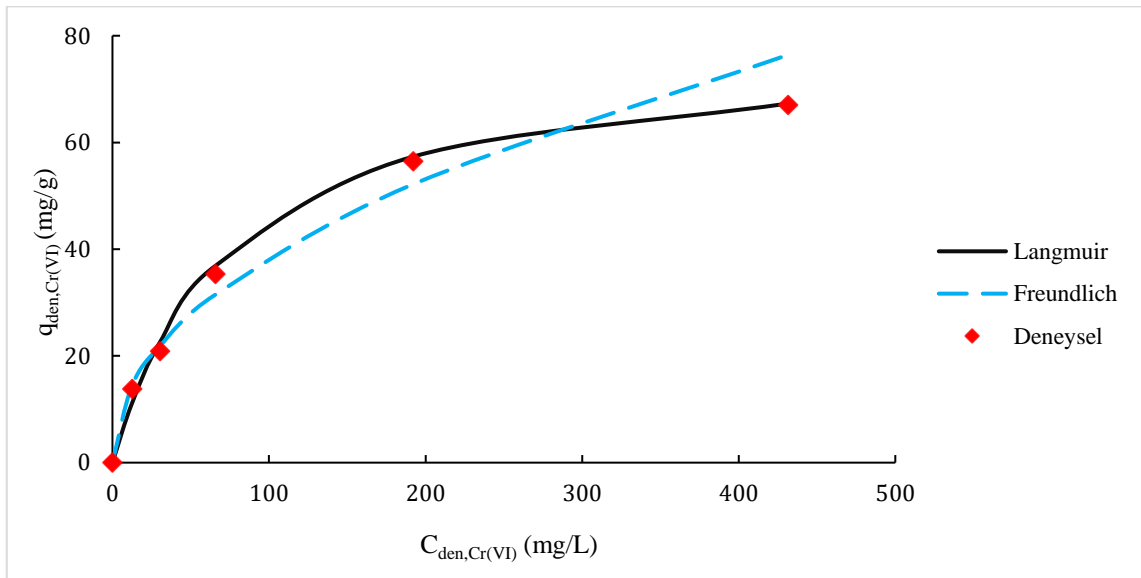
pH 2 ve pH 8’de Krom (VI) Adsorpsiyon Dengesinin Modellenmesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı (q_{den}) ile çözeltilde adsorplanmadan kalan krom(VI) derişimi (C_{den}) arasındaki dengeyi matematiksel olarak tanımlamak için Langmuir ve Freundlich denge modelleri kullanılmıştır. Adsorpsiyon sisteminin bu modellerden hangisine en iyi uyduğunu belirlemek için Microsoft 360 Excel “çözücü” eklentili programının non-linear regresyon yöntemi kullanılarak bulunan model sabitleri Çizelge 5.13’te sunulmuştur. Çizelgeden çalışan her iki pH değerinde de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunun Langmuir Modeline daha iyi uyduğu, pH 2 ve pH 8’de adsorbentin en yüksek krom(VI) adsorpsiyon kapasitesinin sırasıyla 74,6 mg/g ve 43,5 mg/g olduğu görülmektedir.

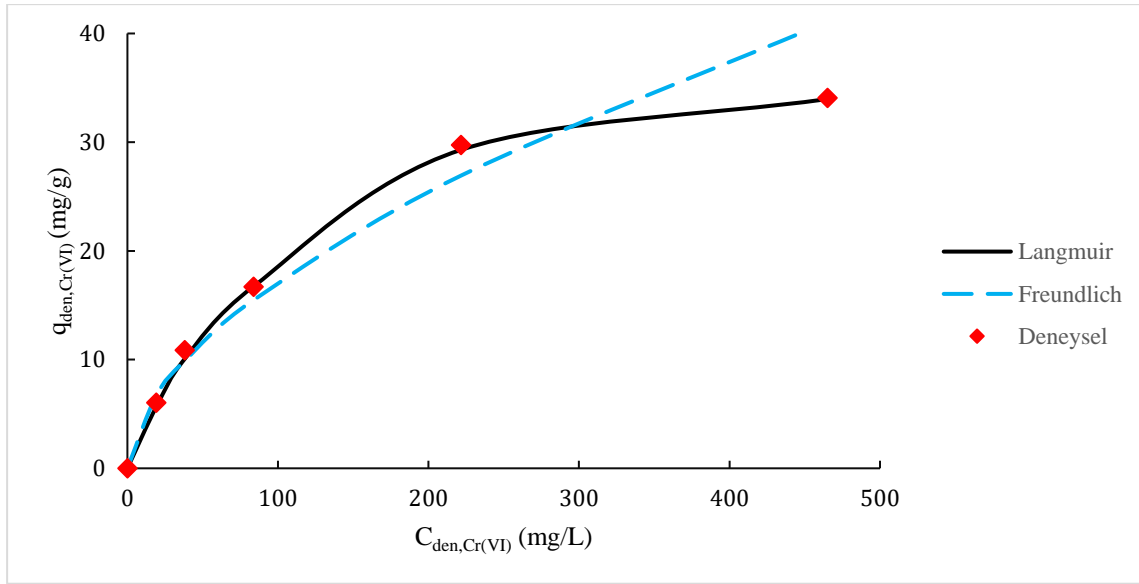
Çizelge 5.13. pH 2 ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich denge modelinden elde edilen denge model sabitleri (pH=2 ve pH=8, T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Langmuir Modeli	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 2	CTAB-ŞPK Adsorbent pH 8	Freundlich Modeli	CTAB -ŞPK Adsorbent pH 2	CTAB -ŞPK Adsorbent pH 8
Q^0 (mg/g)	74,6	43,5	K_F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	4,38	1,24
b (L/mg)	0,0128	0,0069	n	2,12	1,76
R^2	0,996	0,993	R^2	0,951	0,942

Çizelge 5.13.’te verilen model sabitleri kullanılarak hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir ve Freundlich denge eğrileri, deneysel q_{den} değerleriyle pH 2 için Şekil 5.13.’te ve pH 8 için de Şekil 5.14.’te karşılaştırılarak tekrar hangi modelin deneysel noktalara en çok yaklaştığı araştırılmıştır. Şekilden yine çalışılan her iki pH değerinde de Langmuir Modelinin CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunu daha iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.13. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)



Şekil 5.14. pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen deneysel denge verilerinin Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen teorik izotermelerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.2.2. İki Bileşenli Adsorpsiyon Çalışmaları

Krom(VI) ve RBB kirleticilerinin CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonuyla birlikte gideriminde de yine bu bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyonunu azalttığı/arttırdığı gibi etkilerinin bulunduğu gözlenmiştir. Tez çalışmasının bu kısmında bu kirleticilerin ikili karışımlarının 707-850 µm boyut aralığındaki CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonu, her bir bileşenin en uygun çalışma pH’ının farklı olmasına istinaden hem pH 2’de hem de pH 8’de incelenmiştir.

5.2.2.1. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI)+RBB adsorpsiyonunda, her bir deney seti için başlangıç RBB derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerinde sabit tutulurken, başlangıç krom(VI) derişimi 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç krom(VI) iyon derişiminin RBB ve krom(VI) iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri araştırılmıştır. Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi

başına adsorplanan krom(VI) miktarları, krom(VI) adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri Çizelge 5.14'te detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgeden, pH 2'de sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde krom(VI) derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımdaki RBB derişimindeki artışın krom(VI) iyon adsorpsiyon hız, kapasite ve verimini önemli ölçüde azalttığı da aynı çizelgeden görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında RBB bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı 38,3 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,095 mg/g.dk ve % krom(VI) giderimi %37,9 olarak saptanmışken, aynı krom(VI) iyon derişiminde, ortamda 100 mg/L RBB bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının 17,2 mg/g'a, adsorpsiyon hızı 0,115 mg/g.dk'ya ve % krom(VI) giderim değeri %17,0'ye düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumda dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı ve % krom(VI) giderimi iki katından fazla azalmıştır.

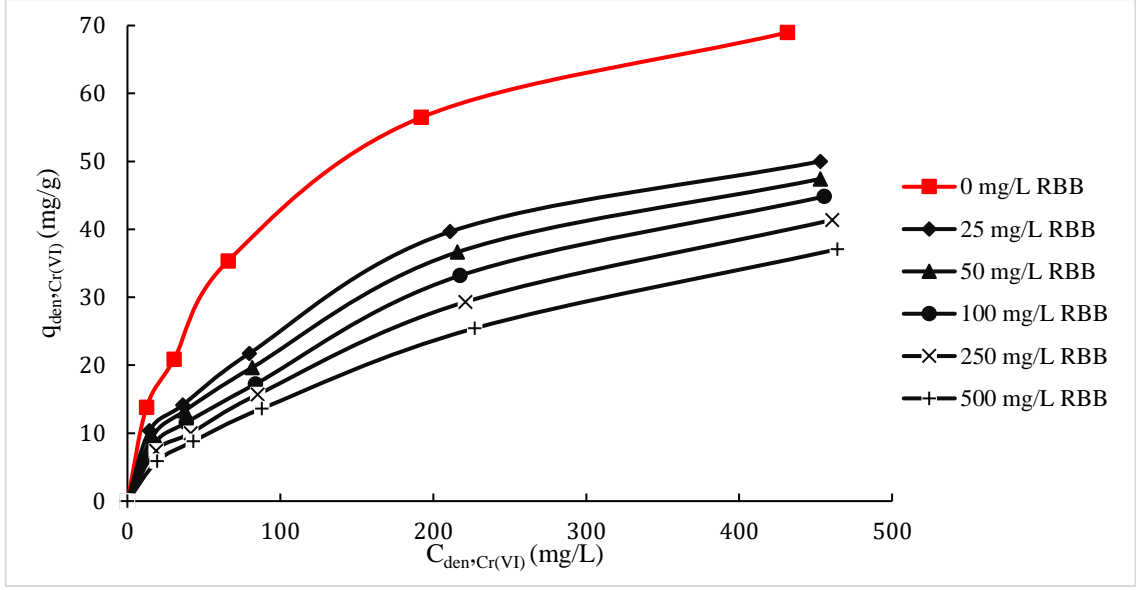
Çizelge 5.14. pH 2'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,Cr(VI)} (mg/L)	q _{den,Cr(VI)} (mg/g)	r _{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	%Cr(VI) giderimi	q _{den,RBB} (mg/g)	% RBB giderimi	C _{0,Cr(VI) +RBB} (mg/L)	q _{den, Cr(VI)+ RBB} (mg/g)	% Cr(VI) +RBB giderimi
0	26,3	13,8	0,04	52,5	0	0	26,3	13,8	52,5
0	51,3	20,9	0,059	40,7	0	0	51,3	20,9	40,7
0	101,1	38,3	0,095	37,9	0	0	101,1	38,3	37,9
0	248,5	56,5	0,168	22,7	0	0	248,5	56,5	22,7
0	500,4	69	0,255	13,8	0	0	500,4	69	13,8

26	24,7	10,3	0,038	41,7	9,4	36,2	50,7	19,7	38,9
24,9	50,3	14,1	0,057	28,0	10	40,2	75,2	24,1	32,0
25,6	101,3	21,7	0,087	21,4	10,6	41,4	126,9	32,3	25,5
26,3	250,6	35,3	0,158	14,1	11,1	42,2	276,9	46,4	16,8
24,9	503	67,2	0,245	13,4	11,5	46,2	527,9	78,7	14,9
51,5	25,8	9,5	0,033	36,8	16,5	32,0	77,3	26	33,6
51,2	50,6	13,3	0,055	26,3	17,3	33,8	101,8	30,6	30,1
51,8	101,1	19,7	0,08	19,5	18,8	36,3	152,9	38,5	25,2
51,7	252,4	33,2	0,146	13,2	20,1	38,9	304,1	53,3	17,5
50,2	500,4	60,3	0,239	12,1	21,9	43,6	550,6	82,2	14,9
99,3	25,9	8,4	0,031	32,4	27,4	27,6	125,2	35,8	28,6
101,2	49,9	11,6	0,049	23,2	30,3	29,9	151,1	41,9	27,7
101,1	100,9	17,2	0,069	17,0	33,3	32,9	202	50,5	25,0
100,7	250,6	30,6	0,138	12,2	36,2	35,9	351,3	66,8	19,0
100,4	500,4	52,6	0,213	10,5	38,9	38,7	600,8	91,5	15,2
248,8	26,1	7,4	0,028	28,4	47,5	19,1	274,9	54,9	20,0
249,3	51,3	10	0,04	19,5	51,3	20,6	300,6	61,3	20,4
250,3	100,8	15,7	0,064	15,6	55,3	22,1	351,1	71	20,2
249,7	250,2	27,2	0,117	10,9	59,4	23,8	499,9	86,6	17,3
251,1	502,2	44,8	0,173	8,9	63,9	25,4	753,3	108,7	14,4
501,2	25,4	5,9	0,025	23,2	62,3	12,4	526,6	68,2	13,0
502,6	51,8	8,3	0,034	16,0	68,9	13,7	554,4	77,2	13,9
500,5	101,5	13,1	0,056	12,9	74,6	14,9	602	87,7	14,6
502,3	252,4	24,6	0,109	9,7	86,2	17,2	754,7	110,8	14,7
500,4	501,3	34,5	0,155	6,9	89	17,8	1001,7	123,5	12,3

5.2.2.2. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.15’te sunulmuştur. Şekilden yine çözeltideki RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 5.15. pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.2.2.3. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, her bir deney seti için başlangıç krom(VI) iyon derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerinde sabit tutulurken, başlangıç RBB derişimi sabit tutulan her bir krom(VI) derişiminde 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç RBB derişiminin krom(VI) ve RBB iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri araştırılmıştır. Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, RBB adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri Çizelge 5.14’te detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgeden, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyon derişiminde RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımdaki krom(VI) iyon derişimindeki artışın RBB adsorpsiyon hız, kapasite ve verimini önemli ölçüde arttırdığı da aynı çizelgeden

görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında krom(VI) bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 24,7 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,106 mg/g.dk ve % RBB giderimi %24,8 olarak saptanmışken, aynı RBB derişiminde, ortamda 100 mg/L krom(VI) bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 33,3 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,303 mg/g.dk ve % RBB giderim değeri %32,9 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 100 mg/L RBB için dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı ve % RBB giderimi yaklaşık % 30 artmıştır.

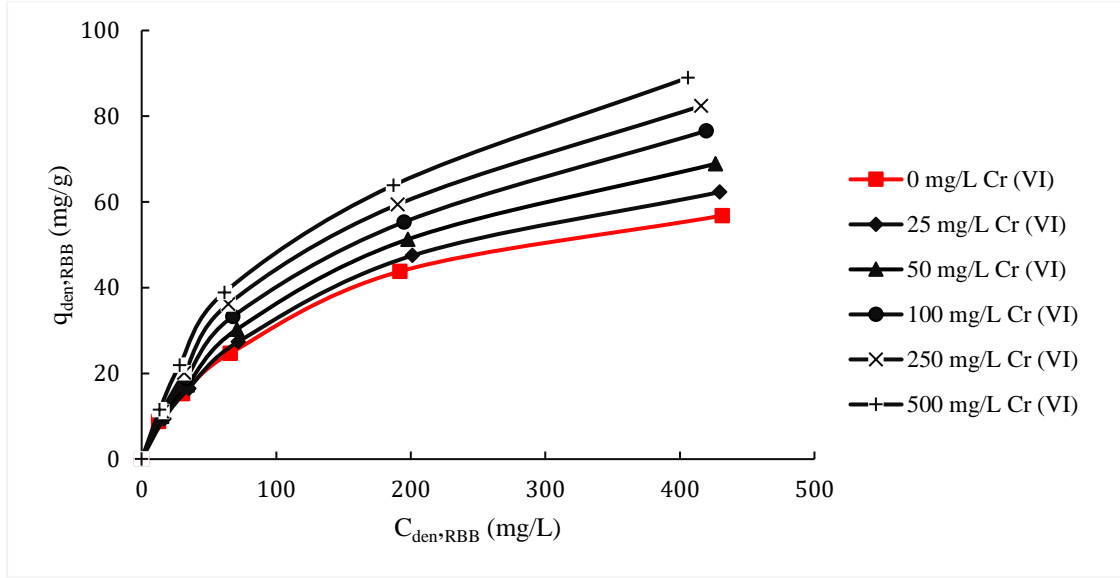
Çizelge 5.15. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değıştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değeri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değeri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değeri (T=25°C, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

C _{0,Cr(VI)} (mg/L)	C _{0,RBB} (mg/L)	q _{den,RBB}	r _{ad,RBB} (mg/g.dk)	% RBB giderimi	q _{den,Cr(VI)} (mg/g)	% Cr(VI) giderimi	C _{0,RBB} +Cr(VI)	q _{den,RBB} +Cr(VI) (mg/g)	% Cr(VI) +RBB giderimi
0	24,9	8,8	0,034	35,3	0	0	24,9	8,8	35,3
0	50,5	15,3	0,061	30,3	0	0	50,5	15,3	30,3
0	99,4	24,7	0,106	24,8	0	0	99,4	24,7	24,8
0	245,2	43,8	0,184	17,9	0	0	245,2	43,8	17,9
0	493,7	56,8	0,254	11,5	0	0	493,7	56,8	11,5
24,7	26	9,4	0,039	36,2	10,3	41,7	50,7	19,7	38,9
25,8	51,5	16,5	0,065	32,0	9,5	36,8	77,3	26	33,6
25,9	99,3	27,4	0,111	27,6	8,4	32,4	125,2	35,8	28,6
26,1	248,8	47,5	0,209	19,1	7,4	28,4	274,9	54,9	20,0
25,4	501,2	62,3	0,259	12,4	5,9	23,2	526,6	68,2	13,0
50,3	24,9	10	0,04	40,2	14,1	28,0	75,2	24,1	32,0
50,6	51,2	17,3	0,07	33,8	13,3	26,3	101,8	30,6	30,1
49,9	101,2	30,3	0,114	29,9	11,6	23,2	151,1	41,9	27,7
51,3	249,3	51,3	0,219	20,6	10	19,5	300,6	61,3	20,4
51,8	502,6	68,9	0,266	13,7	8,3	16,0	554,4	77,2	13,9

101,3	25,6	10,6	0,042	41,4	21,7	21,4	126,9	32,3	25,5
101,1	51,8	18,8	0,071	36,3	19,7	19,5	152,9	38,5	25,2
100,9	101,1	33,3	0,124	32,9	17,2	17,0	202	50,5	25,0
100,8	250,3	55,3	0,223	22,1	15,7	15,6	351,1	71	20,2
101,5	500,5	74,6	0,276	14,9	13,1	12,9	602	87,7	14,6
250,6	26,3	11,1	0,044	42,2	35,3	14,1	276,9	46,4	16,8
252,4	51,7	20,1	0,072	38,9	33,2	13,2	304,1	53,3	17,5
250,6	100,7	36,2	0,127	35,9	30,6	12,2	351,3	66,8	19,0
250,2	249,7	59,4	0,234	23,8	27,2	10,9	499,9	86,6	17,3
252,4	502,3	86,2	0,282	17,2	24,6	9,7	754,7	110,8	14,7
503	24,9	11,5	0,045	46,2	67,2	13,4	527,9	78,7	14,9
500,4	50,2	21,9	0,072	43,6	60,3	12,1	550,6	82,2	14,9
500,4	100,4	38,9	0,13	38,7	52,6	10,5	600,8	91,5	15,2
502,2	251,1	63,9	0,239	25,4	44,8	8,9	753,3	108,7	14,4
501,3	500,4	89,8	0,291	17,9	34,5	6,9	1001,7	124,3	12,4

5.2.2.4. pH 2’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı Krom(VI) Derişiminde RBB Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.16’da sunulmuştur. Şekilden yine çözeltildeki krom(VI) iyon derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarının oldukça arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.16. pH 2’de RBB+krom(VI) karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyonu derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon izotermi (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

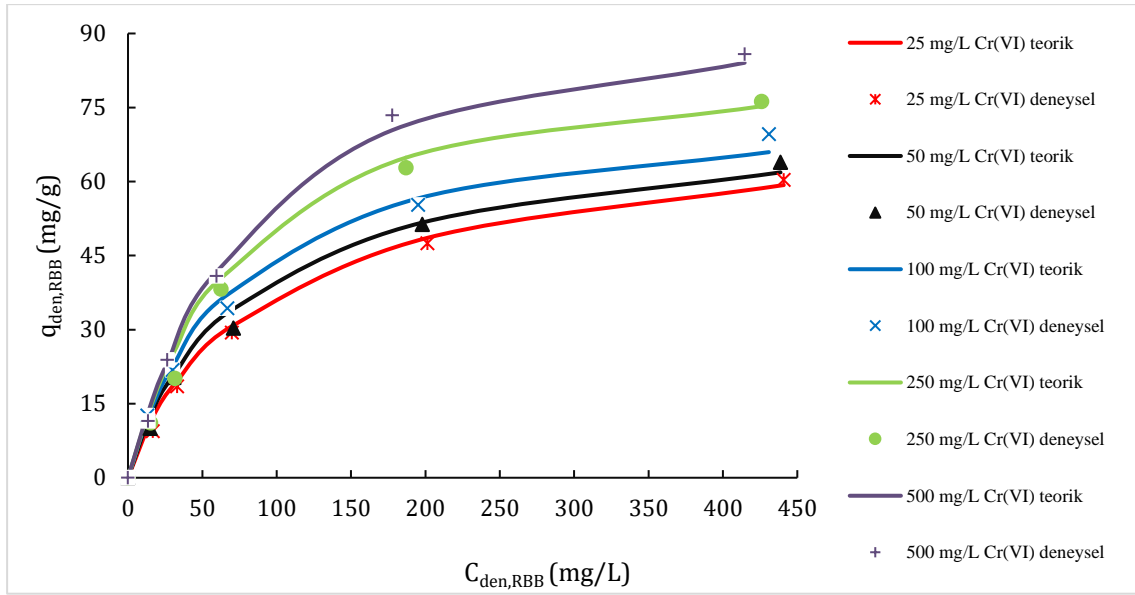
5.2.2.5. pH 2’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

pH’ı 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının birlikte adsorpsiyonunda, RBB’nin karışımdaki krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunu yaklaşık 2 katı azalttığı (antagonistik etki), krom(VI) iyonlarının ise RBB adsorpsiyonunu oldukça (%30 civarında) arttırdığı (sinerjistik etki) gözlenmiştir. Bu bağlamda, krom(VI) iyonları için antagonistik etkileşime göre türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.19) ve RBB için sinerjistik etkileşime göre türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.16) kullanılarak ikili karışım içindeki her bir bileşenin denge modellemesi yapılmış ve denge model sabitleri nonlineer regresyon yöntemiyle belirlenmiştir. Bulunan denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri Çizelge 5.16’da sunulmuştur. Çizelgede sinerjistik ve antagonistik etkileşimler için türetilen ve kullanılan Langmuir modellerinin krom(VI)+RBB karışımlarının adsorpsiyon dengesini oldukça iyi tanımladığı söylenebilir.

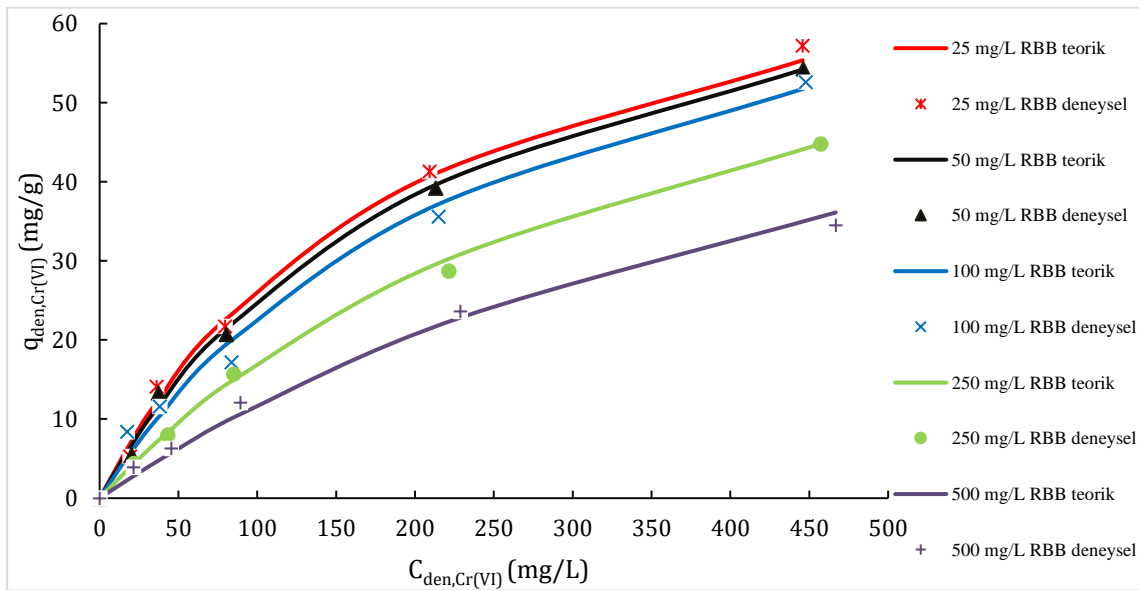
Çizelge 5.16. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Krom(VI) varlığında RBB adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modeli		RBB varlığında krom(VI) adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik Langmuir Modeli	
RBB K ₁ : 1,012	Krom (VI) K ₂ : 0,987	RBB η ₁ : 2,450	Krom (VI) η ₂ : 1,535
% Ortalama Hata: 14,7		% Ortalama Hata: 18,3	

pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda, RBB bileşeni için iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden ve krom(VI) için iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen ve Çizelge 5.16.’da verilen model sabitleri kullanılarak, her bir farklı sabit bileşen derişiminde diğer bileşen için hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir denge eğrileri, karışım içindeki her bir bileşen için saptanan deneysel q_{den} değerleriyle Şekil 5.17. ve Şekil 5.18’de karşılaştırılarak her iki modelin uygunluğu araştırılmıştır. Her iki şekilden pH 2’de iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinin karışım içindeki RBB’nin ve iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinin karışım içindeki krom(VI)’nın denge davranışını oldukça iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.17. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)



Şekil 5.18. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

5.2.2.6. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir RBB Derişiminde Başlangıç Krom(VI) İyon Derişiminin RBB ve Krom(VI) İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI)+RBB adsorpsiyonunda her bir deney seti için başlangıç RBB derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerinde sabit tutulurken, başlangıç krom(VI) derişimi derişimi sabit tutulan her bir RBB derişiminde 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç krom(VI) iyon derişiminin RBB ve krom(VI) iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarları, krom(VI) adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarı ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri Çizelge 5.17’de detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgeden, pH 8’de sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde krom(VI) derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımındaki RBB derişimindeki artışın krom(VI) iyon adsorpsiyon hız, kapasite ve verimini yaklaşık % 35 civarında azalttığı da aynı çizelgeden görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında RBB bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı 15,3 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,067 mg/g.dk ve % krom(VI) giderimi %15,4 olarak saptanmışken, aynı krom(VI) iyon derişiminde, ortamda 100 mg/L RBB bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının 10,5 mg/g’a, adsorpsiyon hızı 0,064 mg/g.dk’ya ve % krom(VI) giderim değerinin %10,5’e düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumda dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) miktarı ve % krom(VI) giderimi yaklaşık % 35 azalmıştır.

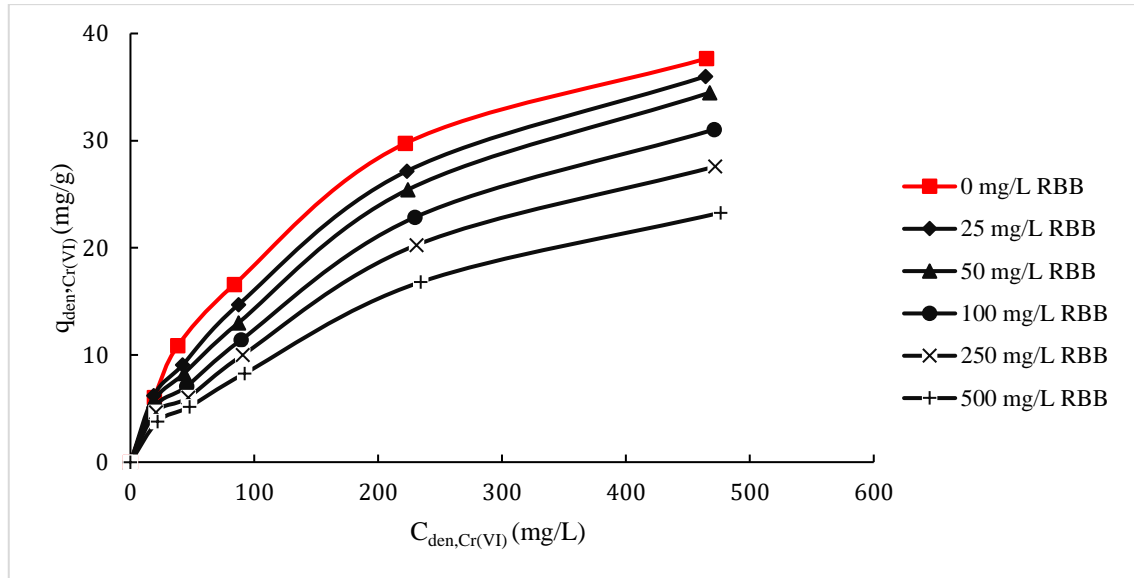
Çizelge 5.17. pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir RBB derişiminde başlangıç krom(VI) iyon derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları, adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri ile toplam RBB+krom(VI) derişimi, birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan krom(VI)+RBB miktarları ve toplam % krom(VI)+RBB giderim değerleri (T=25°C, X=1,0 g/L, K.H.=120 rpm)

C_{o,RBB} (mg/L)	C_{o,Cr(VI)} (mg/L)	q_{den,Cr(VI)} (mg/g)	r_{ad,Cr(VI)} (mg/g.dk)	%Cr(VI) giderimi	q_{den,RBB} (mg/g)	% RBB giderimi	C_{o,Cr(VI)} +RBB (mg/L)	q_{den,Cr(VI)} +RBB (mg/g)	% Cr(VI) +RBB giderimi
0	25,3	6,0	0,029	23,7	0	0	25,3	6	23,7
0	49,1	10,9	0,051	22,2	0	0	49,1	10,9	22,2
0	99,6	15,3	0,067	15,4	0	0	99,6	15,3	15,4
0	251,5	29,7	0,147	11,8	0	0	251,5	29,7	11,8
0	502,2	37,1	0,199	7,4	0	0	502,2	37,1	7,4
25,1	25,1	5,9	0,028	23,5	23,9	95,2	50,2	29,8	59,4
24,5	51,1	9,1	0,05	17,8	23,5	95,9	75,6	32,6	43,1
25,7	101,1	14	0,066	13,8	24,9	96,9	126,8	38,9	30,7
25,4	250,2	27,2	0,141	10,9	24,8	97,6	275,6	52	18,9
25,1	501,3	36,1	0,196	7,2	25,1	100,0	526,4	61,2	11,6
49,3	24,6	5,7	0,027	23,2	46,7	94,7	73,9	52,4	70,9
49,6	51,5	8,3	0,05	16,1	47,2	95,2	101,1	55,5	54,9
51,2	99,4	12,2	0,065	12,3	49	95,7	150,6	61,2	40,6
51	249,4	25,4	0,138	10,2	49,5	97,1	300,4	74,9	24,9
50,5	502,2	34,5	0,191	6,9	50,4	99,8	552,7	84,9	15,4
97,5	24,9	5,2	0,026	20,9	91,9	94,3	122,4	97,1	79,3
100,3	52,3	7,1	0,048	13,6	94,8	94,5	152,6	101,9	66,8
101,3	99,7	10,5	0,064	10,5	96,2	95,0	201	106,7	53,1
99,5	252,4	22,8	0,136	9,0	96,3	96,8	351,9	119,1	33,8
100,5	502,2	31	0,187	6,2	98,6	98,1	602,7	129,6	21,5
248,1	25,3	4,7	0,026	18,6	158,2	63,8	273,4	162,9	59,6
246,2	52,7	6	0,048	11,4	161,8	65,7	298,9	167,8	56,1
251,6	99,7	9,1	0,063	9,1	169,3	67,3	351,3	178,4	50,8
250,7	251,1	20,3	0,126	8,1	177,7	70,9	501,8	198	39,5
251,1	499,6	27,6	0,183	5,5	185,9	74,0	750,7	213,5	28,4
500,4	25,8	3,8	0,025	14,7	265,9	53,1	526,2	269,7	51,3
502,5	52,8	5,2	0,046	9,8	281,7	56,1	555,3	286,9	51,7

501,5	100,4	8,3	0,062	8,3	299,7	59,8	601,9	308	51,2
500,2	251,1	16,8	0,119	6,7	317,7	63,5	751,3	334,5	44,5
501,1	499,6	23,3	0,173	4,7	336,5	67,2	1000,7	359,8	36,0

5.2.2.7. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 8’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.19’da sunulmuştur. Şekilden yine çözeltideki RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 5.19. pH 8’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.2.2.8. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Krom(VI) Derişiminde Başlangıç RBB İyon Derişiminin Krom(VI) ve RBB İyonlarının Adsorpsiyon Hız ve Kapasitesine Ortak Etkileri

pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI)+RBB adsorpsiyonunda, her bir deney seti için başlangıç krom(VI) iyon derişimi 25, 50, 100, 250 ve 500 mg/L

değerinde sabit tutulurken, sabit tutulan her bir krom(VI) derişiminde başlangıç RBB derişimi 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek, başlangıç RBB derişiminin krom(VI) ve RBB iyonlarının adsorpsiyon hız ve kapasitesine ortak etkileri araştırılmıştır. Elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarları, RBB adsorpsiyon hızı ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri Çizelge 5.18’de detaylı olarak sunulmuştur. Çizelgeden, sabit tutulan her bir farklı krom(VI) iyon derişiminde RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarının ve adsorpsiyon hızının arttığı, ancak % giderim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Ayrıca karışımındaki krom(VI) iyon derişimindeki artışın özellikle yüksek RBB derişimlerinde RBB adsorpsiyon hız, kapasite ve verimini önemli ölçüde arttırdığı da aynı çizelgeden görülmektedir. Örneğin, adsorpsiyon ortamında krom(VI) bulunmadığı durumda, 100 mg/L başlangıç RBB derişiminde dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 90,9 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,132 mg/g.dk ve % RBB giderimi %90,3 olarak saptanmışken, aynı RBB derişiminde, ortamda 100 mg/L krom(VI) bulunduğunda, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 96,2 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,147 mg/g.dk ve % RBB giderim değeri %95,0 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 100 mg/L RBB için dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı ve % RBB giderimi yaklaşık % 10 artmıştır.

Krom(VI) iyonlarının bulunmadığı 500 mg/L RBB derişimi içeren adsorpsiyon ortamında, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 250,1 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,323 mg/g.dk ve % RBB giderimi %50,2 olarak saptanmışken, 500 mg/L krom(VI) ve 500 mg/L RBB karışımı içeren adsorpsiyon ortamında, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı 336,5 mg/g, adsorpsiyon hızı 0,361 mg/g.dk ve % RBB giderim değeri %67,2 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda 500 mg/L RBB için dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB miktarı ve % RBB giderimi yaklaşık % 35 artmıştır.

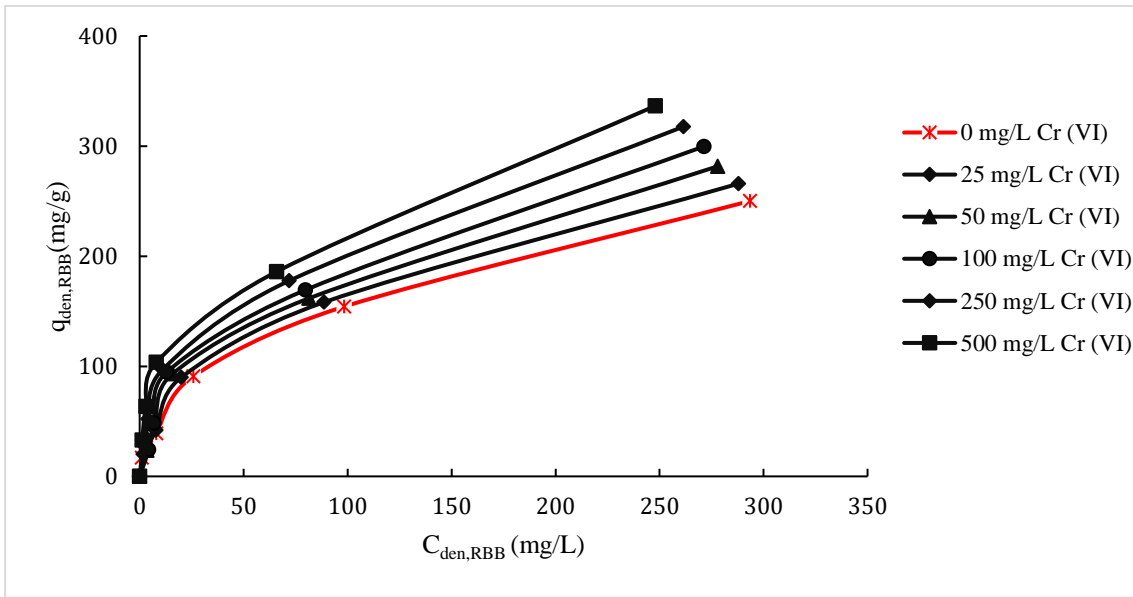
Çizelge 5.18. pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB+krom(VI) adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir krom(VI) iyon derişiminde başlangıç RBB derişiminin değiştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına

adsorplanan RBB miktarları ve % giderim değerleri, dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarları ve % giderim değerleri ile toplam krom(VI)+RBB derişimi, dengede birim adsorbent kütlesi başına toplam adsorplanan RBB+krom(VI) miktarı ve toplam % RBB+krom(VI) giderim değerleri (T=25°C, X=1,0 g/L, K.H.=120 rpm)

$C_{0,Cr(VI)}$ (mg/L)	$C_{0,RBB}$ (mg/L)	$q_{den,RBB}$	$r_{ad,RBB}$ (mg/g.dk)	% RBB giderimi	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	%Cr(VI) giderimi	$C_{0,RBB}+Cr(VI)$	$q_{den,RBB}+Cr(VI)$ (mg/g)	% Cr(VI) +RBB giderimi
0	24,9	22,9	0,045	92,0	0	0	24,9	22,9	92,0
0	50,8	46,4	0,096	91,3	0	0	50,8	46,4	91,3
0	100,7	90,9	0,132	90,3	0	0	100,7	90,9	90,3
0	252,5	154,2	0,249	61,1	0	0	252,5	154,2	61,1
0	498,5	250,1	0,323	50,2	0	0	498,5	250,1	50,2
25,1	25,1	23,9	0,049	95,2	5,9	23,5	50,2	29,8	59,4
24,6	49,3	46,7	0,098	94,7	5,7	23,2	73,9	52,4	70,9
24,9	97,5	91,9	0,135	94,3	5,2	20,9	122,4	97,1	79,3
25,3	248,1	158,2	0,256	63,8	4,7	18,6	273,4	162,9	59,6
25,8	500,4	265,9	0,329	53,1	3,8	14,7	526,2	269,7	51,3
51,1	24,5	23,5	0,053	95,9	9,1	17,8	75,6	32,6	43,1
51,5	49,6	47,2	0,104	95,2	8,3	16,1	101,1	55,5	54,9
52,3	100,3	94,8	0,141	94,5	7,1	13,6	152,6	101,9	66,8
52,7	246,2	161,8	0,263	65,7	6	11,4	298,9	167,8	56,1
52,8	502,5	281,7	0,336	56,1	5,2	9,8	555,3	286,9	51,7
101,1	25,7	24,9	0,058	96,9	14	13,8	126,8	38,9	30,7
99,4	51,2	49	0,111	95,7	12,2	12,3	150,6	61,2	40,6
99,7	101,3	96,2	0,147	95,0	10,9	10,9	201	107,1	53,3
99,7	251,6	169,3	0,273	67,3	9,1	9,1	351,3	178,4	50,8
100,4	501,5	299,7	0,345	59,8	8,3	8,3	601,9	308	51,2
250,2	25,4	24,8	0,064	97,6	27,2	10,9	275,6	52	18,9
249,4	51	49,5	0,118	97,1	25,4	10,2	300,4	74,9	24,9
252,4	99,5	96,3	0,155	96,8	22,8	9,0	351,9	119,1	33,8
251,1	250,7	177,7	0,283	70,9	20,3	8,1	501,8	198	39,5
251,1	500,2	317,7	0,353	63,5	16,8	6,7	751,3	334,5	44,5
501,3	25,1	25,1	0,071	100,0	36,1	7,2	526,4	61,2	11,6
502,2	50,5	50,4	0,126	99,8	34,5	6,9	552,7	84,9	15,4
502,2	100,5	98,6	0,164	98,1	31	6,2	602,7	129,6	21,5
499,6	251,1	185,9	0,292	74,0	27,6	5,5	750,7	213,5	28,4
499,6	501,1	336,5	0,361	67,2	23,3	4,7	1000,7	359,8	36,0

5.2.2.9. pH 8’de Sabit Tutulan Her Bir Farklı RBB Derişiminde Krom(VI) Adsorpsiyon İzotermelerinin Elde Edilmesi

pH 2’de krom(VI)+RBB karışımlarının CTAB ile muamele ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda, sabit tutulan her bir farklı RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon izotermeleri Şekil 5.16’da sunulmuştur. Şekilden yine çözeltilerdeki RBB derişiminin artmasıyla dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan krom(VI) iyon miktarının önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir.



Şekil 5.20. Sabit tutulan krom(VI) iyon derişimindeki pH 8 ortamında tekli RBB ve artan derişimlerde eklenen RBB iyonlarının adsorpsiyonunda elde edilen RBB izotermeleri (pH=2, T=25°C, X=1,0 g/L, K.H. = 120 rpm)

5.2.2.10. pH 8’de RBB ve Krom(VI) İyonlarının Birlikte Adsorpsiyonunun Denge Modellemesi ve Denge Model Sabitlerinin Bulunması

pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB karışımlarının birlikte adsorpsiyonunda, RBB’nin karışımdaki krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunu daha az azalttığı (%35 civarında) (antagonistik etki), krom(VI) iyonlarının ise RBB adsorpsiyonunu özellikle yüksek RBB derişimlerinde çok fazla arttırdığı (sinerjistik etki) gözlenmiştir. Bu bağlamda, krom(VI) iyonları için antagonistik etkileşime göre türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.19) ve RBB için sinerjistik etkileşime göre

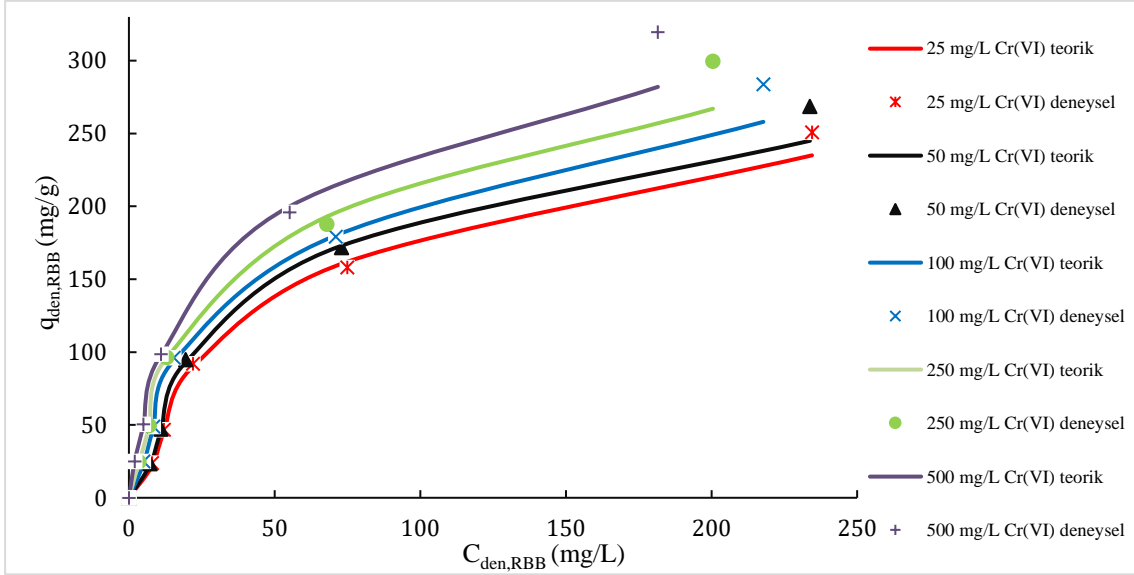
türetilen iki bileşenli Langmuir Modeli (Eşitlik 3.16) kullanılarak ikili karışım içindeki her bir bileşenin denge modellemesi yapılmış ve denge model sabitleri nonlineer regresyon yöntemiyle belirlenmiştir. Bulunan denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri Çizelge 5.19'da sunulmuştur. Çizelgede sinerjistik ve antagonistik etkileşimler için türetilen ve kullanılan Langmuir modellerinin krom(VI)+RBB karışımlarının adsorpsiyon dengesini oldukça iyi tanımladığı söylenebilir.

Çizelge 5.19. pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik ve sinerjistik Langmuir Modellerinden elde edilen denge model sabitleri ve % ortalama hata değerleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

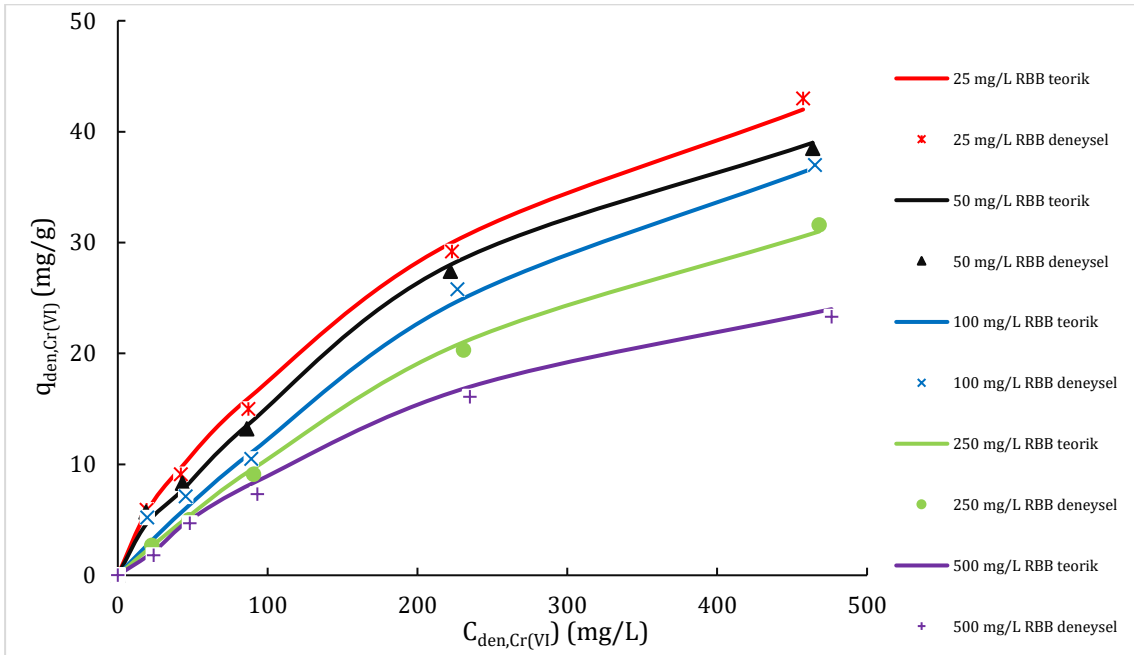
Krom(VI) varlığında RBB adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modeli		RBB varlığında krom(VI) adsorpsiyonunda kullanılan iki bileşenli antagonistik Langmuir Modeli	
RBB K ₁ : 0,0283	Krom (VI) K ₂ : 1,976	RBB η ₁ : 1,388	Krom (VI) η ₂ : 13,888
% Ortalama Hata: 6,7%		% Ortalama Hata: 14,7	

pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda, RBB bileşeni için iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden ve krom(VI) için iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen ve Çizelge 5.19.'da verilen model sabitleri kullanılarak, her bir farklı sabit bileşen derişiminde diğer bileşen için hesaplanan teorik q_{den} değerlerinden elde edilen Langmuir denge eğrileri, karışım içindeki her bir bileşen için saptanan deneysel q_{den} değerleriyle Şekil 5.21. ve Şekil 5.22'de karşılaştırılarak her iki modelin uygunluğu araştırılmıştır. Her iki şekilden pH 8'de iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinin karışım içindeki

RBB'nin ve iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinin karışım içindeki krom(VI)'nın denge davranışını oldukça iyi tanımladığı görülmektedir.



Şekil 5.21. pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)



Şekil 5.22. pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente krom(VI) ve RBB ikili karışımlarının adsorpsiyonunda her bir farklı sabit RBB derişiminde elde edilen krom(VI) adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli sinerjistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması (T=25°C, pH=2, X=1 g/L, K.H.=120 rpm)

adsorpsiyon deneysel denge verilerinin iki bileşenli antagonistik Langmuir Modelinden elde edilen teorik izotermlerle karşılaştırılması ($T=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=2$, $X=1$ g/L, K.H.=120 rpm

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Gerçek atıksularda birden fazla bileşen bulunmaktadır. Adsorpsiyon bu kirleticilerin birlikte başarıyla gideriminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Adsorpsiyonda çok çeşitli adsorbent doğrudan kullanılabilirdiği gibi, çeşitli fiziksel ve kimyasal ön işlemlerle muamele edilip adsorpsiyon özellikleri geliştirilerek de kullanılabilir. Birden fazla bileşenin olduğu adsorpsiyon ortamında ise bileşenlerin birbirlerini etkilemesiyle adsorbentin her bir bileşen için adsorpsiyon kapasitesi artabilir/azalabilir/etkilenmez.

Bu tez çalışmasında, şeker pancarı küspesi doğrudan kurutulmuş (ön işlemsiz) ve CTAB ile muamele edilerek (ön işlemlili) adsorbent olarak hazırlanmış ve boyarmadde, tekstil, deri ve benzeri endüstri atıksularında istenmeyen derişimlerde bulunan anyonik yapıdaki reaktif boyarmaddelerden RBB'nin ve yine anyonik kromat yapısında yer alan krom (VI) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının adsorpsiyonunda kullanılmıştır.

Tez çalışmasının ilk kısmında kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve başlangıç pH'ının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri araştırılmış ve her bir bileşen için saptanan en uygun çalışma pH'ında adsorbent tanecik boyut aralığının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve en uygun olarak saptanan boyut aralığına sahip adsorbentle her bir bileşen için başlangıç derişiminin adsorpsiyona etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasının daha sonraki aşamasında CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve başlangıç pH'ının adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiş ve her bir bileşen için saptanan en uygun çalışma pH'ında başlangıç derişiminin adsorpsiyon hız ve verimine etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmasının bir sonraki aşamasında ön işlemsiz kurutulmuş ŞPK adsorbentle RBB ve krom(VI) iyonlarının eşanlı adsorpsiyon çalışmalarına geçilmiş ve her iki bileşen için aynı bulunan optimum pH değerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer

bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle RBB ve krom(VI) iyonlarının eşanlı adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve her iki bileşen için farklı bulunan optimum pH değerlerinde birinci bileşenin sabit başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişimi değiştirilerek her bir bileşenin adsorpsiyon hız ve kapasitesine etkileri incelenmiştir. Böylece adsorbentin boyarmadde ve krom(VI) iyonları için seçiciliği ve bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyon hız ve kapasitelerini nasıl etkiledikleri araştırılmıştır. Tez çalışmasında ayrıca her bir tekli adsorbent-boyarmadde, tekli adsorbent-krom(VI) ve ikili adsorbent-boyarmadde-krom(VI) sistemi için denge modellemeleri yapılmış ve model sabitleri bulunmuştur.

Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda en uygun çalışma pH'ı her iki kirletici için aynı ve pH 2 olarak saptanmıştır. Bu pH değerinde 100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde RBB adsorpsiyon kapasitesi 42,9 mg/g, krom(VI) adsorpsiyon kapasitesi ise 28,8 mg/g olarak bulunmuştur. Düşük pH değerlerinde, krom(VI) genellikle HCrO_4^- ve CrO_7^{2-} gibi negatif yüklü yapılarda +6 değerlikli olarak bulunur. Adsorbent yüzeyi negatif yüklü olup, pH'ın azalmasıyla H^+ iyonlarına bağlı olarak yüzey pozitif kaplanmış ve anyonik yapıdaki reaktif boyarmadde RBB ve yine anyonik bikromat ve kromat yapısında yer alan krom(VI) iyonları elektrostatik olarak en yüksek kapasitede adsorplanmışlardır.

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonu pH 2-8 aralığında incelenmiş ve RBB için pH 8, krom(VI) için pH 2 en uygun çalışma pH'ı olarak saptanmıştır. 100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde pH 8'de RBB adsorpsiyon kapasitesi 90,9 mg/g, pH 2'de krom(VI) adsorpsiyon kapasitesi 38,3 mg/g olarak bulunmuştur. Bu adsorbentle, RBB adsorpsiyonunda RBB'nin en uygun çalışma pH'ı 8'e kaymış, krom(VI) adsorpsiyonunda ise krom(VI)'nın en uygun çalışma pH'ı değişmemiş pH 2'de kalmıştır. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle RBB adsorpsiyonunda en uygun pH değerinin 8'e kayması hem adsorpsiyon pH'ını daha uygulanabilir bir değere getirmiştir, hem de RBB adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde

artırarak yaklaşık iki katına çıkarmıştır. Bu durum pH 8’de katyonik CTAB yüzey aktif maddesiyle adsorbent negatif yüzey yükünün pozitif dönüşürülmesi ve pozitif yüklü adsorpsiyon gruplarının artmasıyla açıklanabilir. pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş adsorbent yüzeyinin pozitif yükünün daha da artmasıyla, bu adsorbentle daha yüksek krom(VI) adsorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir [57-62]

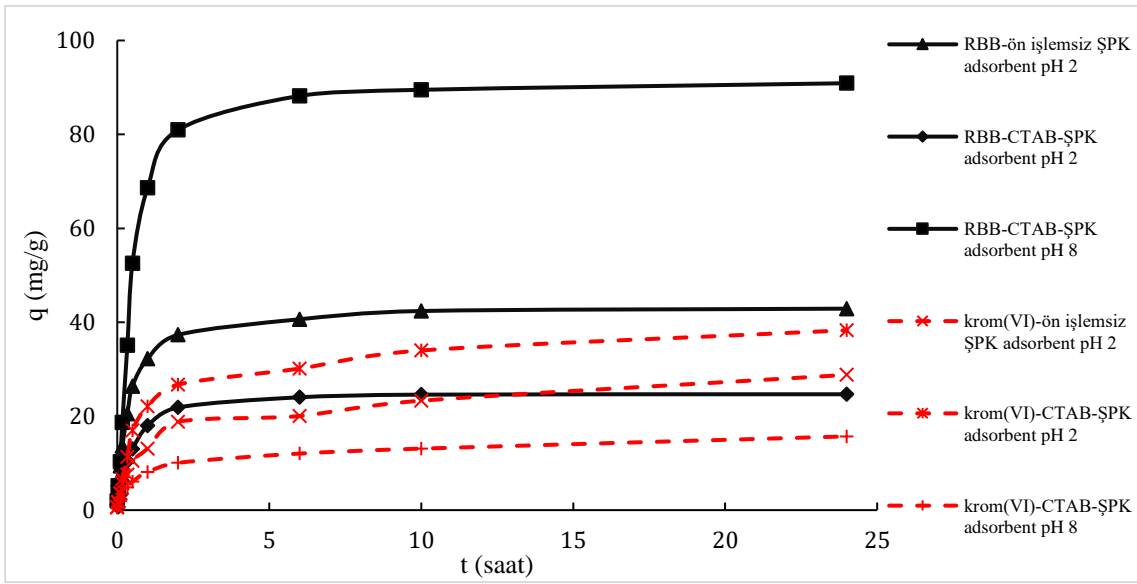
Adsorpsiyonu sağlayan itici güç ΔC ’ye bağlı olarak başlangıç kirletici derişiminin artması adsorbent adsorpsiyon hız ve kapasitesini artıran önemli bir parametredir. Kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentlere tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda 25-500 mg/L aralığında değişen farklı başlangıç kirletici derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan kirletici miktarları ve yüzde giderim değerleri Çizelge 6.1’de karşılaştırılmıştır. Çizelgeden çalışılan tüm adsorbat-adsorbent sistemleri için başlangıç kirletici derişiminin 500 mg/L’ye kadar artmasıyla adsorpsiyon denge kapasitesinin arttığı, % giderimin ise azaldığı görülmektedir. En yüksek RBB adsorpsiyon kapasitesi 500 mg/L başlangıç RBB derişiminde pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle 250,1 mg/g olarak, en yüksek krom(VI) adsorpsiyon kapasitesi ise 500 mg/L başlangıç krom(VI) derişiminde pH 2’de yine CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle 69,0 mg/g olarak bulunmuştur. Kurutulmuş ŞPK adsorbent CTAB ile muamele edilmesiyle elde edilen adsorbent her iki pH’ta da her iki kirleticinin adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır.

Çizelge 6.1. Kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentlere tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda farklı başlangıç kirletici derişimlerinde elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan kirletici miktarları ve yüzde giderim değerleri (T=25°C, pH=2 ve pH=8, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Kurutulmuş Ön işlemsiz ŞPK Adsorbent pH 2-RBB			Kurutulmuş Ön işlemsiz ŞPK Adsorbent pH 2-krom(VI)		
$C_{0,RBB}$ (mg/L)	$q_{den,RBB}$ (mg/g)	% RBB Giderimi	$C_{0,Cr(VI)}$ (mg/L)	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	% Krom(VI) Giderimi
24,8	16,7	67,3	26,7	13,4	50,2
50,5	27,1	53,7	52,7	18,4	34,9
99,4	42,9	43,2	101,3	28,8	28,4
250,1	75,5	30,2	255	39,2	15,4
501,8	94,2	18,8	498,7	49,1	9,8
CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 2-RBB			CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 2-krom(VI)		
$C_{0,RBB}$ (mg/L)	$q_{den,RBB}$ (mg/g)	% RBB Giderimi	$C_{0,Cr(VI)}$ (mg/L)	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	% Krom(VI) Giderimi
24,9	8,8	35,3	26,3	13,8	52,5
50,5	15,3	30,3	51,3	20,9	40,7
99,4	24,7	24,8	101,1	38,3	37,9
245,2	43,8	17,9	248,5	56,5	22,7
493,7	56,8	11,5	500,4	69,0	13,8
CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 8-RBB			CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 8-krom(VI)		
$C_{0,RBB}$ (mg/L)	$q_{den,RBB}$ (mg/g)	% RBB Giderimi	$C_{0,Cr(VI)}$ (mg/L)	$q_{den,Cr(VI)}$ (mg/g)	% Krom(VI) Giderimi
24,9	22,9	92	25,3	6	23,7
50,8	46,4	91,3	49,1	10,9	22,2
100,7	90,9	90,3	99,6	15,3	15,4
252,5	154,2	61,1	251,5	29,7	11,8
498,5	250,1	50,2	502,2	37,1	7,4

100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2’de ve pH 8’de tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrileri Şekil 6.1.’de karşılaştırılmıştır. Şekilden RBB iyonlarının her iki adsorbente her

iki pH değerindeki adsorpsiyonunun, krom(VI) iyonlarının her iki adsorbente her iki pH değerindeki adsorpsiyonundan çok daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Çalışılan tüm adsorpsiyon sistemlerinde adsorpsiyonun dengeye ulaşma süresinin RBB için yaklaşık 10 saat, krom(VI) iyonları için ise yaklaşık 24 saat olduğu söylenebilir. Yine aynı şekilde boyarmadde adsorpsiyonunun ilk başmaklarında yüzey adsorpsiyonunun daha önemli olduğu, her iki bileşen için ilerleyen zamanda iç difüzyonla da adsorpsiyonun devam ettiği gözlenmektedir.



Şekil 6.1. 100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2'de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2'de ve pH 8'de tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrileri

Langmuir ve Freundlich denge modelleri adsorpsiyon dengesinin modellenmesinde en çok kullanılan modellerdir. 25°C'de pH 2'de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente adsorpsiyon dengesinin ve pH 2 ve pH 8'de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının adsorpsiyon dengesinin CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyon dengesinin matematiksel tanımlanmasında da Langmuir ve Freundlich modelleri kullanılmış ve elde edilen denge model sabitleri regresyon kat sayıları ile Çizelge 6.3.'te karşılaştırılmıştır. Çizelgeden çalışılan tüm adsorbat-adsorbent sistemleri için adsorpsiyon dengesinin Langmuir modeliyle daha iyi tanımlandığı görülmektedir.

Çizelge 6.3. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunda, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2 ve pH 8’de tekli RBB ve tekli krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich Modellerinden elde edilen denge model sabitleri (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

Kurutulmuş Ön işlemsiz ŞPK Adsorbent pH 2-RBB				Kurutulmuş Ön işlemsiz ŞPK Adsorbent pH 2-Cr(VI)			
Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli		Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli	
Q ⁰ (mg/g)	99,0	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	6,19	Q ⁰ (mg/g)	54,2	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	1,67
b (L/mg)	0,0172	n	2,13	b (L/mg)	0,0068	n	1,77
R ²	0,996	R ²	0,983	R ²	0,997	R ²	0,968
CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 2-RBB				CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 2-krom(VI)			
Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli		Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli	
Q ⁰ (mg/g)	61,5	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	1,95	Q ⁰ (mg/g)	74,6	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	4,38
b (L/mg)	0,0075	n	1,75	b (L/mg)	0,0128	n	2,12
R ²	0,996	R ²	0,967	R ²	0,996	R ²	0,951
CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 8-RBB				CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 8-krom(VI)			
Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli		Langmuir Denge Modeli		Freundlich Denge Modeli	
Q ⁰ (mg/g)	263,2	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	2,91	Q ⁰ (mg/g)	43,5	K _F (mg/g(L/mg) ^{1/n})	1,24
b (L/mg)	0,08	n	2,84	b (L/mg)	0,0069	n	1,76
R ²	0,998	R ²	0,933	R ²	0,993	R ²	0,942

Tekstil ve deri gibi endüstrilerin atıksularında anyonik RBB boyarmaddesi ve anyonik kromat/bikromat yapıda yer alan krom(VI) iyonları yüksek derişimlerde birlikte yer almaktadır. Şeker pancarı küspesi hem boyarmaddelerin hem de ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu bilinen bir adsorbenttir. Bu adsorbent CTAB gibi bir katyonik yüzey aktif maddeyle muamele edilerek, yüzeyinin pozitif yükünün artırılmasıyla anyonik iyonların adsorpsiyonunu hem nötral pH'ları çekebilir hem de adsorpsiyon kapasitesini artırabilir. Tez çalışmasının bu kısmında kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2'de, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2 ve pH 8'de RBB ve krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda, belli ve sabit birinci bileşen başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişiminin değiştirilmesiyle bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyonuna ortak etkileri araştırılmış ve elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarları Çizelge 6.4.'te karşılaştırılmıştır. Çizelgeden çalışılan pH değerlerinde her iki adsorbent için de RBB varlığının krom(VI) adsorpsiyonunu azalttığı (antagonistik) tersine krom(VI) varlığının RBB adsorpsiyonunu arttırdığı (sinerjistik) görülmektedir. Ayrıca aynı çizelgeden tüm çalışılan ikili adsorbat-adsorbent sistemleri için bileşenlerden birinin sabit derişiminde diğer bileşenin derişiminin artmasıyla bu bileşenin dengede adsorpsiyon kapasitesinin arttığı görülmektedir.

Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda her iki kirletici için en uygun çalışma pH'ı olarak saptanan pH 2'de 500 mg/L RBB derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 94,2 mg/g, yine aynı krom(VI) derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 49,1 mg/g iken, aynı pH'ta 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) içeren karışımda her bir bileşenin adsorpsiyon kapasitesi RBB için 104,8 mg/g ve krom(VI) için 32,8 mg/g tayin edilmiştir. Bu durumda tek bileşenli RBB adsorpsiyonuna göre ikili karışımdaki RBB adsorpsiyonu % 10 artmış, krom(VI) adsorpsiyonu ise % 30 azalmıştır.

CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda her iki kirletici için aynı bulunan en uygun çalışma pH değeri RBB için değişmiş ve en uygun çalışma pH'ı 8'e kaymış, krom(VI) iyonları için aynı kalmıştır. Bu durumda RBB+krom(VI) karışım adsorpsiyon çalışmaları pH 2 ve pH 8'de

tekrarlanmıştır. pH 2’de 500 mg/L RBB derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 56,8 mg/g, yine aynı krom(VI) derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 69,0 mg/g iken, aynı pH’ta 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) içeren karışımında her bir bileşenin adsorpsiyon kapasitesi RBB için 89,8 mg/g ve krom(VI) için 34,5 mg/g tayin edilmiştir. Bu durumda tek bileşenli RBB adsorpsiyonuna göre ikili karışımındaki RBB adsorpsiyonu % 50 artmış, krom(VI) adsorpsiyonu ise % 50 azalmıştır.

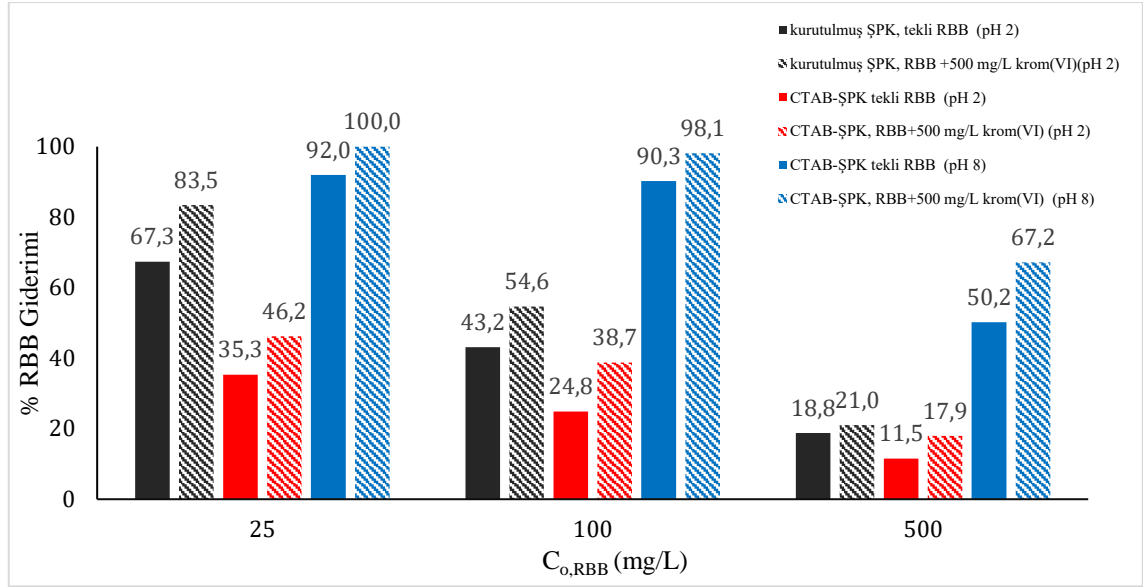
CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle pH 8’de tekli RBB ve tekli krom(VI) adsorpsiyonunda 500 mg/L RBB derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 250,1 mg/g, yine aynı krom(VI) derişiminde adsorpsiyon kapasitesi 37,1 mg/g iken, aynı pH’ta 500 mg/L RBB+500 mg/L krom(VI) içeren karışımında her bir bileşenin adsorpsiyon kapasitesi RBB için 336,5 mg/g ve krom(VI) için 23,3 mg/g tayin edilmiştir. Bu durumda tek bileşenli RBB adsorpsiyonuna göre ikili karışımındaki RBB adsorpsiyonu % 35 artmış, krom(VI) adsorpsiyonu ise % 35 azalmıştır.

Çizelge 6.4. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente pH 2’de, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2 ve pH 8’de RBB ve krom(VI) karışımlarının adsorpsiyonunda, farklı sabit birinci bileşen başlangıç derişiminde diğer bileşenin başlangıç derişiminin değıştirilmesiyle elde edilen dengede birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan bileşen miktarlarının karşılaştırılması (T=25°C, X=1 g/L, K.H. = 120 rpm)

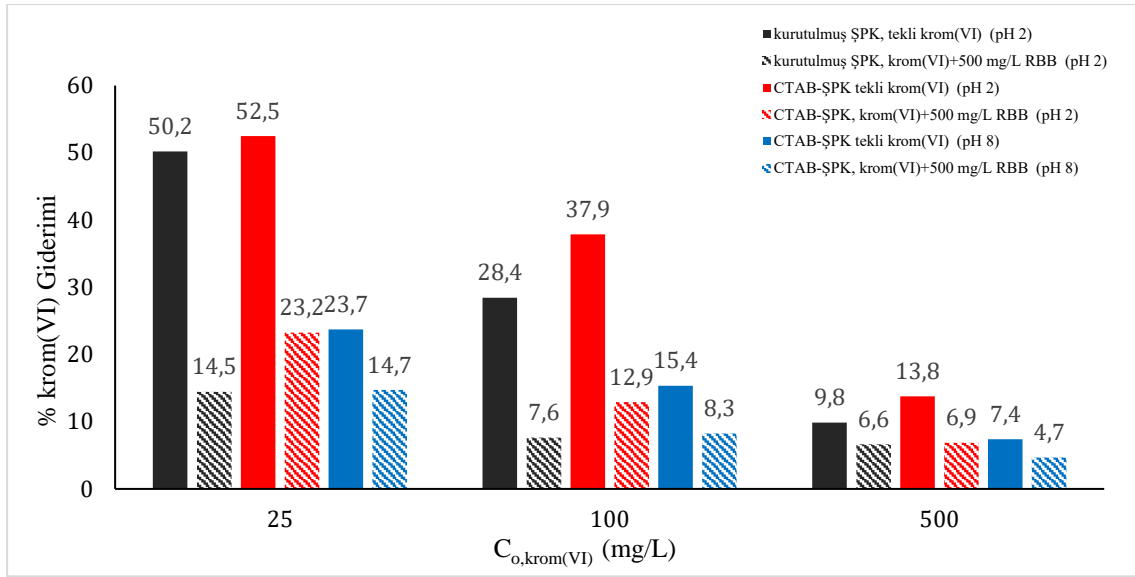
Kurutulmuş Ön İşlemsiz ŞPK Adsorbent pH 2						CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 2						CTAB ile Muamele Edilmiş ŞPK Adsorbent pH 8					
krom(VI)			RBB			krom(VI)			RBB			krom(VI)			RBB		
C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB(VI)} (mg/g)	C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB} (mg/g)	C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB(VI)} (mg/g)	C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB} (mg/g)	C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB(VI)} (mg/g)	C _{0,RBB} (mg/L)	C _{0,krom(VI)} (mg/L)	q _{0,RBB} (mg/g)
0	26,7	13,4	0	24,8	16,7	0	26,3	13,8	0	24,9	8,8	0	25,3	6	0	24,9	22,9
0	52,7	18,4	0	50,5	27,1	0	51,3	20,9	0	50,5	15,3	0	49,1	10,9	0	50,8	46,4
0	101,3	28,8	0	99,4	42,9	0	101,1	38,3	0	99,4	24,7	0	99,6	15,3	0	100,7	90,9
0	255	39,2	0	250,1	75,5	0	248,5	56,5	0	245,2	43,8	0	251,5	29,7	0	252,5	154,2
0	498,7	49,1	0	501,8	94,2	0	500,4	69	0	493,7	56,8	0	502,2	37,1	0	498,5	250,1
26,6	23,9	9,3	23,9	26,6	18,1	26	24,7	10,3	24,7	26	9,4	25,1	25,1	5,9	25,1	25,1	23,9
25,2	49,1	14,7	2,7	53,7	29,6	24,9	50,3	14,1	25,8	51,5	16,5	24,5	51,1	9,1	24,6	49,3	46,7
24	101,5	20,3	26,3	102,9	45,2	25,6	101,3	21,7	25,9	99,3	27,4	25,7	101,1	14	24,9	97,5	91,9
24,7	252,8	34,1	25,1	252,3	77,7	26,3	250,6	35,3	26,1	248,8	47,5	25,4	250,2	27,2	25,3	248,1	158,2
24,2	503	44,8	24,9	499,1	98,2	24,9	503	67,2	25,4	501,2	62,3	25,1	501,3	36,1	25,8	500,4	265,9
53,7	27	8,4	49,1	25,2	18,4	51,5	25,8	9,5	50,3	24,9	10	49,3	24,6	5,7	51,1	24,5	23,5
50,9	52,3	10,9	52,3	50,9	28,2	51,2	50,6	13,3	50,6	51,2	17,3	49,6	51,5	8,3	51,5	49,6	47,2
48,2	100,1	14,1	49,1	97,6	45,4	51,8	101,1	19,7	49,9	101,2	30,3	51,2	99,4	12,2	52,3	100,3	94,8
51,7	248,1	30,2	52,7	252,8	79,1	51,7	252,4	33,2	51,3	249,3	51,3	51	249,4	25,4	52,7	246,2	161,8
50,1	497,8	43,1	51,1	502,1	99,5	50,2	500,4	60,3	51,8	502,6	68,9	50,5	502,2	34,5	52,8	502,5	281,7
102,9	26,3	7,2	101,5	24	18,5	99,3	25,9	8,4	101,3	25,6	10,6	97,5	24,9	5,2	101,1	25,7	24,9
97,6	49,1	10,7	100,1	48,2	28,6	101,2	49,9	11,6	101,1	51,8	18,8	100,3	52,3	7,1	99,4	51,2	49
96,5	98,4	13,7	98,4	96,5	46,6	101,1	100,9	17,2	100,9	101,1	33,3	101,3	99,7	10,5	99,7	101,3	96,2
103,5	255	27,2	102,5	247,1	80,3	100,7	250,6	30,6	100,8	250,3	55,3	99,5	252,4	22,8	99,7	251,6	169,3
98,1	503,9	40,5	99,6	503,7	101,1	100,4	500,4	52,6	101,5	500,5	74,6	100,5	502,2	31	100,4	501,5	299,7
252,3	25,1	4,7	252,8	24,7	19,9	248,8	26,1	7,4	250,6	26,3	11,1	248,1	25,3	4,7	250,2	25,4	24,8
252,8	52,7	6,7	248,1	51,7	31,1	249,3	51,3	10	252,4	51,7	20,1	246,2	52,7	6	249,4	51	49,5
247,1	102,5	12,9	255	103,5	51,7	250,3	100,8	15,7	250,6	100,7	36,2	251,6	99,7	9,1	252,4	99,5	96,3
247,8	251,1	25,4	251,1	247,8	82,1	249,7	250,2	27,2	250,2	249,7	59,4	250,7	251,1	20,3	251,1	250,7	177,7
253,3	503	37,1	246,8	500,7	102,9	251,1	502,2	44,8	252,4	502,3	86,2	251,1	499,6	27,6	251,1	500,2	317,7
499,1	24,9	3,6	503	24,2	20,2	501,2	25,4	5,9	503	24,9	11,5	500,4	25,8	3,8	501,3	25,1	25,1
502,1	51,1	4,1	497,8	50,1	32,3	502,6	51,8	8,3	500,4	50,2	21,9	502,5	52,8	5,2	502,2	50,5	50,4
503,7	99,6	7,6	503,9	98,1	53,6	500,5	101,5	13,1	500,4	100,4	38,9	501,5	100,4	8,3	502,2	100,5	98,6
500,7	246,8	18,1	503	253,3	86,8	502,3	252,4	24,6	502,2	251,1	63,9	500,2	251,1	16,8	499,6	251,1	185,9
498,6	493,5	32,8	493,5	498,6	104,8	500,4	501,3	34,5	501,3	500,4	89,8	501,1	499,6	23,3	499,6	501,1	336,5

Her bir bileşenin pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli ve karışımdaki, pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli ve karışımdaki, pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli ve karışımdaki adsorpsiyonunda elde edilen % giderim değerleri Şekil 6.2. ve Şekil 6.3.’te karşılaştırılmıştır. Şekil 6.2.’den RBB için verilen derişimlerde CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle pH 2’deki adsorpsiyonda tekli ve iki karışımda RBB adsorpsiyon kapasitesinin yine aynı pH’ta kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle elde edilen değerlere göre düştüğü, pH 8’de ise tam tersine RBB adsorpsiyon kapasitesinin en yüksek değerlere ulaştığı, krom(VI) varlığının RBB adsorpsiyon kapasitesini arttırdığı görülmektedir.

Şekil 6.3.'ten ise krom(VI) için verilen derişimlerde CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle pH 2'deki adsorpsiyonda tekli ve iki karışımında krom(VI) adsorpsiyon kapasitesinin yine aynı pH'ta kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentle elde edilen değerlere göre arttığı, pH 8'de ise krom(VI) adsorpsiyon kapasitesinin daha da azaldığı, RBB varlığının krom(VI) adsorpsiyon kapasitesini azalttığı görülmektedir.

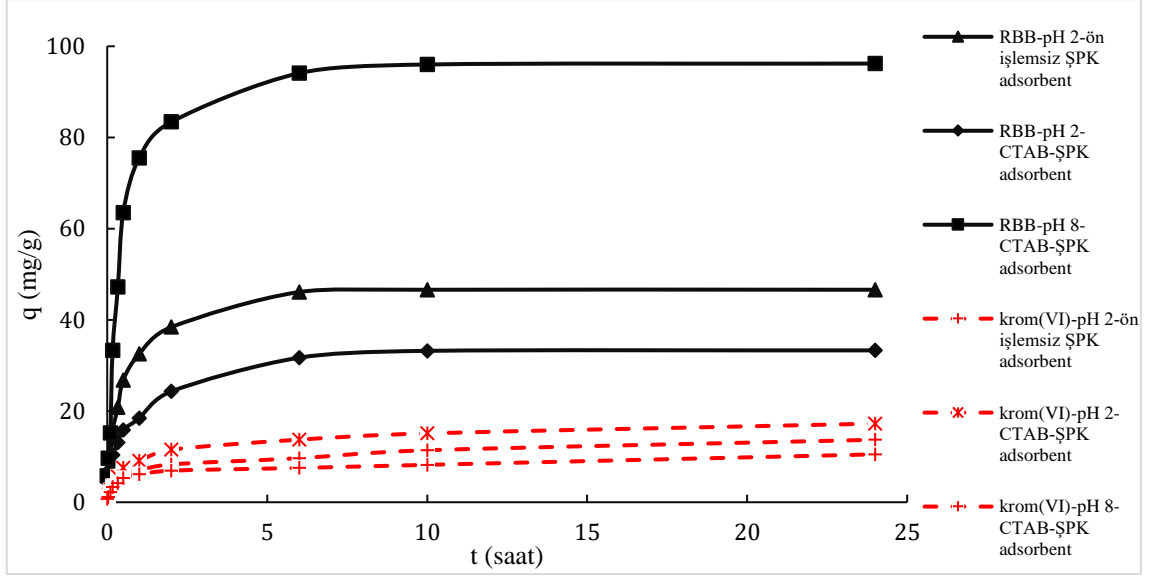


Şekil 6.2. pH 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB, pH 2'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB, pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli RBB ve 500 mg/L krom(VI) içeren karışımında RBB adsorpsiyonunda % RBB giderim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 6.3. pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımda krom(VI), pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımda krom (VI), pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente tekli krom(VI) ve 500 mg/L RBB içeren karışımda krom(VI) adsorpsiyonunda % krom(VI) giderim değerlerinin karşılaştırılması

100 mg/L RBB ve 100 mg/L krom(VI) içeren ikili karışım için, her bir bileşenin pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente, pH 2’de ve pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrileri Şekil 6.4.’te karşılaştırılmıştır. Şekilden her iki adsorbent için ve her iki pH değerinde de karışım içindeki RBB iyonlarının krom(VI) iyonlarına göre çok daha hızlı ve daha yüksek kapasitede adsorplandığı, RBB adsorpsiyonunda yüzey adsorpsiyonunun daha baskın olduğu, bu yüzden 6 saatte dengeye ulaşıldığı, krom(VI) adsorpsiyonunda ise iç difüzyon mekanizmasının önemli olduğu ve 24 saatte dengeye ulaşıldığı görülmektedir. Bu karışımla pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda 46,6 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde edilmişken, pH 8’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda kapasite yaklaşık iki katı artarak 96,6 mg/g’a çıkmıştır. Aynı karışımla pH 2’de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente krom(VI) adsorpsiyonunda 13,7 mg/g adsorpsiyon kapasitesi elde edilmişken, pH 2’de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB adsorpsiyonunda kapasite ancak yaklaşık % 25 artarak 17,2 mg/g’a çıkmıştır.



Şekil 6.4. 100 mg/L RBB ve 100 mg/L krom (VI) içeren ikili karışım için her bir bileşenin pH 2'de kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente, pH 2'de ve pH 8'de CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente adsorpsiyonunda elde edilen birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan RBB ve krom(VI) miktarlarının zamanla değişim eğrilerinin karşılaştırılması

Literatürde çeşitli adsorbentlerle tekli ve ikili boyarmadde/metal iyonlarının adsorpsiyonunda farklı deneysel koşullarda elde edilen adsorpsiyon kapasite değerleri ile bu tez çalışmasında kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB ve krom(VI) iyonlarının tekli ve ikili adsorpsiyonunda elde edilen kapasite değerleri Çizelge 6.5'te karşılaştırılmıştır. Çizelgeden CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentin hem tekli RBB, hem tekli krom(VI) ve hem de ikili karışımlardaki RBB ve krom(VI) iyonlarının çok yüksek kapasiteyle adsorplandığı görülmektedir.

Çizelge 6.5. Literatürde çeşitli adsorbentlerle tekli ve ikili boyarmadde/metal iyonlarının adsorpsiyonunda farklı deneysel koşullarda elde edilen adsorpsiyon kapasite değerleri ile bu tez çalışmasında kurutulmuş ön işlemsiz ve CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente RBB ve krom(VI) iyonlarının tekli ve ikili adsorpsiyonunda elde edilen kapasite değerlerinin karşılaştırılması

Adsorbent	Adsorbat	Adsorpsiyon Koşulları	q_{den} (mg/g)	Referans
Keten Lifi	Çinko(II)	Kesikli sistem (pH 6,5)	7,1	Dey vd. [63]
	Bakır(II)		8,3	
	Methylene blue		163,9	
	Congo red		85,5	
Kurutulmuş ve CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi	Krom(VI)	Sürekli dolgu kolon (pH 2)	84,2	Karlı [48]
		Kesikli sistem (pH 2)	37,3	
Karbonize edilmiş şeker pancarı küspesi	RBB	Kesikli sistem (pH 1)	80,0	Dursun vd.[64]
Şeker pancarı küspesinin sülfürik asit reaksiyonu sonucu elde edilen aktif karbon	Krom(VI)	Kesikli sistem (pH 2,3)	24,0	Altundoğan vd. [65]
Kitosan	Basic Blue 41 (BB41)	Kesikli sistem (pH 5,5)	10,0	Demirtaş vd.[66]
Bambu atığından üretilmiş granüler aktif karbon	Remazol Black B	Sürekli dolgu kolon (pH=6,5)	39,0	Ahmad vd.[67]
Ceviz ağacı talaşı	Krom(VI)	Kesikli sistem (pH 2)	7,5	Çakır vd.[68]
Vitis ağacı yaprakları tozu	Alizarin kırmızısı (AR)-Metilen mavisi (MB) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 3)	AR: 54,6	Bagtash vd.[69]
			MB: 43,9	
Kitosan	Kongo Kırmızısı (CR)-Metilen Mavisi (MB) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 6,5)	CR: 1115	Vega vd.[70]
			MB: 216	
Humik asit	Bakır(II)	Kesikli sistem (pH 5)	Cu(II): 23,68	Wang vd. [71]
	Kurşun(II)	Kesikli sistem (pH 5)	Pb(II): 78	

	Bakır(II)- Kurşun(II) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 5)	Pb(II): 62 Cu(II):34	
Kurutulmuş şeker pancarı küşpesi	Gemazol Turquoise Blue-G -Cu(II) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 2-pH 4)	Gemazol Turquoise Blue-G :83,7 Cu(II): 24,9	İşoğlu [44]
Kurutulmuş <i>Phormidium sp.</i>	RBB-Cr(VI) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 2)	RBB: 91,3 Cr(VI): 22,8	Aksu vd. [72]
Kurutulmuş şeker pancarı küşpesi	RBB	Kesikli sistem (pH 2)	94,2	Tez Çalışması
	Krom(VI)	Kesikli sistem (pH 2)	49,1	
	RBB-Cr(VI) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 2)	RBB: 104,8 Cr(VI): 32,8	
CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küşpesi	RBB	Kesikli sistem (pH 2)	56,8	
	Krom(VI)	Kesikli sistem (pH 2)	69,0	
	RBB	Kesikli sistem (pH 8)	250,1	
	Krom(VI)	Kesikli sistem (pH 8)	37,1	
	RBB-krom(VI) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 2)	RBB: 89,0 Cr(VI): 34,5	
	RBB-krom(VI) ikili karışımı	Kesikli sistem (pH 2)	RBB: 336,5 Cr(VI): 23,3	

Bu tez çalışmasında Türkiye’de ve dünyada ilk defa boyarmadde ve metal iyonlarını yüksek adsorplama yeteneği olan kurutulmuş şeker pancarı küşpesi adsorbent, CTAB katyonik yüzey aktif maddesi ile muamele edilerek pozitif yüzey yükü elde edilerek anyonik yapıdaki RBB ve krom(VI) iyonlarının birlikte adsorpsiyonunda kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar tüm çalışma koşullarında (CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbente pH 2’de tekli krom(VI) adsorpsiyon çalışması hariç) RBB iyonlarının krom(VI) iyonlarından çok daha yüksek kapasiteyle adsorplandığını, CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle yapılan tekli adsorpsiyon çalışmaları en uygun adsorpsiyon pH’nın RBB için 8’e kaydığını, krom(VI) iyonları için ise en uygun çalışma pH’nın değişmediğini ve pH 2’de kaldığını göstermiştir. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentle pH 8’de RBB için ve pH 2’de krom(VI) için adsorpsiyon kapasite değerleri kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbente her iki bileşenin pH 2’de elde edilen adsorpsiyon kapasite değerlerinden çok daha yüksek bulunmuştur. RBB ve krom(VI) ikili karışımlarının her

iki adsorbente adsorpsiyonunda ise bileşenlerin birbirlerinin adsorpsiyonunu etkiledikleri, krom(VI) iyonlarının RBB iyonlarının adsorpsiyonunu önemli ölçüde arttırdığı, RBB iyonlarının ise krom(VI) iyonlarının adsorpsiyonunu bir miktar azalttığı gözlenmiştir.

Sonuç olarak CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesi adsorbentin pH 8’de tekli RBB, pH 2’de tekli krom(VI) ve pH 2 ve pH 8’de RBB+krom(VI) iyon karışımlarının adsorpsiyonunda çok yüksek bir kapasiteyle ve seçici olarak kullanılabileceği söylenebilir. Daha ileriki çalışmalarda, kesikli sistem adsorpsiyon verileri sürekli düzende çalışan sistemlerde kullanılmak üzere değerlendirilebilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] International Agency for Research on Cancer (IARC), Some aromatic amines, organic dyes, and related exposures. Lyon, France: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, (2010) No. 99.
- [2] Y. Çiftçi, Tekstil Teknolojileri El Kitabı, Gümrük Laboratuvar Müdürlüğü, İstanbul, 300, 2017.
- [3] N. Özkan, Tekstil Ürünlerinin Boyama ve Bitim İşlemlerinde Kimyasallara Deri ve Solunum Yoluyla Maruziyetin Değerlendirilmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, 2016.
- [4] İ. Başer, Y. İnancı, “Boyarmadde Kimyası”, Marmara Teknik Eğitim Fk. Tekstil Eğitimi Bölümü, İstanbul, 7-17, 47-126, 1990.
- [5] M. Clark, Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes (Woodhead Publishing Series in Textiles), 2011.
- [6] T. Çavdur, P. Anis, N. Çalışkan, Reaktif boyarmadde fonksiyonelliğinin kumaşların boyanma davranışlarına ve çevreye etkilerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, (2023) 1689–1698.
- [7] Anonim, Remazol Black B, <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/substance/?source=chemidplus&sourceid=0017095248> , (Erişim tarihi: 26 Mayıs 2023)
- [8] Dursun, A.Y., Tepe, O., Uslu, G. et al. Kinetics of Remazol Black B adsorption onto carbon prepared from sugar beet pulp, Environmental Science and Pollution Research, 20, (2013) 2472–2483.
- [9] Ö. Tunç, H. Tanacı, Z. Aksu, Potential use of cotton plant wastes for the removal of Remazol Black B reactive dye, Journal of Hazardous Materials, (2009) 187-198.
- [10] R. Gokulan, S. Balaji, P. Sivaprakasam, Optimization of Remazol Black B removal using biochar produced from Caulerpa scalpelliformis using response surface methodology. Advances in Materials Science and Engineering, 2021.
- [11] S. S. Raychaudhuri, P. Pramanick, P. Talukder, A. Basak, Polyamines, metallothioneins, and phytochelatins, Natural defense of plants to mitigate heavy metals, (2021) 227-261.
- [12] M. Yadav, R. Gupta, R. K. Sharma, Green and sustainable pathways for wastewater purification, In Advances in Water Purification Techniques, (2019), 355-383.
- [13] Anonim, Hexavalent Chromium, <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/hex-chromium/index.cfm> (Erişim tarihi: 29 Mayıs 2023)
- [14] A. U. Rajapaksha, R. Selvasembian, A. Ashiq, A systematic review on adsorptive removal of hexavalent chromium from aqueous solutions: Recent advances, Science of The Total Environment, (2022) Volume 809.
- [15] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmî Gazete, 25687, 31 Aralık 2004.

- [16] İ. Öztürk, Atıksu Mühendisliği, İSKİ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul, 89-111, **2017**.
- [17] G. Orhan, Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Kimyasal ve Fiziksel Risk Faktörlerinin İncelenmesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, **2016**.
- [18] R. Rashid, I. Shafiq, P. Akhter, et al. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: The effectiveness of adsorption method, *Environmental Science and Pollution Research*, **2023**.
- [19] G. Akçin, Ö. Alp, H. Gülyas, B. Büst, Characteristic, Analytic And Sampling Of Wastewater, Characteristic, Analytic and Sampling of Wastewater, Hamburg University of Technology, **2013**.
- [20] Arslan, G., Yüzey Modifiyeli Rhizopus arrhizus ve Şeker Pancarı Küspesinin Anyonik ve Katyonik Boyarmadde Biyosorpsiyonunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2013**.
- [21] Hassan, M.M., Carr, C.M., A critical review on recent advancements of the removal of reactive dyes from dyehouse effluent by ion-exchange adsorbents, *Chemosphere*, (**2018**) 201-209.
- [22] Mishra, A., Tripathi, B. D., Rai, A. K., Packed-Bed Column Biosorption of Chromium(VI) And Nickel(II) onto Fenton Modified Hydrilla Verticillata Dried Biomass, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (**2016**) 420–428.
- [23] M. M. Baneshi and B. Naraghi, S. Rahdar et al., Removal of Remazol Black B Dye From Aqueous Solution by Electrocoagulation Equipped with Iron and Aluminium Electrodes, **2016**.
- [24] M. P. Shah, K. A. Patel, S. S. Nair, A.M. Darji, Decolorization of Remazol Black-B by Three Bacterial Isolates, *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*, 2(1), (**2014**) 44-49.
- [25] M. Kornaros, G. Lyberatos, Biological Treatment of Wastewater from a Dye Manufacturing Company Using a Trickling Filter, *Journal of Hazardous Materials*, (**2006**) 95-102.
- [26] S. Arslan, M. Eyvaz, E. Gürbulak, E. Yüksel, A Review of State-of-the-Art Technologies in Dye-Containing Wastewater Treatment, *The Textile Industry*, **2016**.
- [27] N.A. Qasem, R.H. Mohammed, D.U. Lawal. Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review, *Clean Water*, 2021.
- [28] T. Ai, X. Jiang, Q. Liu, Chromium removal from industrial wastewater using *Phyllostachys pubescens* biomass loaded Cu-S nanospheres. *Open Chemistry*, 16(1), (**2018**) 842-852.
- [29] R. Vidu, E. Matei, A. M. Predescu, Removal of Heavy Metals from Wastewaters: A Challenge from Current Treatment Methods to Nanotechnology Applications. *Toxics*, **2020**.
- [30] F. Fu, Q. Wang, Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review, *Journal of Environmental Management*, (**2011**) 407-418.

- [31] T. Manikant, S. Pankaj, S. Ranjan, B. Saroj, P. Neelam, S. Sangram, C.R. Singh, S.P. Kumar, Microbial biosorbent for remediation of dyes and heavy metals pollution: A green strategy for sustainable environment, *Frontiers in Microbiology*, **2023**.
- [32] A. Singh, D.B. Pal, A. Mohammad, A. Alhazmi, S. Haque, T. Yoon, N. Srivastava, V. K. Gupta, Biological remediation technologies for dyes and heavy metals in wastewater treatment: New insight, *Bioresource Technology*, **2022**.
- [33] Y. Artioli, Adsorption, *Encyclopedia of Ecology*, Academic Press, **(2008)** 60-65.
- [34] J. M. Mwaniki, Adsorption and Its Applications: Using Zinc Adsorption on Water Hyacinth to Elaborate the Kinetics and Thermodynamics of Adsorption, *Sorption-From Fundamentals to Applications*, **2022**.
- [35] F. Deng, X.B. Luo, L. Ding, S.L. Luo, Application of Nanomaterials and Nanotechnology in the Reutilization of Metal Ion From Wastewater, In *Micro and Nano Technologies, Nanomaterials for the Removal of Pollutants and Resource Reutilization*, **(2019)** 149-178.
- [36] A. H. Mhemeed, A General Overview on the Adsorption, *Indian Journal of Natural Sciences*, **2018**.
- [37] D. Chen, L. Wang, Y. Ma, W. Yang, Super-adsorbent material based on functional polymer particles with a multilevel porous structure, *NPG Asia Materials*, **2016**.
- [38] A. Pfeifer, M. Skerget, "A review: a comparison of different adsorbents for removal of Krom (VI), Cd (II) and Ni (II)," *Turkish Journal of Chemistry*, **2020**.
- [39] Y. Dai, Q. Sun, W. Wang, Utilizations of Agricultural Waste as Adsorbent for the Removal of Contaminants: A review, *Chemosphere*, **(2018)** 235-253.
- [40] L.P. Tukuljac, J. Krulj, L. Pezo, "Utilization of Sugar Beet Pulp as Biosorbent for Molassigenic Metal Ions: Kinetic Study of Batch Biosorption", *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, **(2022)** 629–640.
- [41] Mane, R.S., and Bhusari, V.N., Removal of colour (dyes) from textile effluent by adsorption using orange and banana peel, *International Journal of Engineering Research and Applications*, **(2012)** 1997-2004.
- [42] Cardoso, N.F., Pinto, R.B., Removal of Remazol Black B Textile Dye from Aqueous Solution by Adsorption, *Desalination*, **(2011)** 92-103.
- [43] S. Baliarsingh, J. Jena, T. Das, N.B. Das, Role of cationic and anionic surfactants in textile dyeing with natural dyes extracted from waste plant materials and their potential antimicrobial properties, *Industrial Crops and Products*, **(2013)** 618-624.
- [44] Aksu, Z., İsoğlu A., Use of agricultural waste sugar beet pulp for the removal of Gemazol turquoise blue-G reactive dye from aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*, **(2006)** 418-430.
- [45] E. Pehlivan, B.H. Yanık, G. Ahmetli, M. Pehlivan, Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp. *Bioresource Technology*, **(2008)** 3520-3527.
- [46] Türk, F.N. Removal of Basic Blue 9 (Methylene Blue) Dyestuff from Aqueous Solutions Using Citric Acid Modified (Esterified) Sugar Beet Pulp. *Sugar Tech* 25, **(2023)** 1251–1261.

- [47] Kodal, S. P., Değişik biyosorbentlerle tekli ve ikili yüzey aktif madde ve boyarmadde biyosorpsiyonunun incelenmesi ve yüzey aktif maddenin boyarmadde biyosorpsiyonu üzerine etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2010**.
- [48] Karılı U., Yüzey Modifiyeli Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentle Cr(VI) İyon Adsorpsiyonunun Kesikli ve Sürekli Sistemlerde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, **2019**.
- [49] Aksu, Z., Acar Yazgı, Z., Günan Yücel, H., pH shifting effect on anionic dye removal by surfactant-modified sugar beet pulp: Modeling of column studies. *Journal of the Indian Chemical Society*, **2023**.
- [50] S. Baliarsingh, J. Jena, T. Das, N.B. Das, Role of cationic and anionic surfactants in textile dyeing with natural dyes extracted from waste plant materials and their potential antimicrobial properties, *Industrial Crops and Products*, (**2013**) 618-624.
- [51] Y. Li, Y. Guo, M. Bao, X. Gao, Investigation of interfacial and structural properties of CTAB at the oil/water interface using dissipative particle dynamics simulations, *Journal of Colloid and Interface Science*, (**2011**) 573-580.
- [52] Demiral, Y.F., Doğal ve modifiye edilmiş şeker pancarı küspesi ve pülpü kullanılarak sulu çözeltilerden Cr(VI) iyonlarının uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, **2012**.
- [53] J.L. Aleksandra M., P. Nikola, P. Nataša, Thermodynamics of micellization of hexadecyltrimethylammonium bromide in propylene glycol-water mixture: A conductivity study, *Chemistry and Technology*, (**2014**) 17-26.
- [54] Gemici, R., Çeşitli Sülfaktan Karışımlarının Yüzey Gerilim Ölçümlerinin ve DNA Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, **2011**.
- [55] Anonim, Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), <https://www.carlroth.com/com/en/detergents/cetyltrimethylammonium-bromide-%28ctab%29/p/9161.2>, (Erişim tarihi: **23 Mayıs 2023**)
- [56] Balıbek E., Tekstil endüstrisi atıksularından boya, metal ve tuz kirleticilerinin biyosorpsiyonla gideriminde kirleticilerin birbirleriyle araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- [57] Xia Y, Li Y, Xu Y. Adsorption of Pb(II) and Cr(VI) from Aqueous Solution by Synthetic Allophane Suspension: Isotherm, Kinetics, and Mechanisms. *Toxics*, **2022**.
- [58] Luo, H., Liu, Y., Lu, H., Fang, Q., Rong, H. Efficient Adsorption of Tetracycline from Aqueous Solutions by Modified Alginate Beads after the Removal of Cu(II) Ions. *ACS Omega*, (**2021**), 6240-6251.
- [59] Anah, L., Astrini, N., Influence of pH on Cr(VI) ions removal from aqueous solutions using carboxymethyl cellulose-based hydrogel as adsorbent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 60, **2017**.
- [60] Dai, Y., Sun, Q., Wang, W., Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. *Chemosphere*, (**2018**), 235-253.

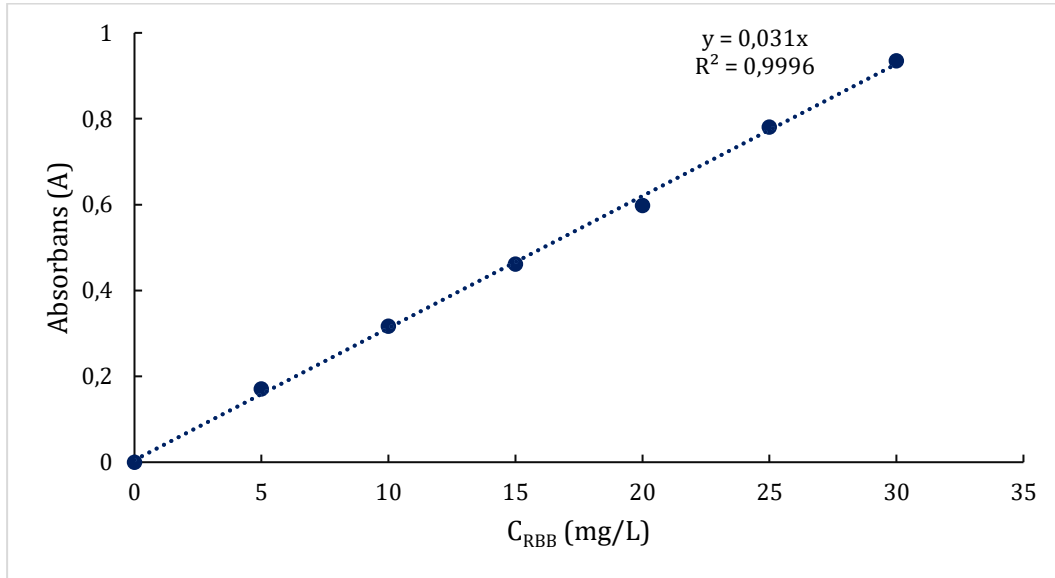
- [61] Arslanoğlu, H., Tümen, F. Sitrik Asitle Modifiye Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi ile Sulu Çözeltilerden Pb(II) ve Cd(II) Giderilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 27(1), (2015), 85-99.
- [62] Yılmaz, A.E., Boncukçuoğlu, R., Kocakerim, M., Karakaş, İ.H., Waste utilization: The Removal of textile dye (Bomplex Red CR-L) from aqueous solution on sludge waste from electrocoagulation as adsorbent, Desalination, 277 (2011) 156-163.
- [63] Dey, P., Mahapatra, B. S., Juyal, V. K., Pramanick, B., Negi, M. S., Paul, J., & Singh, S. P. Flax processing waste – A low-cost, potential biosorbent for treatment of heavy metal, dye and organic matter contaminated industrial wastewater. Industrial Crops and Products, (2021) 174.
- [64] Dursun, A.Y., Tepe, O., Uslu, G., Kinetics of Remazol Black B adsorption onto carbon prepared from sugar beet pulp. Environmental Science and Pollution Research, (2013) 2472–2483.
- [65] H.S. Altundogan, N. Bahar, B. Mujde, F. Tumen, The Use of Sulphuric Acid-Carbonization Products of Sugar Beet Pulp In Cr (VI) Removal, Journal of Hazardous Materials , (2007) 144 255-264.
- [66] Demirtaş, H., Taşar, Ş., Kaya, F. ve diğerleri. Çapraz bağlı kitosan mikrokürelerine BB41 boya moleküllerinin uzaklaştırılması: sentez, karakterizasyon ve sorpsiyon/desorpsiyon. Biomass Conv. Bioref. 14, (2024) 11927–11939.
- [67] Ahmad, A.A., Hameed, B.H., Fixed-Bed Adsorption of Reactive Azo Dye onto Granular Activated Carbon Prepared from Waste, Journal of Hazardous Materials, 175, (2010) 298–303.
- [68] Çakır, E.Ü., Tosunoğlu, V., ve Bayhan, Y.K., Ceviz ağacı talaşı (Juglans Regia L.)’nın krom (VI) adsorpsiyonu üzerine etkileri, Alınleri Dergisi, 24, (2013) 12-19.
- [69] Bağtaş M., Zolgharnein J., Hybrid central composite design for simultaneous optimization of removal of methylene blue and alizarin red S from aqueous solutions using Vitis tree leaves, (2018).
- [70] Vega-Negron AL, Alamo-Nole L, Perales-Perez O., Simultaneous adsorption of cationic and anionic dyes by chitosan/cellulose beads for wastewaters treatment, (2018) 59–65.
- [71] Wang, S., Terdkiatburana, T., & Tadé, M. O., Adsorption of Cu(II), Pb(II) and humic acid on natural zeolite tuff in single and binary systems. Separation and Purification Technology, (2008) 64-70.
- [72] Aksu, Z., Ertuğrul, S., Dönmez, G., Single and binary chromium(VI) and Remazol Black B biosorption properties of Phormidium sp. Journal of Hazardous Materials, (2009) 310-318.

EKLER

EK 1. REMAZOL BLACK B (RBB) TAYİNİ

Stok Remazol Black B çözeltisinden 5-30 mg/L aralığında değişen derişimlerde hazırlanan standart RBB çözeltilerinin Thermo Scientific marka UV spektrofotometrede 598 nm dalga boyunda absorbanları ölçülmüş ve Şekil E.1.1’de sunulan çalışma doğrusu hazırlanmıştır.

Adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan RBB derişimi doğrudan ya da seyreltilerek hazırlanan çözeltilerle 598 nm’de okunan absorban değerlerinden Şekil E.1.1.’de verilen çalışma doğrusundan tayin edilmiştir.

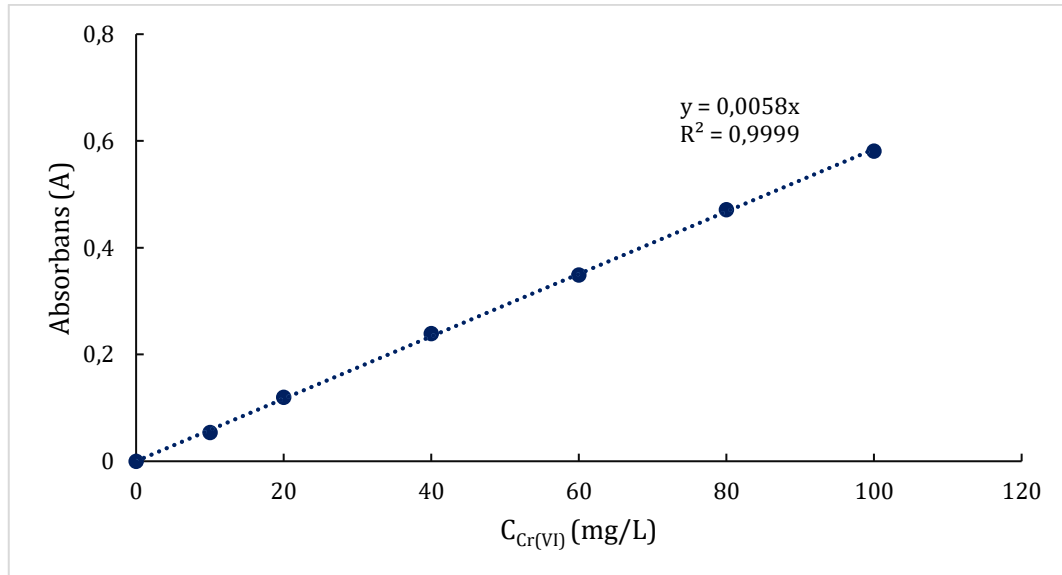


Şekil E.1.1. RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu

EK 2. KROM(VI) TAYİNİ

Krom(VI) iyonları spektrofotometrik olarak krom(VI) iyonlarının asidik ortamda difenil karbazit ile verdiği mor renkli kompleksin absorbansının ölçülmesiyle tayin edilmiştir. Bu amaçla stok krom(VI) iyon çözeltisinden 10-100 mg/L aralığında değişen derişimlerde hazırlanan krom(VI) iyon çözeltilerinden 1'er ml örnek alınarak üzerlerine 1 ml difenil karbazit çözeltisi (0,2 g difenil karbazit % 95'lik etanol çözeltisinde çözülür) ve 1 ml sülfürik asit çözeltisi (1V/5V) eklenip 100 ml'ye saf su ile seyreltilmiştir. 15 dakika bekledikten sonra oluşan mor renkli çözeltilerin Thermo Scientific marka UV spektrofotometrede 542 nm dalga boyunda absorbansları ölçülmüş ve Şekil E.2.1'de sunulan çalışma doğrusu hazırlanmıştır.

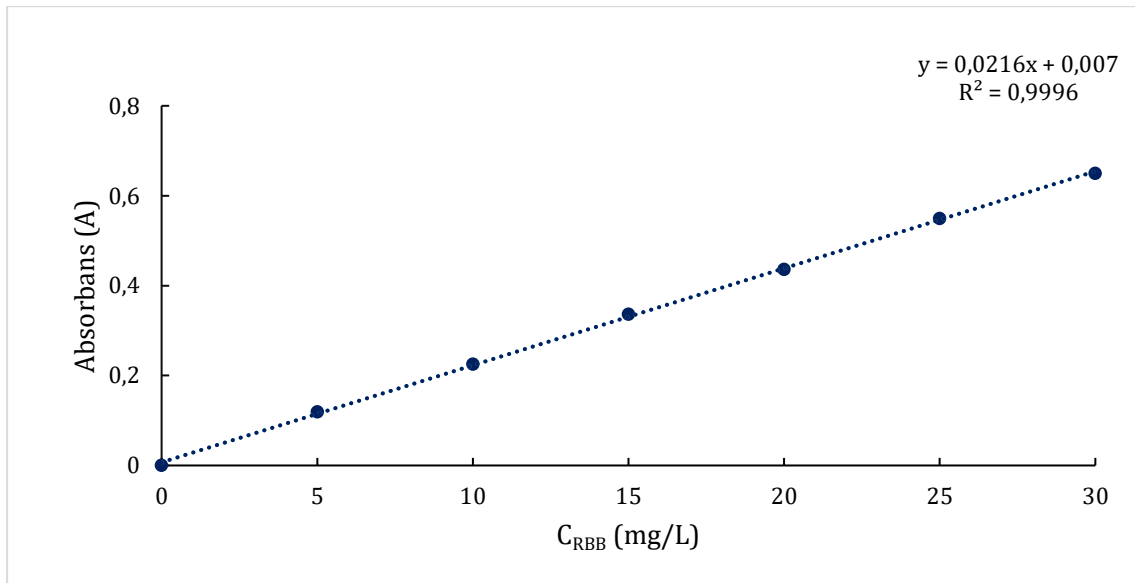
Adsorpsiyon esnasında çözeltide adsorplanmadan kalan krom(VI) iyon derişimi, adsorpsiyondan önce, adsorpsiyonun başlangıcında ve belirli zaman aralıklarında alınan örnekler santrifüjlenerek sıvı kısımlarının gerektiğinde seyreltilmesiyle yukarıda belirtilen yöntemle hazırlanan numunelerin absorbans değerleri okunarak çalışma doğrusu yardımıyla tayin edilmiştir.



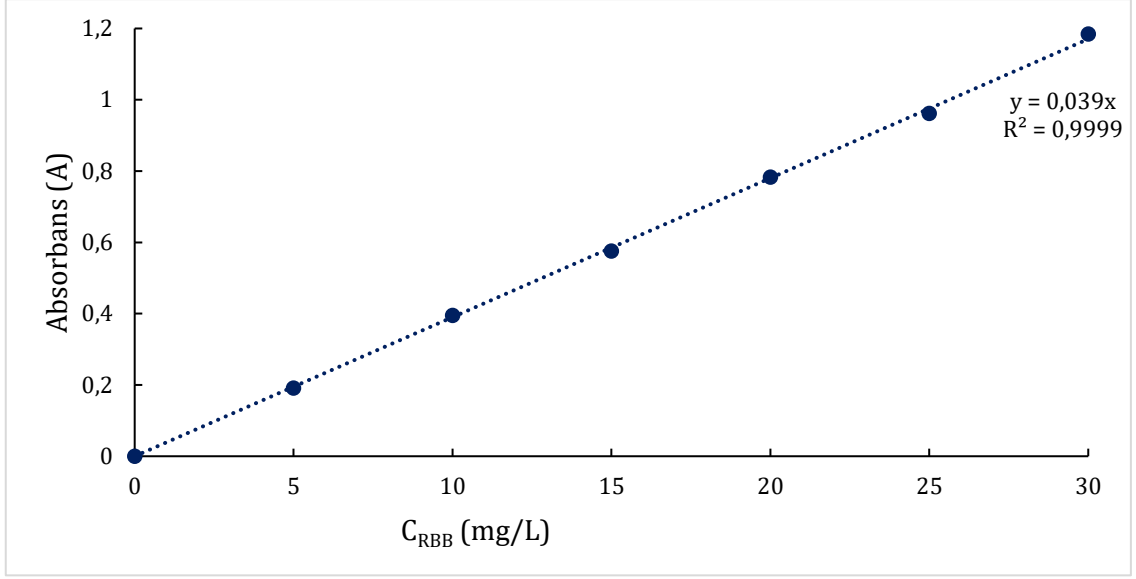
Şekil E.2.1. Krom(VI) derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu

EK 3. REMAZOL BLACK B (RBB)-KROM(VI) İKİLİ KARIŞIMLARINDA REMAZOL BLACK B TAYİNİ

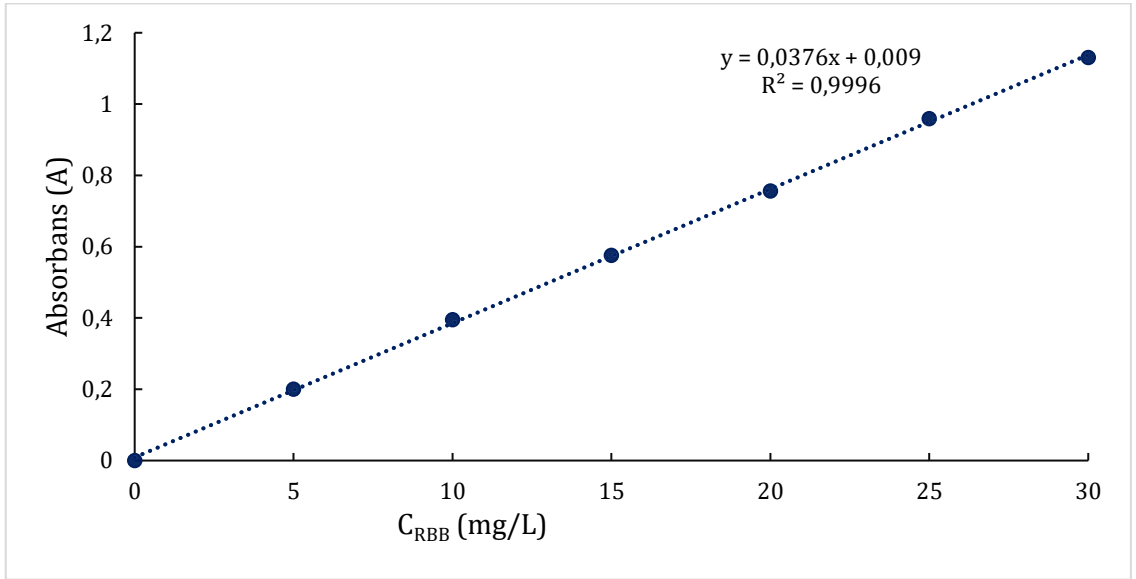
RBB+krom(VI) ikili karışımlarının adsorpsiyonunda adsorpsiyon çözeltileri her bir sabit farklı krom(VI) derişiminde (25, 50, 100, 250, 500 mg/L) RBB derişimi 25-500 mg/L aralığında değiştirilerek hazırlanmıştır. Bu çözeltilerde adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan RBB derişiminin tayininde her bir sabit krom(VI) derişiminde hazırlanan RBB çalışma doğruları kullanılmıştır. Bu amaçla belli sabit derişimdeki krom(VI) çözeltilesindeki RBB derişimi 5-30 mg/L arasında değiştirilerek hazırlanan çözeltilerin 598 nm’de kör olarak boya içermeyen o derişimdeki krom(VI) çözeltilisine karşı okunan absorbans değerlerinden yararlanarak çalışma doğrusu hazırlanmıştır. Her bir sabit krom(VI) derişiminde elde edilen RBB çalışma doğruları EK.3.1.-5.’te sunulmuştur.



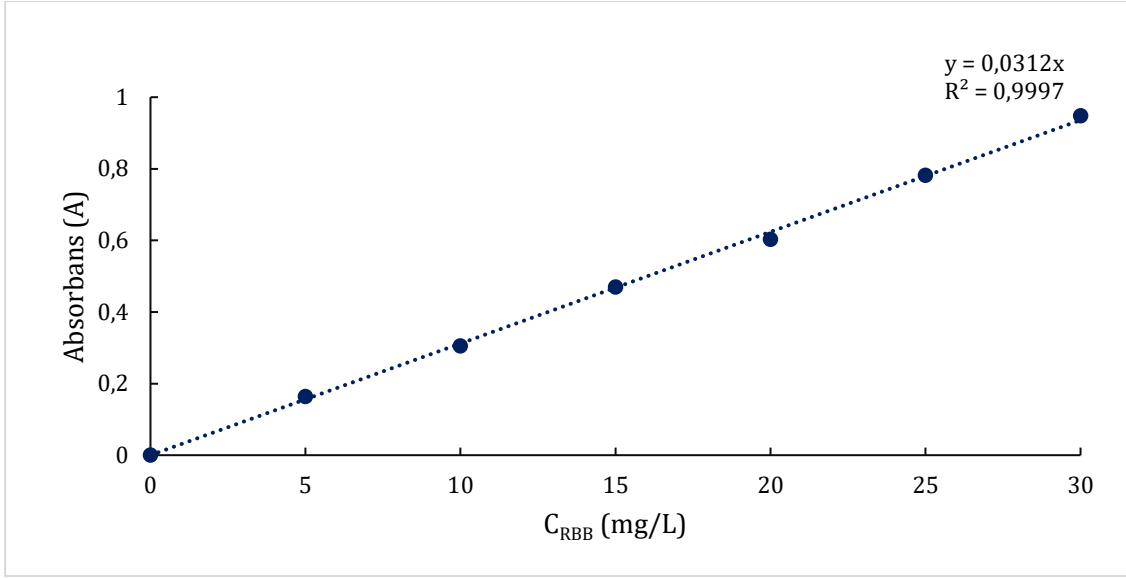
Şekil E.3.1. 25 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltilisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu



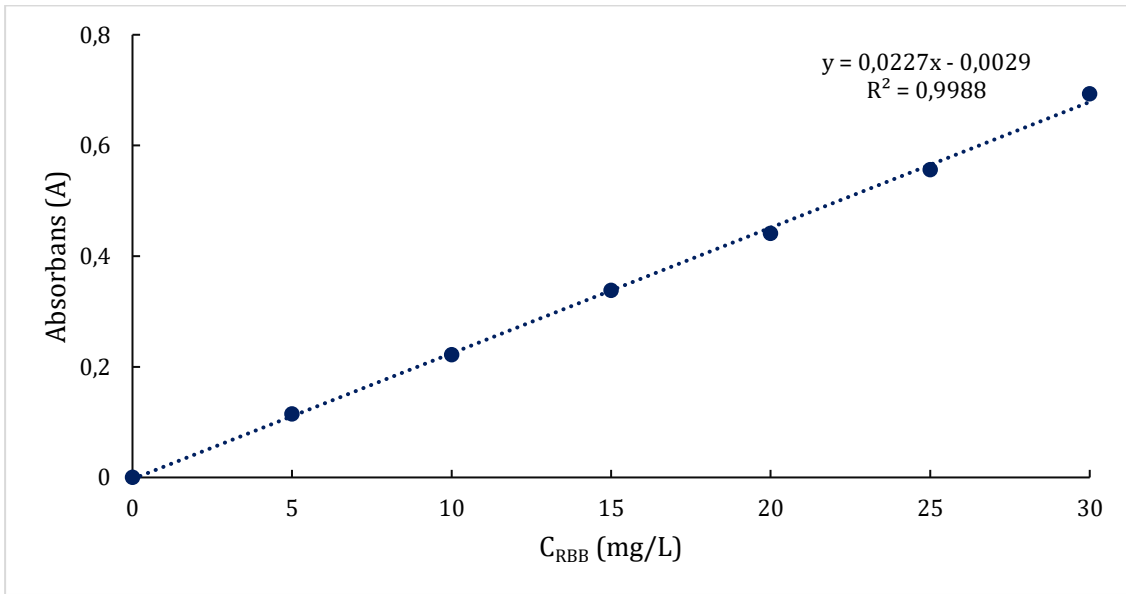
Şekil E.3.2. 50 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu



Şekil E.3.3. 100 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu



Şekil E.3.4. 250 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu



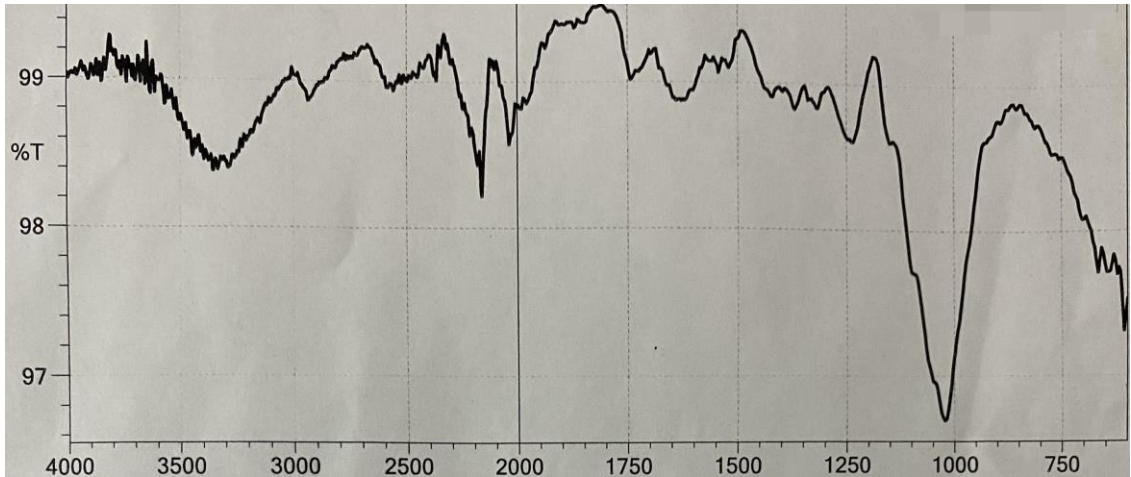
Şekil E.3.5. 500 mg/L sabit krom(VI) içeren RBB+krom(VI) karışım çözeltisinde RBB derişiminin tayininde kullanılan çalışma doğrusu

EK 4. Kurutulmuş Ön İşlemsiz Şeker Pancarı Küspesi ve CTAB ile Muamele Edilmiş Şeker Pancarı Küspesi Adsorbentlerin Karakterizasyon Çalışmaları

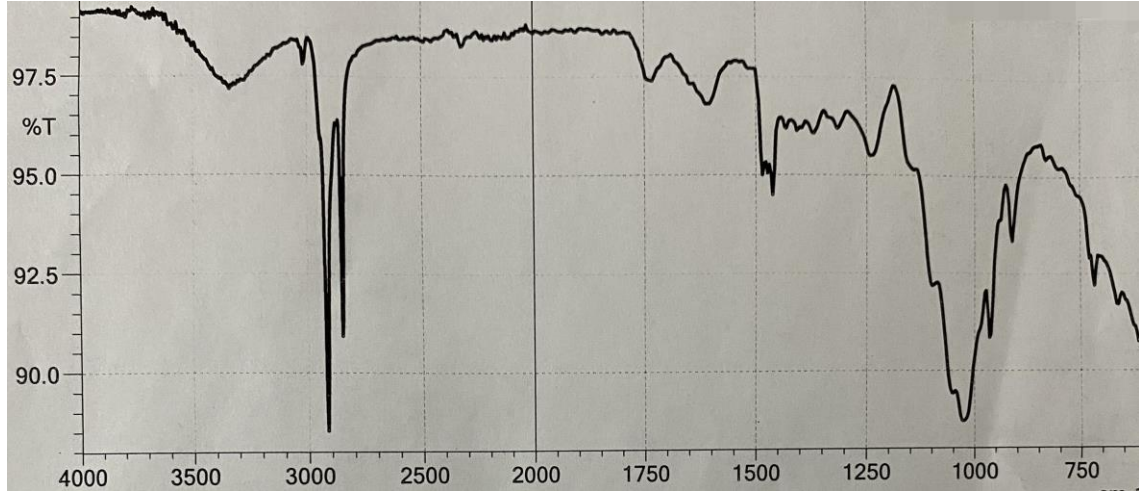
Deneysel çalışmalarda kullanılan kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbent ile CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentin 750-4000 cm^{-1} aralığındaki FTIR spektrumları Şekil E.4.1. ve Şekil E.4.2.'de sunulmuştur.

Her iki adsorbent için de 3500 ile 3200 cm^{-1} aralığında ve 2900 cm^{-1} 'de görülen pikler hidroksil (OH) gruplarındaki O-H bağlarını temsil etmektedir. Bu da şeker pancarı küspesindeki polisakkaritlerin karakteristik bir özelliğidir. Yine her iki adsorbent için de 1736-1733 cm^{-1} aralığındaki çift bağ pikleri, selüloz, hemiselüloz ve lignin gibi bileşiklerde bulunan karboksilik grupların C=O bağının varlığını gösterir. 1624-1608 cm^{-1} aralığında elde edilen pikler, pektin ve esterleşmiş karboksil gruplarının varlığını doğrular. 1317- 1315 cm^{-1} aralığındaki bantlar, metil grubu gerilmesinden kaynaklanan C-H titreşimini temsil eder. 1020-1019 cm^{-1} aralığında gözlenen geniş bantlar ise, hemiselüloz veya lignin yapılarına ait C-O-C bağlarının varlığını göstermektedir.

CTAB ile muamele edilmiş şeker pancarı küspesinde 2853 cm^{-1} 'de görülen pik alkilamonyum katyonlarının varlığına işaret eden bağları temsil etmektedir, 900 cm^{-1} 'deki karakteristik pik ise, CTAB molekülündeki C-N bağlarını temsil etmektedir. Bu, CTAB'ın ŞPK yüzeyindeki kimyasal etkisinin bir göstergesidir.



Şekil E.4.1. Kurutulmuş ön işlemsiz ŞPK adsorbentin FTIR spektrumu



Şekil E.4.2. CTAB ile muamele edilmiş ŞPK adsorbentin FTIR spektrumu