

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

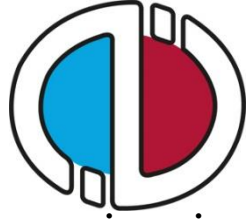
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**SERAMİK TÜBÜLER FİLTRASYON, MEMBRAN
MODÜLLERİNİN DOĞRUDAN VE KİTİN/KİTOSAN
DOLGULU ADSORPSİYON KOLONU OLARAK
ENDÜSTRİYEL FENOLİK REÇİNE İÇEREN ATIKSU
ARITIMINDA KULLANIMININ İNCELENMESİ**

Evrım CANBAY
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN

BİLECİK, 2019
Ref. No 10295525



ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ

BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

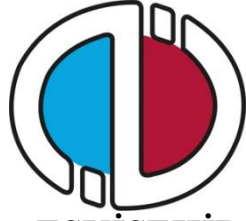
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**SERAMİK TÜBÜLER FİLTRASYON, MEMBRAN
MODÜLLERİNİN DOĞRUDAN VE KİTİN/KİTOSAN
DOLGULU ADSORPSİYON KOLONU OLARAK
ENDÜSTRİYEL FENOLİK REÇİNE İÇEREN ATIKSU
ARITIMINDA KULLANIMININ İNCELENMESİ**

Evrin CANBAY
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN

BİLECİK, 2019
Ref. No 10295525



ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering

**INVESTIGATION OF THE USAGE OF CERAMIC
TUBULAR FILTRATION MEMBRANE MODULES
DIRECTLY AND AS CHITIN/CHITOSAN PACKED
ADSORPTION COLUMN FOR THE TREATMENT OF
PHENOLIC RESIN CONTAINING WASTEWATER**

Evrım CANBAY
Master's Thesis

Thesis Advisor
Assoc. Dr. Selçuk ÖZCAN

BİLECİK, 2019

Ref. No 10295525



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih 06/08/2019 ve 42-07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Evrim CANBAY'ın 'Seramik Tübüler Filtrasyon Membran Modüllerinin Doğrudan ve Kitin/Kitosan Dolgulu Adsorpsiyon Kolonu Olarak Endüstriyel Fenolik Reçine İçeren Atıksu Arıtımında Kullanımının İncelenmesi' başlıklı tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğuyla kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Elif DEMİREL

ÜYE : Doç. Dr. Macid NURBAŞ

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yaptığım alışmalar ve yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, benden hiçbir Şekilde yardımını ve hoşgörüsünü esirgemedен daima yanımda olan Yüksek Lisans Tezi danışmanım, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN'a,

Bana çalışmalarım boyunca destek veren ve yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. ağlayan AÇIKGÖZ'e,

Çalışmalarım sırasında benden desteğini ve emeğini esirgemeyen arkadaşım Sinan ÖZDEMİR'e,

Hayatta iyiyi ve doğru yolu gösteren, aldığım her kararda desteklerini esirgemeyen, her daim arkamda olan, sevgileri ile bana g veren annem Kadriye CANBAY, babam Mehmet CANBAY, abim Kenan CANBAY, yengem Kübra CANBAY ve canım yeğenim Uzay CANBAY'a

En içten teŐekkürlerimi sunarım.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ **2019**

Evrin CANBAY

**SERAMİK TÜBÜLER FİLTASYON, MEMBRAN MODÜLLERİNİN
DOĞRUDAN VE KİTİN/KİTOSAN DOLGULU ADSORPSİYON KOLONU
OLARAK ENDÜSTRİYEL FENOLİK REÇİNE İÇEREN ATIKSU ARITIMINDA
KULLANIMININ İNCELENMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada, seramik membran destek, mikro ve ultra filtrasyon modüllerinin doğrudan filtrasyon yoluyla ve seramik membran destek modüllerinin kitin/kitosan adsorpsiyon sistemlerinde dolgulu kolon olarak kullanılmalarıyla fenolik reçine içeren endüstriyel atık suların arıtılması hedeflenmiştir.

Farklı gözenek yapısına sahip destek, mikro ve ultra filtrelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Filtrasyon ile arıtımda en iyi performansa ultra filtre ile ulaşılmıştır ve fenolik reçine giderimi %78,8 olarak belirlenmiştir. Mikro filtredeki ve destek filtredeki giderim sırasıyla %31,3 ve %1,6 olarak hesaplanmıştır.

Destek filtrenin kitin için yüksek basınç sirkülasyon sisteminde dolgulu kolon olarak kullanılmasıyla fenolik reçineyi adsorbe edebilme özellikleri çalışılmıştır. 40 g adsorbent miktarı, 2000 mL çözelti hacmi, 500 ppm başlangıç fenolik reçine derişimi, 6.25 mL/s sirkülasyon hızı ve 20 °C’de giderim %46 olarak ölçülmüştür. Bu şartlarda kitinin adsorpsiyon kapasitesi 11,6 mg/g olarak belirlenmiştir.

Alternatif adsorban olarak kitosanın fenolik reçineyi adsorbe edebilme özellikleri kesikli sistemde incelenmiştir. Bu amaçla adsorpsiyonu etkileyecek parametreler ve optimum değerleri belirlenmiştir. Sıcaklık, adsorbat başlangıç derişimi ve adsorban miktarları parametreleri incelenmiştir. Giderimin %44 ile maksimum olduğu sıcaklık 20°C ve adsorpsiyon kapasitesi 11,0 mg/g olarak belirlenmiştir. Artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü gözlenmiştir. Adsorpsiyon verilerinin Freundlich izoterm modeline ve Lagergren birinci derece kinetiğine uygun olduğu gözlenmiştir.

Literatürde kitosanın, kinine dönüştürülmüş fenolik bileşikler adsorplama kapasitesi 21,5 mg/g olarak verilmiştir. Ayrıca, katı atıklardan elde edilmiş aktif karbonların ve kömür bazlı adsorbentlerin fenolik reçineleri adsorplama özelliği belirlenmiştir. Pirinç saplarından elde edilen aktif karbonun fenol, mono, di, triklorofenoller adsorplama kapasiteleri sırasıyla 4,9, 11,4, 12,9 ve 14,2 mg/g olarak bulunmuştur. Reçine haline polimerize olmuş fenolik reçineler için adsorpsiyon verisine

literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışma bu alanda literatüre yeni bilgi kazandırmaktadır. Kitin ve kitosanın fenolik reçine adsorplama kapasitelerinin sırasıyla 11,6 ve 11,0 mg/g olmaları itibarıyla literatürde verilen bitkisel atıklardan elde edilmiş aktif karbonun fenolik reçine adsorplama kapasiteleriyle benzer olduğu görülmüştür. Aktif karbon üzerinde fenol ve 2,4- diklorofenol adsorpsiyon aktivasyon enerjisinin sırasıyla 6,69 kJ/mol ve 9,20 kJ/mol olduğu verilmiştir. Tarafımızca tespit edilen kitosan üzerine fenolik reçine adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 6,4 kJ/mol olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular fenolik reçinelerin kitin ve kitosan üzerine adsorpsiyonunun endüstriyel uygulamalar için elverişli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Seramik membran filtre, adsorpsiyon, kitin, kitosan, rezol fenolik reçine

**INVESTIGATION OF THE USAGE OF CERAMIC TUBULAR FILTRATION
MEMBRANE MODULES DIRECTLY AND AS CHITIN/CHITOSAN PACKED
ADSORPTION COLUMN FOR THE TREATMENT OF WASTEWATER
CONTAINING PHENOLIC RESINS**

ABSTRACT

In this study, it is aimed to purify industrial wastewater containing phenolic resin by the use of ceramic support (alumina), micro and ultra filtration modules in direct filtration, and by using ceramic membrane support modules as columns packed with chitin/chitosan powder in a circulation adsorption system..

The ceramic membrane support, micro and ultra filters which have different pore shapes and sizes were compared. The best performance was achieved by ultrafiltration and the yield in phenolic resin removal was 78,8%. The removal with the microfilter and support filter was calculated as 31,3% and 1,6%, respectively.

By using the support filter as a packed column in the high pressure circulation system employing chitin as the filler adsorbent properties, the adsorption properties of chitin for the phenolic resin adsorption, were determined. The adsorption capacity of the chitin of the phenolic resin was determined as 11,6 mg / g.

The adsorbent properties of chitosan as an alternative adsorbent were investigated in the batch system. For this purpose, parameters that affect the adsorption and the optimum values were determined. Temperature, initial concentration of adsorbate and the amount of adsorbent were investigated as parameters. The maximum removal percentage was 44% at 20°C and the adsorption capacity was determined as 11,0 mg / g. Adsorption capacity decreased with increasing temperature. It was observed that the adsorption data were in accordance with Freundlich isotherm model and Lagergren first order kinetics. In the literature, the adsorption capacity of chitosan of the phenolic compounds that were converted to quinine was given as 21,5 mg / g. In addition, the adsorption capacity of the activated carbon obtained from the rice stems was given as 4,9, 11,4, 12,9 and 14,2 mg / g for phenol, and mono, di, trichloro phenols, respectively. No adsorption data for -polymerized phenolic resins has been reported in the literature. This study provided new information to the literature in the field. The phenolic resin adsorption capacities of chitin and chitosan being 11,6 and 11,0 mg / g, respectively, these values were similar to those

of the activated carbon produced from agricultural wastes. The activation energy of phenol and 2,4-dichlorophenol adsorption on activated carbon was reported to be 6,69 kJ / mol and 9,20 kJ / mol, respectively. The adsorption activation energy of phenolic resin on chitosan determined in this study was determined as 6,4 kJ / mol. These findings indicate that the adsorption of phenolic resins on chitin and chitosan is favorable for industrial applications.

Keywords: Ceramic membrane filter, adsorption, chitin, chitosan, resol phenolic resin.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR	
BEYANNAME	
ÖZET	I
ABSTRACT	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİSİ	3
2.1. Fenolik Reçine	3
2.2. Seramik Membran	5
2.3. Adsorpsiyon	9
2.3.1. Adsorpsiyon Mekanizması	9
2.3.2. Adsorpsiyon Türleri	10
2.3.3. Adsorpsiyon İzotermi	12
2.3.4. Adsorpsiyon Kinetiği	15
2.3.5. Adsorpsiyon Termodinamiği	17
2.4. Membran ve adsorpsiyon ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar	18
3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER	24
3.1. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler	24
3.2. Kullanılan Membran Modülleri ve Sirkülasyon Sistemi	24
3.3. Kullanılan Atıksular	27
3.4. Kullanılan Metot	27
3.4.1. Çözeltilerin hazırlanışı	27
3.4.2. Seramik filtrelerle yapılan filtrasyon çalışmaları	27
3.4.3. Seramik filtrelerin dolgulu kolon olarak kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları	27
3.4.4. Kitosanın adsorpsiyon potansiyelinin belirlenmesi	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	28
4.1. Membranların Karakterizasyonu	28
4.1.1. Destek membranların civa porozimetresi	28

4.1.2. Destek ve MF membranların SEM analizi	29
4.2. Reçine çözeltilsinin filtrasyonu	31
4.3. Reçine çözeltilsinin filtreleme ve adsorpsiyonu	32
4.4. Adsorpsiyon İzotermi	43
4.5. Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi	51
5. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 Karbonyum iyonu ile fenolün reaksiyonu sonucu metilolfenol oluşumu (2009, Mağdala)	4
Şekil 2.2 Metilolün fenolle reaksiyonu sonucu novolak oluşumu (2009, Mağdala)	5
Şekil 2.3 Fenolik anyonun formaldehit ile reaksiyonu sonucu metilolfenol oluşumu. (2009, Mağdala)	5
Şekil 2.4 Fenol formaldehit reçinesinde resol yolu ile oluşumu	6
Şekil 2.5 Membran Ayırma Prosesi (2013, Türken)	6
Şekil 2.6 Membran proseslere ait ayırma spektrumu. (2013, Türken)	8
Şekil 2.7 Çözelti İçerisinde Adsorban Partikülü (Savcı, 2005)	10
Şekil 3.1 Tübüler seramik (α -Al ₂ O ₃) membran modülü. (Kızıler, B., 2017)	24
Şekil 3.2 Sirkülasyon sistemi (Kızıler, B., 2017)	25
Şekil 4.1 Destek membran kırık ara yüzeyinin 2500X'teki SEM görüntüsü. (Kızıler, B., 2017)	29
Şekil 4.2 Destek membran iç üst yüzeyinin 2500X ve 10000X'teki SEM görüntüleri. (Kızıler, B., 2017)	29
Şekil 4.3 MF membran iç üst yüzeyinin 5000X ve kırık ara yüzeyinin 250X'teki SEM görüntüleri. (Kızıler, B., 2017)	30
Şekil 4.4 Destek filtre, mikro filtre ve ultra filtrelerinden çıkan arıtım sonrasındaki atıksu konsantrasyonunun sirkülasyon zamanı ile değişimi	31
Şekil 4.5 Sirkülasyon sisteminde midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbent'in sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna adsorbent etkisi (T=20 OC; C ₀ =500 ppm; t=240 dk)	32
Şekil 4.6 Sirkülasyon sisteminde midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbent'in sulu çözeltilerden reçine giderimine adsorbent etkisi (T=20 OC; C ₀ =500 ppm; t=240 dk)	32
Şekil 4.7 Sirkülasyon sisteminde farklı miktarlardaki adsorbent miktarı için sözde (yalancı) birinci dereceden kinetik model eğrileri	33
Şekil 4.8 Sirkülasyon sisteminde farklı miktarlardaki adsorbent miktarı için sözde (yalancı) ikinci dereceden kinetik model eğrileri	33

- Şekil 4.9** Sirkülasyon sisteminde farklı başlangıç konsantrasyon değerlerinde zamanla konsantrasyon değişim miktarı ($m=10$ gr, $T=20$ 0C, $t=240$ dk) 34
- Şekil 4.10** Sirkülasyon sisteminde farklı başlangıç konsantrasyon değerlerinde zamanla yüzde giderim miktarı ($m=10$ gr, $T=20$ 0C, $t=240$ dk) 34
- Şekil 4.11** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk) 35
- Şekil 4.12** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk) 35
- Şekil 4.13** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk) 36
- Şekil 4.14** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk) 36
- Şekil 4.15** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk) 37
- Şekil 4.16** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk) 37
- Şekil 4.17** Midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk) 38
- Şekil 4.18** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk) 38
- Şekil 4.19** Midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk) 39
- Şekil 4.20** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk) 39
- Şekil 4.21** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk) 40
- Şekil 4.22** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk) 40
- Şekil 4.23** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk) 41
- Şekil 4.24** Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk) 41

Şekil 4.25 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk)	42
Şekil 4.26 Sirkülasyon sistemi için Lagmuir İzotermi	42
Şekil 4.27 Sirkülasyon sistemi için Freundlich İzotermi (denge derişimine (log mg/L) karşı adsorbanın dengede adsorpladığı adsorbat miktarı (mg/g))	43
Şekil 4.28 Sirkülasyon sistemi için sözde 1. Kinetiği	44
Şekil 4.29 Sirkülasyon sistemi için sözde 2. Kinetiği	44
Şekil 4.30 Farklı konsantrasyon değerlerindeki destek filtre içine 10 g öğütülmüş midye kabuğu koyularak yapılmış filtrasyon için langmuir izotermi	45
Şekil 4.31 Farklı konsantrasyon değerlerindeki destek filtre içine 10 g öğütülmüş midye kabuğu koyularak yapılmış filtrasyon için freundlich izotermi	45
Şekil 4.32 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi ($m=2$ gr)	46
Şekil 4.33 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi ($m=1$ gr)	46
Şekil 4.34 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi ($m=0,5$ gr)	47
Şekil 4.35 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi($m=2$ gr)	47
Şekil 4.36 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi($m=1$ gr)	48
Şekil 4.37 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi($m=0,5$ gr)	48
Şekil 4.38 Kesikli sistemde reçine atıksuyu adsorpsiyonu için 20 oC, 30 oC ve 50 oC'de birinci dereceden kinetik model eğrileri ($C_0=500$ ppm, $m=2$ gr)	50
Şekil 4.39 Kesikli sistemde reçine atıksuyu adsorpsiyonu için 20 oC, 30 oC ve 50 oC'de ikinci dereceden kinetik model eğrileri ($C_0=500$ ppm, $m=2$ gr)	51
Şekil 4.40 Lagargren Hız Sabitinin sıcaklıkla değişim grafiği ($C_0=500$ ppm, $m=2$ gr)	52
Şekil 4.41 Lagargren Hız Sabitinin sıcaklıkla değişim grafiği ($C_0=250$ ppm, $m=2$ gr)	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1 Sürücü kuvvetlerine göre membran prosesleri. (2013, Türken).....	7
Çizelge 2.2 Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyonun Karşılaştırılması (Savcı, 2005)	11
Çizelge 2.3 Dağılma Sabiti ve Elverişlilik İlkesi (Filiz, 2007).....	13
Çizelge 4.1 Destek membran numunelerinin karakterizasyon verileri. (Kızıler, B., 2017)	28
Çizelge 4.2 40 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin sabitleri.....	43
Çizelge 4.3 Sirkülasyon sisteminde birinci ve ikinci dereceden kinetik model sabitleri (40g).....	44
Çizelge 4.4 2 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin sabitleri.....	49
Çizelge 4.5 1 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin sabitleri.....	50
Çizelge 4.6 0,5 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin sabitleri.....	50
Çizelge 4.7 Reçine atıksuyu için birinci ve ikinci dereceden kinetik model sabitleri (2g)	51

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği, endüstrinin gelişimi ile orantılı olarak artış göstermektedir. Gün geçtikçe artan nüfus ve çevre kirliliği sebebiyle, kullanılabilir ve temiz su kaynaklarına yeni eklemeler ya da mevcut durumlarının devam edilebilirliği bile büyük bir problem halini almaktadır. Yeni temiz su kaynaklarının temin edilmesinin veya kirli suyun arıtılarak tekrar kullanılabilir hale gelmesinin maliyet ve sağlık açısından ehemmiyeti gün geçtikçe fazlasıyla artış göstermektedir. Bu konu hakkında çözümler üretmeyle ilgili yapılan bilimsel araştırmalar son derece önem arz etmektedir (Orbak, 2009).

Bu konuda önemli bir yer tutan membran sistemleri, proses suyunun geri kazanılması için hem etkili hem de uygulama ve üretim maliyetleri düşük sistemler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle mikrogözenekli inorganik bir yapıya sahip olan seramik membranlar; yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dirençli olma ve uzun kullanım ömrü sağlama gibi endüstriyel kullanıma uygun özelliklere sahiptirler. Ayrıca seramik membranlar kolay temizlenebilen, yüksek enerji tasarrufu sağlayan ve kullanımı basit olan malzemelerdir (Kızıllar, 2017).

Arıtımda uygulanan diğer bir etkili yöntem olan adsorpsiyon, sulu ortamda çözülmüş olan bileşenlerin katı adsorbent yüzeyi üzerine tutunması; veya sınır yüzeyi üzerindeki konsantrasyon değişmesi sonucunda faz ara yüzeyinde oluşan tutunma durumudur. Adsorpsiyon durumu ya katı-gaz ya da katı-sıvı fazları arasında oluşmaktadır. Katı-sıvı adsorpsiyonu, atıksu ve içme suyu arıtmada önemli bir rol oynamaktadır. Su arıtımında tedarik etmesi basit ve atık sudaki istenmeyen malzemeleri tutabilen adsorbentler tercih edilmelidir. Adsorpsiyon süreçlerinin ekonomik olması, temin sorunu olmaması, kolay temin edilebilen ve üretim maliyetlerinin uygun olması ile mümkün kılınabilir. Bundan dolayı, adsorpsiyon yöntemiyle ekonomik olarak atık su arıtımında basit süreçlerle elde edilebilecek doğal adsorbentlerin kullanımı konusunda çalışmalar artmaktadır (Baylan, 2013).

Bu çalışmada, mikro ve ultra seramik membran filtrelerle polimerik yapıdaki resol fenolik reçine içeren endüstriyel atık sularda fenolik reçinenin filtre edilebilirliği araştırılmıştır. Bununla birlikte seramik membranların adsorban için dolgulu kolon olarak kullanıldığı ve adsorban olarak öğütülmüş midye kabuğu kullanılan yüksek basınç sirkülasyon sisteminde fenolik reçine içeren endüstriyel atıksu arıtımı incelenmiştir. Ayrıca midye kabuğunun ana bileşeni olan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosanın

kesikli adsorpsiyon sistemlerinde sulu ortamda fenolik reçine adsorbe edebilme özellikleri belirlenmiştir.

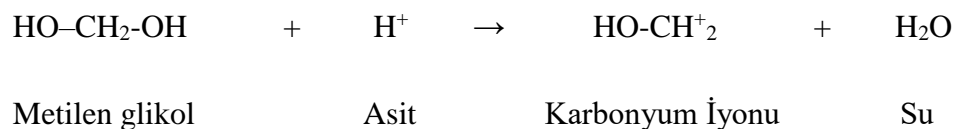
2. LİTERATÜR BİLGİSİ

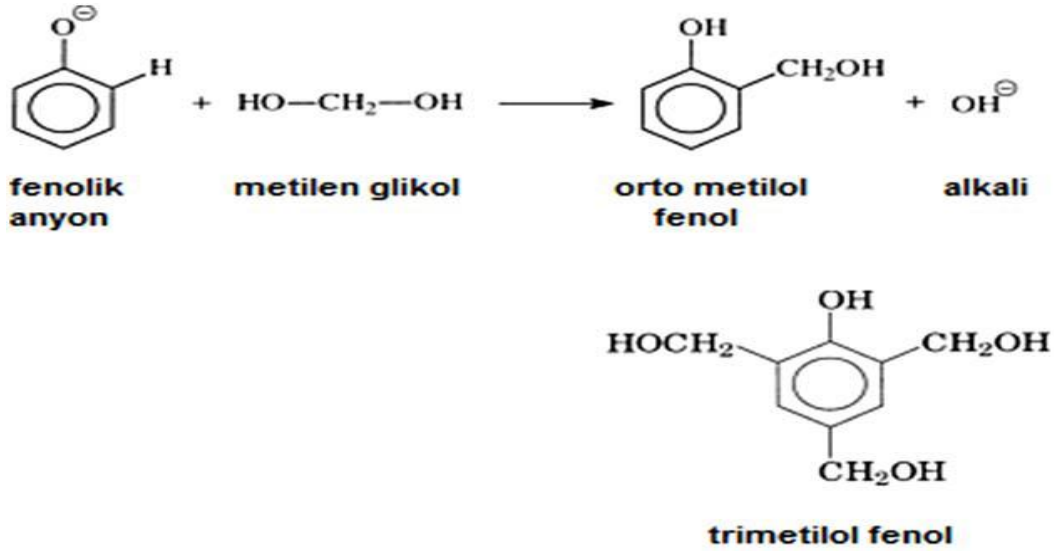
2.1. Fenolik Reçine

Fenolikler reçineler termoset grubu reçineler olup, fenol ve aldehitin (genellikle formaldehit) katalizör varlığında reaksiyonu sonucu temin edilirler. Fenolik reçineli kompozit malzemeler, ateşe karşı yüksek direnç, uzun süreli kullanım ömrü, yüksek sıcaklık ortamında yüksek dayanım ve hidrokarbon ve klorlu çözücülere karşı dirençlidirler. (2009, Mağdala)

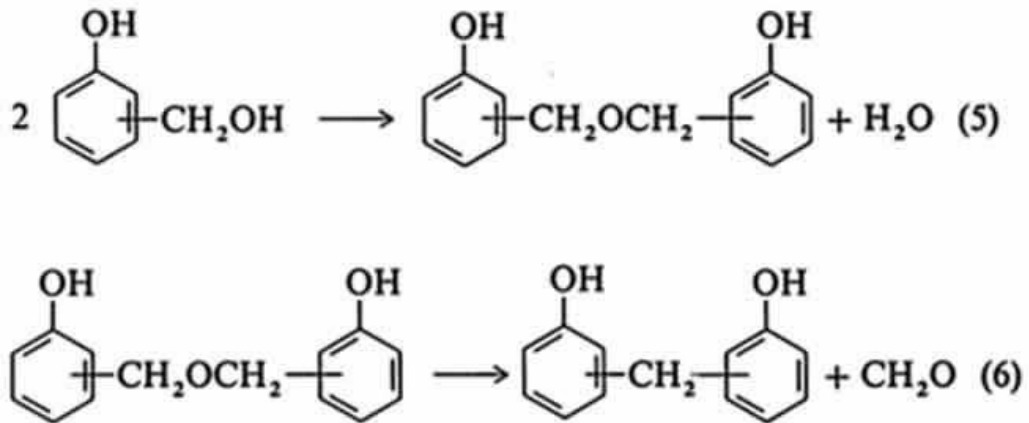
Reaksiyonunda kullanılan katalizatör türü ve kullanılan formaldehit/ fenol oranı reçinenin cinsini belirler. Eğer fenolik reçine, asit katalizatör varlığında üretilmişse ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan küçükse novolak reçine olarak adlandırılmaktadır. Eğer reçine bazik katalizatörle üretilmiş ve formaldehit / fenol molar oranı 0,9'dan büyük ise resol reçine olarak adlandırılmaktadır. Novolak reçinelerin üretiminde oksalik ve sülfürik asit kullanılırken, resol reçinelerde hidroksit, sodyum, lityum, potasyum, baryum ve kalsiyum elementlerinin hidroksitleri veya alifatik aminleri kullanılmaktadır. Novolakların ve resollerin ikisi için de suda %37-52 formaldehit çözeltisi (formalin) kullanılır. (2009, Mağdala)

Novolak sentezinde ilk reaksiyon, asit katalizatörün metilen glikolle reaksiyonu sonucunda karbonyum iyonu oluşumudur. Karbonyum iyonu daha sonra fenolle reaksiyona girerek metilolfenol oluşturur (Şekil 2.1) (2009, Mağdala)





Şekil 2.3 Fenolik anyonun formaldehit ile reaksiyonu sonucu metilolfenol oluşumu. (2009, Mağdala)



Şekil 2.4 Fenol formaldehit reçinesinde resol yolu ile oluşumu

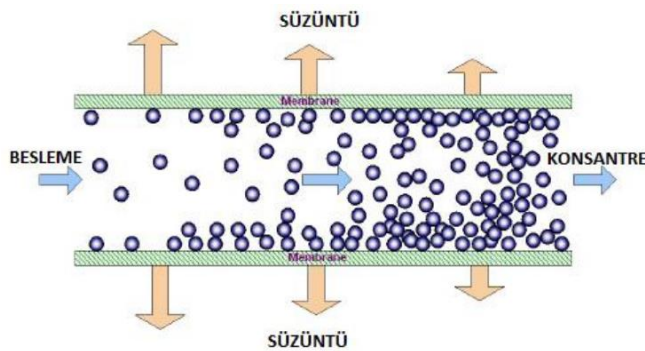
2.2. Seramik Membran

Günümüzde su ve atıksu arıtımına alternatif bir teknoloji olarak geliştirilen membran sistemler, 18. yüzyılın sonlarına doğru osmoz kavramının tanımlanmasıyla ortaya çıkmıştır. 19. ve 20. yüzyılın başlangıcında, membranlar kullanılarak sadece laboratuvar ölçekli çalışmalar gerçekleştirilmiş olup 1960'lı yıllardan itibaren laboratuvar ölçekli sistemlerden endüstriyel ölçekli sistemlere geçişler başlamıştır. 1980'li yıllardan sonra ise mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO) ve elektrodializ (ED) prosesleri yaygın olarak endüstride kullanımına geçilmiştir. Son yıllarda, membran üretim teknolojisindeki gelişmeler, membranların, çeşitli endüstrilerde kullanımını artırmıştır. İlk başlarda diğer süreçlere göre daha pahalı bir

süreç olan membranlar, bu gelişmelerle beraber, diğer fiziksel ayırma yöntemleri olan adsorpsiyon, kristalizasyon, distilasyon, ve gaz ayırımı, solvent ayırımı vb. süreçlerle rekabet edebilir haldedir. (2013, Türken)

Membran sistemler ile su kalitesinin iyileştirilmesi son zamanlarda verimli ve etkin bir şekilde kullanılan ileri arıtma yöntemi olmuştur. İyon değiştirme, buharlaştırma, ters elektrodializ vb. tuzluluk giderme yöntemlerinin yerini membran sistemler almaya başlamıştır. Ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon yaygın kullanılan membran proseslerdir. Bu sistemler tek başına kullanılabilirdiği gibi kademeli sistemler olarak bir arada da uygulanabilmektedir. Membran, iki fazı birbirinden ayıran seçici geçirgen özelliğe sahip bariyer olarak tanımlanabilir. Loeb and Sourirajan 1950'lerin sonunda faz ayırımı yolu ile asimetrik membran üretimini bulduklarından beridir farklı materyaller ile mikro/nano/ultra-filtrasyon, ters osmoz, diyaliz, gaz ayırımı ve pervaporasyon gibi çeşitli uygulamalar için geliştirilmiştir. Şu anda, piyasada düz plaka kompozit membranlar, polimerik hollow fiberler ve inorganik tübüler membranlar gibi birçok membran çeşitleri bulunmaktadır. Polimerik malzemeden yapılmış hollow fiber membranlar geçtiğimiz 50 yıl içerisinde ilk olarak Mohan tarafından patentlenmiştir. Hollow fiber membranlar sahip oldukları yararlı özellikler bakımından düz plaka ve inorganik membranlar ile rekabet içerisinde. Diğer membran konfigürasyonlarına göre hollow fiberler sahip oldukları geometri bakımından membran modüllerinin birim hacmi başına daha fazla yüzey alanı sağlarlar. Ek olarak hollow fiber membranlar kendinden mekanik desteklidir. Bu hollow fiber membranlara ters yıkama özelliği kazandırır. Modül olarak dizayn edilmelerinde ve işletilmelerinde kolaylık sağlar. (2013, Türken)

Basit bir membran ayırma prosesi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Membran Ayırma Prosesi (2013, Türken)

Membran filtrasyonunda, eğer konsantre akım ayrı bir akım olarak membrandan uzaklaşıyorsa yatay akışlı (çapraz akış) filtrasyon, diğer taraftan konsantre akım ayrı olarak çıkmayıp belli bir havuz içinde toplanıyorsa dik akışlı (ölü uç) filtrasyon olarak adlandırılmaktadır. Membranlar yapılarına göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

1. Gözenekli membranlar (mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF))

- Büyük gözenekli (>50nm)
- Orta gözenekli (2nm-50nm)
- Küçük gözenekli (<2nm) (2013, Türken)

2. Gözeneksiz (dense) membranlar (nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO)) olarak ayrılır. Membranlar üretildikleri malzemeye bağlı olarak; organik membranlar (poli etilen, polipropilen, selüloz asetat, polisülfon), inorganik membranlar (seramik membranlar, sinterlenmiş metal, cam ve zeolit) veya yüklenmiş membranlar olarak farklı gruplara ayrılırlar. Gözenekli MF ve UF membranlarda polimerler, proses ihtiyacına, tıkanma eğilimine ve membranın termal ya da kimyasal stabilitesine göre tercih edilmektedir. Sürücü kuvvetlerine göre membranlar Çizelge 2.1’de verilmiştir. (2013, Türken)

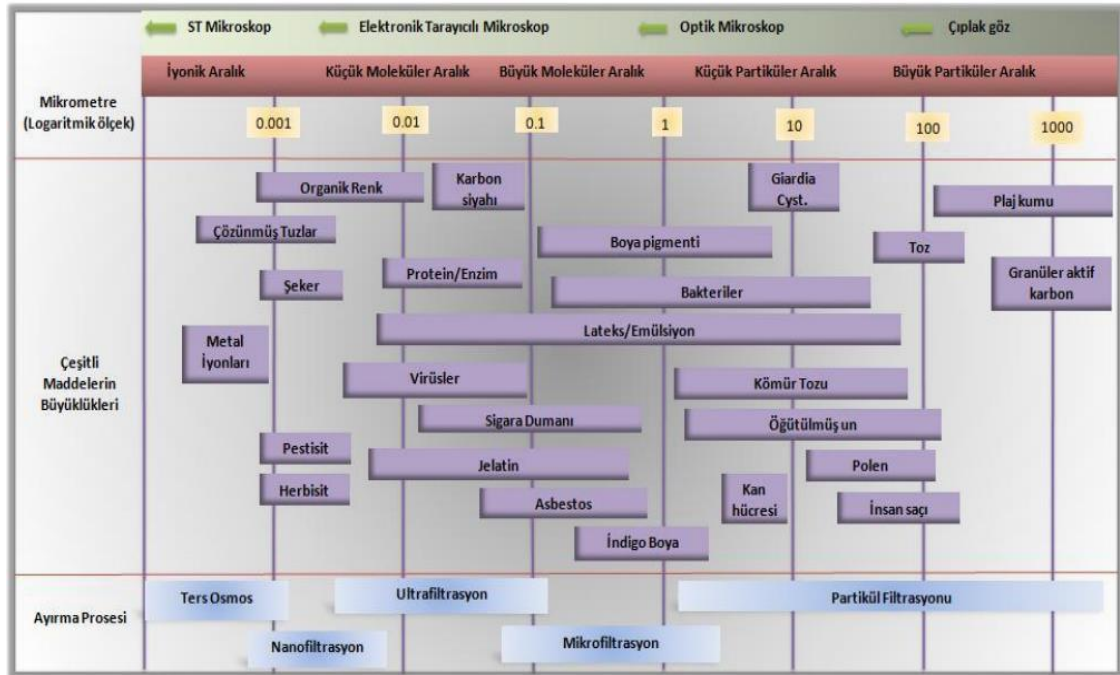
Çizelge 2.1 Sürücü kuvvetlerine göre membran prosesleri. (2013, Türken)

<i>Membran Prosesi</i>	<i>Faz I</i>	<i>Faz II</i>	<i>Sürücü Kuvvet</i>
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmoz (RO)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz Ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Osmoz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç
Elektrodiyaliz (ED)	Sıvı	Sıvı	Elektriksel potansiyel farklılığı
Termo-Osmoz	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç
Membran Distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç

Her membran prosesi farklı ayırma verimindedir. Gözenek büyüklükleri ve partikül madde çaplarına göre ayırım spektrumlarına sahiplerdir. Membran proseslere ait spektrum Şekil 2.5’de verilmiştir. Mikrofiltrasyon membranları, gözenek çapı 0,05 μm ’den 10 μm ’ye kadar olan koloidal maddeleri ve bakterileri tutabilirler (Shilton ve ark., 1997). Çapı membran gözeneginin çapından daha büyük olan partiküller membran tarafından alıkonurken, çapı gözenek çapından daha küçük olan partiküller membrandan geçmektedir. Çapın, membran gözenek çapına denk olması durumunda ise maddeler gözenekte adsorplanmaktadır. (2013, Türken)

MF membranı, fermentasyon ürünlerinden mikroorganizmaları uzaklaştırmak için kullanılabilir gibi, kolloidler, yağ molekülleri ve hücreler gibi heterojen dağılmış parçacıkları da ayrıştırabilir. (2013, Türken)

Kullanılan resol fenolik reçine 0,01 mikrometre tutulma aralığına denk gelmektedir.



Şekil 2.6 Membran proseslere ait ayırma spektrumu. (2013, Türken)

İçme suyu arıtımında ise mikroorganizmaların yüksek miktarda tutulmaları, geleneksel arıtma sistemlerine göre daha az dezenfektan ihtiyacı sağlamaktadır. Bu nedenle MF membranlar ile dezenfeksiyon yan ürünü oluşumu daha düşük seviyelerde olmaktadır. Ultrafiltrasyon membranları protein gibi çözülmüş makro moleküller ve

virüslerin sudan uzaklaştırılması için verimli olarak kullanılmaktadır. Ortalama gözenek çapı 10-1000 Å (Angstrom) aralığındadır. Mikrofiltrasyon membranlarının sınıflandırılması gözenek çapına göre yapılırken ultrafiltrasyon membranları moleküler ağırlık engelleme düzeylerine göre sınıflandırılmaktadırlar (Baker, 2004). Ultrafiltrasyon membranlarının moleküler engelleme sınırları 1000 Dalton'dan 500.000 Dalton'a kadar değişen aralıktadır. (2013, Türken)

2.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, çözünmüş moleküllerin çözücüyü reddetme özelliği veya katıya olan ilgisi veya her ikisinin kombinasyonu sonucu, katı yüzey (adsorbent) üzerinde birikimi olayıdır. Diğer bir ifadeyle, bir bileşenin birlikte bulunduğu bir fazdan ayrılarak diğer bir fazın yüzeyine birikmesi olarak tanımlanabilir (Türkoğlu, S., 2010).

Katı örgüsü içinde bulunan iyonlar çekim kuvvetlerince dengelenmiştir. Ancak katı yüzeyindeki atomların dengelenmemiş kuvvetleri, çözültideki maddeleri katı yüzeyine çekerler ve yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Bu şekilde çözültideki maddelerin katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşir. (Türkoğlu, S., 2010).

Adsorpsiyon işleminde yüksek oranda mezo (orta) ve mikro (küçük) gözenekler tercih edilir. Mezo gözenekler organik bileşiklerin adsorpsiyonu için çok önemli gözenek grubudur. Aktif karbon adsorpsiyon kapasitesi belirlenmesinde toplam spesifik yüzey alanı önemli bir parametredir. Bunun yanında gözenek yapısı ve gözenek yüzeyindeki fonksiyonel grupların varlığı da dikkate alınmalıdır. Karbon yüzeyinin gözenek büyüklüğü; adsorpsiyon kapasitesini, kimyasal yapısı; adsorplanması istenen polar ve polar olmayan molekül ile onun etkileşimini etkiler, ayrıca aktif konumları diğer moleküller ile kimyasal reaksiyonun tipini belirler (Türkoğlu, S., 2010).

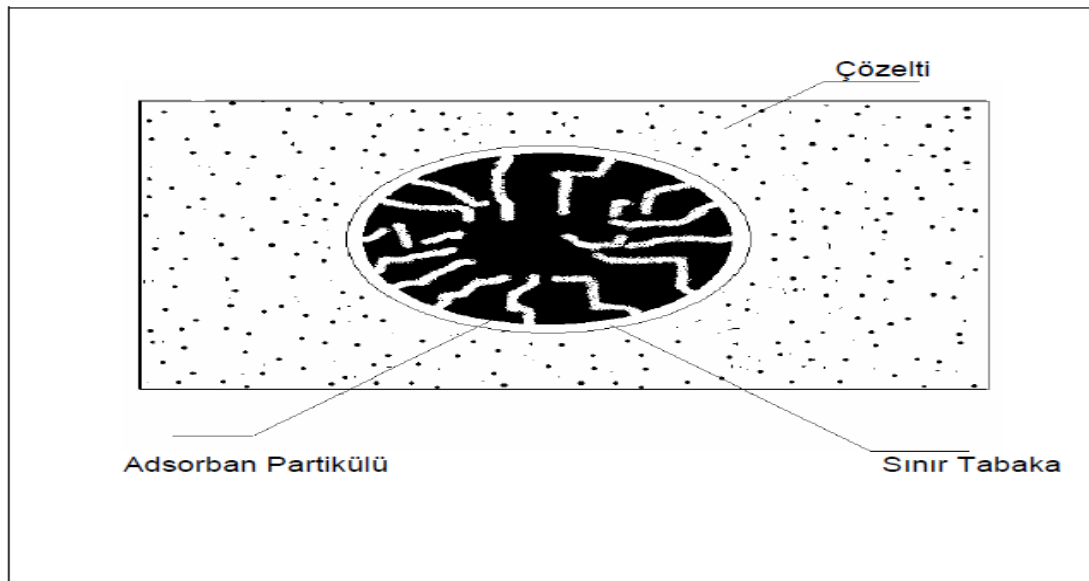
2.3.1. Adsorpsiyon mekanizması

Adsorpsiyon, katı yüzeyi ile çözücüde çözülmüş gaz ya da çözünen maddenin teması ile gerçekleşmektedir. Katı yüzeyinde bulunan bir atom veya molekül dengelenmemiş kuvvetlerin etkisi altında bulunmaktadır. Molekülü içe çeken kuvvet dışa çeken kuvvetten daha büyük olmaktadır. Bu nedenle molekülü aşağı doğru çeken kuvvet yüzeyi küçültme eğilimi göstermektedir. Çözücüde çözülmüş veya gaz halindeki moleküller katı yüzeyindeki atomların doyurulmamış kuvvetleri tarafından katı yüzeyine doğru çekilmektedir ve böylece dengelenmemiş yüzey kuvvetleri gaz veya çözülmüş moleküller tarafından dengelenmektedir. Yani katı maddenin yüzey gerilimi gaz

moleküllerinin adsorpsiyonu ile küçültülmüş olmaktadır. Bu olay sistemin yüzey enerjisini azaltmaktadır. Yüzey enerjisini azaltma kendiliğinden gerçekleşen bir olaydır. Adsorpsiyon olayı ile sistemin serbest enerjisinde bir azalma olmaktadır dolayısıyla adsorpsiyon kendiliğinden olan bir olaydır. (Savcı, 2005)

2.3.2. Adsorpsiyon türleri

Adsorpsiyonun temel mekanizması ayrılacak maddenin katıya duyduğu ilgiye bağlıdır. Sulu sistemlerde her iki özelliğin bir kombinasyonu önem taşır. Bu özellikleri etkileyen tüm faktörler, bu arada çözünürlük adsorpsiyon için önem taşır. Bir sıvı katı sistemde çözültiden katı faz yüzeyine adsorpsiyon sırasında, katı ve sıvı fazdaki maddelerin derişimleri arasındaki oran adsorpsiyon verimi açısından önem taşır. Bir adsorban partikülünün çözülti içindeki durumu Şekil 2.3.1’de gösterilmiştir (Savcı, 2005).



Şekil 2.7 Çözülti İçerisinde Adsorban Partikülü (Savcı, 2005)
Adsorpsiyon, fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon olmak üzere üçe ayrılır;

2.3.2.1. Fiziksel adsorpsiyon

Adsorplanan madde ve katı molekülleri arasında moleküller arası çekim kuvvetlerinin sonucu kendiliğinden oluşan bir olaydır. Fiziksel adsorpsiyonun oluşabilmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterlidir. Van der Waals kuvvetleri adsorplanan madde ile adsorplayıcı arasındaki bağı sağlar ve bu bağlar zayıf ve tersinirdir.

Adsorpsiyon çok tabakalı ve adsorbanın geri kazanımı kolaydır. Adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi düşüktür (2-5 MJ/mol). (Savcı, 2005)

2.3.2.2. Kimyasal adsorpsiyon

Adsorplayan ve adsorplanan madde arasında kimyasal bağlanma olur. Kimyasal bağın uzunluğu değişebilir ve genel anlamda bilinen kimyasal bileşenler oluşmayabilir. Kimyasal adsorpsiyondaki yapışma kuvveti fiziksel adsorpsiyondan daha büyüktür. Adsorpsiyon tek tabakalı ve tersinmezdir. Adsorplanan maddenin desorpsiyonunda bir değişim geçirdiği düşünülmektedir. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı kimyasal reaksiyon ısı düzeyindedir ve aktivasyon enerjisi büyüktür (10-50 MJ/mol). Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşir. (Savcı, 2005)

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar Çizelge 2.2.'de verilmiştir. (Savcı, 2005)

Çizelge 2.2 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması (savcı, 2005)

Parametre	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Adsorban	Bütün Katılar	Bazı Katılar
Adsorbat	Kritik Sıcaklığın Altındaki Bütün Gazlar	Kimyasal Olarak Reaktif Bazı Gazlar
Sıcaklık Aralığı	Düşük Sıcaklıklar	Yüksek Sıcaklıklar
Adsorpsiyon Isısı	Düşük	Yüksek
Aktivasyon Enerjisi	Düşük	Non-aktif : Düşük Aktifleşmiş:Yüksek
Yüzey Örtme	Çok Tabakalı	Tek Tabakalı
Tersinirlik	Yüksek Oranda Tersinir	Sıcaklıkla Tersinmez
Önemi	Gözenek Boyutu ve Yüzey Alanı Tayini	Aktif Merkez Alan Tayini Yüzey Reaksiyon Kinetiklerinin Tanımlanması

2.3.2.3. İyonik adsorpsiyon

Seçimli olarak bir iyonun katı yüzeyine tutulmasında elektrostatik çekim kuvvetlerinin etken olması ile açıklanır. Belirli katılar ve elektrolit bir çözelti arasındaki iyonların tersinir değişimine iyon değişimi adı verilir. İyon değişimi olayı adsorpsiyondan daha kompleks olsa da, genel teknikler ve elde edilen sonuçlar çok benzerdir. (Savcı, 2005)

2.3.3. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde birikmiş toplam madde derişimi ve çözeltilerde içerisindeki madde derişimi arasındaki denge hali oluşana kadar devam eder. Dengenin oluşması için adsorpsiyon hızının desorpsiyon hızına eşitlenmesi gerekir. Matematiksel olarak sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge derişimi arasındaki ilişki adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Gazların adsorpsiyonunda derişim birimi olarak kısmi basınç ya da mol yüzdesi kullanılırken, çözeltilerde ise derişim birimi olarak mg/L veya ppm birimleri kullanılır. (Filiz, 2007)

Bu süreçte Jaeger ve Erdös bilim insanlarının oluşturduğu genel bir formülden yola çıkılarak, birçok araştırmacı tarafından deneysel çalışmaları sonrasında farklı izoterm denklilikleri ortaya atılmıştır. En yaygın olarak kullanılan izoterm: Freundlich, Langmuir ve BET (Brauner, Emmet, Teller)'dir. (Filiz, 2007)

2.3.3.1. Langmuir izotermi

Langmuir bağıntısına göre adsorban yüzeyi enerji açısından benzerdir. Atom veya moleküller, adsorplayıcı yüzeyinde aktif merkezler tarafından tutulur ve oluşan film monomoleküler kabul edilir. Irving Langmuir tarafından oluşturulan bu bağıntıda kabul edilen varsayımlar şöyledir: (Filiz, 2007)

- Adsorpsiyon, yüzeyde monomoleküler yani tek bir tabaka üzerinde gerçekleşir,
- Adsorpsiyon dengesi dinamik bir dengedir; belli bir zaman aralığında adsorplanan madde miktarı, yüzeyden ayrılan madde miktarına eşittir,
- Adsorpsiyon hızı, adsorplanan maddenin konsantrasyonu ve adsorbanın örtülmemiş yüzeyiyle doğru orantılıdır,
- Aslında bütün adsorban yüzey alanları aktif olmamasına rağmen alanların ortalama etkisi kullanılır; bu anlamda bütün yüzeyin aynı adsorpsiyon etkisine sahip olduğu kabul edilir,
- Adsorplanan moleküller arasında bir girişim mevcut değildir. (Filiz, 2007)

Bu izotermi açıklayan birçok kaynak vardır; kaynaklardaki terimsel ifadeler farklılık göstermelerine rağmen işaret ettikleri sonuç aynıdır. (Filiz, 2007)

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (2.1)$$

$$q_e = \frac{Q_{max} a_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (2.2)$$

Burada;

C_e ; adsorpsiyon sonrası çözeltilerde kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

q_e ; birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

K_L ; adsorbanın adsorptivitesine bağlı Langmuir sabiti (L/g)

a_L ; adsorpsiyon enerjisine bağlı Langmuir sabiti (L/mg)

Q_{max} (K_L/a_L); tek tabakalı adsorpsiyon kapasitesini göstermektedir (mg/g), (Filiz, 2007)

İlk eşitlikteki Langmuir sabitlerinin bulunabilmesi için, bağıntının doğrusallaştırılması gerekir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \frac{a_L}{K_L} C_e \quad (2.3)$$

C_e/q_e değerini, C_e değerine göre değişimin grafiğe dökülmesiyle ortaya çıkan doğrunun eğimi a_L/K_L sabitini, kesim noktası ise $1/K_L$ sabitini verir. Burada K_L , denge sabiti olup, K_L/a_L oranı teorik doygunluk kapasitesini ifade eder. Özellikle tek tabakalı adsorpsiyonun meydana geldiği heterojen adsorpsiyon sistemlerinde bu izoterm denge durumunu net olarak açıklayamaz. Adsorpsiyonun elverişliliğini bulmak için boyutsuz R_L (dağılma) sabiti hesaplanır ve bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler alması elverişlilik durumunun sağlandığına işaret eder. Tablo 4.1, dağılma sabiti ve elverişlilik ilkesi arasındaki bağıntıyı göstermektedir. (Filiz, 2007)

$$R_L = \frac{1}{1+a_L C_0} \quad (2.4)$$

a_L ; Langmuir sabiti (L/mg)

C_0 ; maddenin çözeltideki başlangıç derişimi (mg/L) (Filiz, 2007)

Çizelge 2.3 Dağılma Sabiti ve Elverişlilik İlkesi (Filiz, 2007)

Dağılma Sabit Değerleri	İzoterm Tipi
$R_L > 1$	Elverişli olmayan
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Elverişli
$R_L = 0$	Tersinmez

2.3.3.2. Freundlich izotermi

Freundlich izotermi, belli miktardaki adsorbanın, adsorplanan madde miktarının başlangıçta hızlı, belli bir süre geçtikten sonra, adsorban yüzeyinin doygunluğa ulaşmaya

başlamasıyla daha yavaş bir artış göstereceği ilkesine dayanmaktadır. Freundlich izotermde adsorpsiyon dengesi şu bağıntı ile ifade edilir; (Filiz, 2007)

$$C_e = K_F [v(C_0 - C_e)] \quad (2.5)$$

$$C_e = K_F q_e^n \quad (2.6)$$

Burada,

q_e ; birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),

C_e ; adsorpsiyon sonrasında çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (m/L),

K_F ; deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi,

n ; deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon yoğunluğudur.

K_F ve n her deney için farklı değerlere sahiptir. Bunlara *Freundlich sabitleri* denir.

Freundlich izoterm denkleminde eitiğin her iki yanını logaritmasının alınarak doğrusal hale getirilmesiyle aşağıdaki eşitlik elde edilir; (Filiz, 2007)

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.7)$$

$\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişiminin grafikte gösterilmesiyle Freundlich sabitleri bulunur. Grafikten elde edilen doğrunun y eksenini kestiği nokta $\log K_F$ 'yi ve eğimi $1/n$ 'i verir. $1/n$ heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojen ise, $1/n$ değeri o kadar sifıra yakın olur. Bu izotermi doğruluğu, heterojen adsorpsiyonlarda Langmuir izotermine göre daha iyi sonuç vermektedir. (Filiz, 2007)

2.3.3.3. **BET izotermi**

BET izotermi, Brauner, Emmett ve Teller geliştirmiştir. Çok tabakalı adsorpsiyonun gerçekleştiğini kabul eder. İlk adsorplanan molekül tabakası üzerinde farklı moleküler tabakaların oluştuğu düşünülür. Her bir adsorplanan tabaka Langmuir modelindeki tek tabaka olarak değerlendirilir. BET izotermi varsayımlar aşağıdaki gibidir: (Filiz, 2007)

- Adsorban yüzeyi monomoleküler bir tabaka tarafından kaplanmadan önce multimoleküler tabakalar oluşur.
- Adsorpsiyon dengeye geldiğinde tabakaların her biri ayrı bir denge haline gelir.
- Birinci tabaka dışında, bağ enerjisinin sorumlu kuvvetleri, gazın sıvılaşmasındaki kuvvetlerin aynıdır. (Filiz, 2007)

BET izotermi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$\frac{qe}{qm} = \frac{bCe}{(Cs-Ce)\left[1+\frac{(b-1)Ce}{Cs}\right]} \quad (2.8)$$

Burada,

q_m ; birim adsorban kütlesi başına adsorplanan maksimum madde miktarı (mg/g)

C_e ; adsorpsiyon sonrasında çözültide kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

C_s ; adsorbatın çözültideki doygunluk konsantrasyonu (mg/L)

Yukarıdaki eşitliğin doğrusallaştırılmasıyla: (Filiz, 2007)

$$\frac{Ce}{qe(Cs-Ce)} = \frac{1}{bqm} + \frac{b-1}{bqm} \left(\frac{Ce}{Cs}\right) \quad (2.9)$$

bağıntısı elde edilir. Buna göre, $C_e/[q_e(C_s-C_e)]$ değerlerine karşılık, C_e/C_s değerlerinin grafiğe geçirilmesi ile elde edilecek doğrunun kesim noktasından $1/bq_m$, eğiminden ise $(b-1)/(bq_m)$ değerleri bulunabilir. (Filiz, 2007)

2.3.3.4. Diğer izotermeler

Bir adsorpsiyonun hangi izoterme daha uygun olduğu görülmesi için deneysel olarak elde edilen verilerin tümü tüm izoterm denklemlerinde hesaplanıp grafik üzerinde çizilmelidir. Veriler ile çizilen grafikte doğrusal bir veri grafiği oluşursa izoterm çeşidi o adsorpsiyon için en uygun olanıdır. Grafikten çizilecek doğru ile korelasyon katsayısına ulaşılır. (Filiz, 2007)

Sıklıkla kullanılan izotermeler Langmuir, Freundlich ve BET izotermeleridir. Buna rağmen bazı özel durumlar için türetilmiş izotermeler de vardır. Bunlar: (Filiz, 2007)

Temkin: Sorpsiyon ısısındaki düşüşün logaritmik yerine lineer düşüş gösterdiği sistemler için kullanılmaktadır.

Dubin-Radushkevich: Karakteristik sorpsiyon eğrisinin adsorbanın gözenekli yüzeyine bağlı olduğu sistemler için kullanılır.

Toth: Karbon üzerinde bulunan fenolik bileşikler gibi heterojen sistemlerde kullanılmaktadır.

Sips: Bir molekülün iki siteyi de kapsadığı durumlarda kullanılmaktadır.

Redlich-Peterson: Freundlich ve Langmuir izotermelerinin özelliklerini aynı denklik üzerinde birleştirmektedir. (Filiz, 2007)

2.3.4. Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları, etkin adsorban-adsorplanan temas süresinin bulunmasına imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte, adsorpsiyonun hızı adsorpsiyonun kaçınıcı basamağı tarafından belirlendiğini de belirtir. Adsorpsiyon dört temel basamaktan oluşur. İlk basamakta gaz veya sıvı faz içindeki adsorplanan madde, adsorbanı kaplayan bir film tabakasına doğru difüzyon oluşturur, bu aşama hızlı bir basamaktır ve hızın belirlenmesine olanak sağlamaz. Fakat, adsorbanın bulunduğu fazın hareketsiz olması durumunda ise, bu aşama en yavaş olur ve adsorpsiyon hızını bu basamak belirler. İkinci aşamada, film tabakasına gelen adsorplanan madde, buradaki mevcut durgun kısımdan ilerleyerek adsorbanın gözeneklerine doğru ilerler, bu ilerleme ise sınır tabaka difüzyonu veya film-kütle transferi olarak adlandırılmaktadır. Bir sonraki aşamada, adsorplanan adsorbanın gözeneklerinden ilerleyerek adsorpsiyonun gerçekleşeceği yüzeye doğru hareket eder buna da gözenek difüzyonu denmektedir. Adsorpsiyon hızı genel bir ifade ile film kütle transferi veya gözenek difüzyonu basamakları tarafından belirlenmektedir. Son aşamada adsorplanan madde, adsorbanın gözenekleri üzerinde adsorplanır ve bu basamak adsorpsiyon presesinin en hızlı adımındır. (Bektaş, 2009)

Adsorpsiyon hızını belirlemek için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır.

Birinci derece Lagergren eşitliği:

$$\frac{dq_e}{dt} = k_{ad}(q_e - q_t) \quad (2.10)$$

t=0, q_t=0 olduğunda;

$$\log\left(\frac{q_e - q_t}{q_e}\right) = -\frac{k_1 t}{2.303} \quad (2.11)$$

İkinci dereceden hız eşitliği:

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k.t \quad (2.12)$$

Yalancı ikinci dereceden hız eşitliği:

$$\frac{t}{q_t} = \left(\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2} \right) + \frac{t}{q_e} \quad (2.13)$$

Burada;

k_1 ; Lagergren adsorpsiyon hız sabiti, (dk^{-1}),

k ; ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti, ($g/(mg.dk)$),

k_2 ; yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti, ($g/(mg.dk)$),

q_t ; herhangi bir t zamanındaki birim adsorban kütlesi başına adsorbe edilmiş madde miktarı (mg/g)'nı gösterir. Eşitliklerdeki y değerleri olan $\log(q_e - q_t)$, $1/(q_e - q_t)$ ve t/q_t x değeri olan t 'ye karşı grafiğe geçirilirse k_1 , k ve k_2 değerleri bulunur. (Bektaş, 2009)

2.3.5. Adsorpsiyon termodinamiği

Adsorpsiyon aşamasındaki entalpi değişimi, entropi değişim, serbest enerji değişimi ve denge sabiti belirlenerek adsorpsiyon olayı termodinamik açıdan incelenir. Adsorpsiyonda, adsorplanan malzeme ile daha düzenli hale geçildiğinden entropi azalmalıdır. (Bektaş, 2009)

Sabit basınç ve sabit sıcaklıkta kurulan adsorpsiyon dengesi sırasında adsorplanmış faz için,

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_c$$

eşitliği yazılır.

K_c ; adsorpsiyon denge sabiti,

$$K_c = \frac{C_A}{C_e} \quad (2.14)$$

C_A ; adsorplanmış molekülün denge derişimi, (mg/L),

C_e ; adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan adsorplanan derişimi, (mg/L).

Belli bir sıcaklıkta yapılan adsorpsiyon işleminin Gibbs serbest enerjisini bulmak için, öncelikle, (2.11) no'lu eşitlikten yararlanılarak adsorpsiyon denge sabiti bulunur ve daha sonra bu değer, (2.10) nolu eşitlikte yerine konularak Gibbs serbest enerjisi hesaplanır. (Bektaş, 2009)

Eşitlik (2.11) ve (2.10)'in birleştirilmesi ile elde edilen Eşitlik (2.14) aşağıdadır.

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \quad (2.15)$$

Bu eşitlik kullanılarak $\ln K_c$ değerlerinin $1/T$ değerlerine karşı grafiğin çizilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden ΔH^0 ve kayımından ΔS^0 değerleri bulunur ve çizilen bu doğru Van't Hoff doğrusu olarak adlandırılır. (Bektaş, 2009)

Burada ΔH^0 'ın pozitif değerleri adsorpsiyonun endotermik, ΔG^0 'ın negatif değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir veya başka bir deyişle, adsorpsiyon işleminin uygulanabilirliği entalpi ve Gibbs serbest enerji değerlerinin negatif olmasıyla anlaşılmaktadır. (Bektaş, 2009)

2.4. Membran ve Adsorpsiyon ile İlgili Literatürde Yapılmış Çalışmalar

Bu çalışmanın temel amacı, doğal organik maddenin (NOM) model çözeltilerden ve içme suyu kaynaklarından uzaklaştırılmasında farklı gözenek boyutlarına sahip seramik ultrafiltrasyon (UF) membranlarının etkinliğini araştırmaktır. Tüm deneylerde laboratuvar ölçekli, çapraz akışlı bir seramik membran test ünitesi kullanılmıştır. İki farklı tek kanallı borulu seramik membran modülü, ortalama gözenek boyutları 4 ve 10 nm ile test edildi. Membran gözenek büyüklüğü ve basıncının permeat akışı üzerindeki etkileri ve UV (280 nm) absorbansı, spesifik UV absorbansı (SUVA (280 nm)) ve çözülmüş organik karbon (DOC) 'nun uzaklaştırılmasının etkileri belirlenmiştir. Model çözeltiler ve ham sularla yapılan deneylerden önce temiz su akışı testleri yapılmıştır. UV (280) absorbans azalmaları, ham suda test edilen tüm basınç ve membranlarda %63 ile %83 arasında değişmiştir. Model NOM çözeltilerinde her iki zar da %90'dan fazla UV (280) absorbans azaltımı elde edildi. Bu gibi yüksek UV absorbansı azaltmaları, NOM'un UV absorbe edici bölgelerinin, trihalometanlar ve haloasetik asitler gibi yan ürünlerin dezenfeksiyonu için ana öncüllerden biri olduğu bilinmesi nedeniyle avantajlıdır. Her iki UF membranı için, ham sudaki DOC uzaklaştırma aralıkları ve model NOM çözeltileri, sırasıyla %55-73 ve %79-91 idi. Ham suyun SUVA (280) değeri, her iki zar tarafından da 2'den 1,5 L / mg-m'ye düşürülmüştür. Model çözeltiler için, membran işleminden sonra SUVA (280) değerleri sürekli olarak <veya = 1 L / mg-m seviyelerine düşürüldü. NOM kaynağının SUVA (280) değeri arttıkça, test edilen seramik UF membranları tarafından SUVA (280) azalması ve DOC çıkarılması da artmıştır. Genel olarak sonuçlar, seramik UF membranlarının, özellikle 4 nm ortalama gözenek boyutuna sahip olanların, organik madde ve DBP öncüllerinin, içme suyu kaynaklarından nispeten yüksek ve sürdürülebilir

geçirgen akı değerleri ile çıkarılmasında etkili görüldüğünü gözlemlenmiştir. (Koseoglu, H., Yiğit, N., Ö., Sayılğan, E., Beyhan, M., 2010)

Poliakrilamid, yağ üretiminde polimer seli için yaygın olarak kullanılmaktadır. Atıksu, polimer taşkın işleminde üretilir. Bu çalışmada, atık suyun arıtılması için seramik bir membran sistemi kullanılmıştır. Membran gözenek büyüklüğü ve PAM konsantrasyonlarının filtrasyon performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Membran gözenek büyüklüğünün artması ile akı ciddi şekilde azalmıştır. PAM konsantrasyonu kritik misel konsantrasyonundan (CMC) düşük olduğunda, sözde sürekli akı PAM konsantrasyonu ile azalmıştır. PAM konsantrasyonu CMC'ye yakın veya daha yüksek olduğunda, PAM konsantrasyonunun PSF üzerinde çok az etkisi olmuştur. Ultrafiltrasyon membranları için, permeattaki ortalama MW PAM, farklı PAM konsantrasyonları ile çok az değişti. Bununla birlikte, mikrofiltrasyon membranları için, nüfuzdaki ortalama MW PAM, PAM konsantrasyonu ile azalmıştır. NaCl konsantrasyonunun PAM çözeltilerinin filtrasyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. NaCl konsantrasyonu arttıkça, PAM morfolojisinin değişimi PSF'nin belirgin şekilde düşmesine neden olmuştur. Membran kirlenme mekanizmaları ve membran temizleme yöntemleri de tartışıldı. Gözenek blokajı ve jel tabakası oluşumu hem akı düşüşüne katkıda bulunmuştur. Kirlenmiş zar, pH > 12 olan bir NaOH sulu çözeltisi ile kolayca temizlendi. (Zhang, H., Zhong, Z., Xing, W., 2010)

Endüstriyel kaynaklar tarafından büyük miktarda yağlı atık üretilmektedir. Suda yağ emülsiyonları, mevcut arıtma teknolojilerinin çoğu zaman maliyetli ve etkisiz olduğu en ciddi kirletici maddelerdir. Son yıllarda, yağlı atık su arıtımı için membran işlemleri uygulanmıştır. Mikrofiltrasyon (MF), su içinde yağ ayırma işlemlerinde başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmada, bir yağlı atık suyun arıtılması için araştırmalar yapılmıştır. Tipik bir yağlı atık suyun arıtılması için Tahran rafinerisinin API atıklarından gelen boru şeklinde bir seramik MF (α -Al₂O₃) sistemi kullanılmıştır. Bu sistem, Ulusal Deşarj Standardını karşılayan ve %95'ten daha yüksek TOK giderme verimi sergileyen 4 mg / L yağ ve gres içeren bir permeat üretebilir. Ayrıca, transmembran (TMP), çapraz akış hızı (CFV) ve sıcaklık gibi çalışma parametrelerinin permeat akısı, TOK giderim etkinliği ve kirlenme direnci (FR) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Önerilen çalışma koşulları 1,25 bar'lık TMP, 2,25 m / s CFV ve 32,5 ° C sıcaklıktır. Bu sistemde, yağ damlacıklarını ve zar gözeneklerini tıkayan parçacıkları gidermek için geri yıkama kullanılmıştır ve sonuçlar geri yıkamanın permeat akı düşüşünü önemli ölçüde önleyebileceğini

göstermiştir. Sonuçlara dayanarak, bu sistemin geleneksel atık su arıtma yöntemiyle değiştirilmesi önerildi. (Abadi, S., R., H., Sebzari, M., R., Hemati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., 2011)

Bu çalışmada tekstil endüstrisinden kaynaklanan sıcak atıksulardan su geri kazanımı amacıyla seramik membranların kullanımı araştırılmıştır. “Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Tebliği”nde verilen boyalı ve sıcak süzüntülerin geri kazanılması için, termal ve mekanik olarak dayanımı yüksek olan seramik membranların kullanımı, MET hedeflerinin sağlanabilmesi açısından değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, Bursa OSB bünyesinde faaliyet gösteren bir tekstil firmasında, farklı proseslerden oluşan atıksular sıcak su geri kazanımı açısından incelenmiştir. Sıcak su geri kazanımı hedefi için dispers baskı banyoları, dispers ve reaktif baskı banyolarının karışımı (empirme karışım) ile tesis içerisinde ayrı toplanan 50°C üzeri atıksular belirlenmiştir. Seçilen bu üç noktadan alınan atıksular ile deneysel çalışmalar, çapraz akış membran filtrasyonu ünitesinde ve farklı gözenek çaplarına sahip (300kDa-3kDa) disk tip seramik membranlar kullanılarak yürülmüştür. Çalışma kapsamında KOI, TOK ve renk parametrelerinin giderim verimleri incelenmiş, membranların kirlenme mekanizmaları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, atıksuda bulunan kirleticilerin boyut dağılımı kirleticilerin giderimi üstünde etkili olmuş, genel olarak gözenek açıklığı küçüldükçe kirletici giderim verimi artmıştır. Membranların kirlenme mekanizması değerlendirildiğinde ise çalışılan atıksular için baskın kirlenme mekanizmasının kek oluşumu olduğu belirlenmiştir. (Dilaver, M., Murat Hocoğlu, S., Soydemir, G., Dursun M., 2017)

Doğayı ve canlıları tehdit eden başlıca tehlikeli atıklardan biri de tekstil endüstrisinin atıksularıdır. Tekstil endüstrisindeki renkli atıksular sucul ortamlarda birikerek suyun doğal görünümünü bozarlar ve ışığın penetrasyonunu azaltırlar. Işığın penetrasyonunun ve çözülmüş oksijen miktarının azalması canlı soylarının azalmasına neden olur ve su kaynaklarının kullanımını daraltır. Bununla birlikte, bazı boyaların toksik bileşenlere sahip olduğu da bilinmektedir. Çok az miktardaki tekstil renkli atıksuları yüksek dispersiyon oranına sahip olduğundan dolayı geniş su alanlarına yayılabilmektedir. tekstil renkli atıksuları arıtılmadan salındığında çevre için tehdit oluşturmaktadır. Renk giderimi için filtrasyon, kimyasal prosesler ve adsorpsiyon kullanılırken, renkli atıksulardan kimyasal oksijen miktarı gideriminde biyolojik aktif çamurlu sistemler tercih edilmektedir. Günümüzde nanotekstil özellikli membran

prosesler daha verimli arıtım için kullanımı tercih edilmektedir. Arıtma çeşitleri birbiri arasında kıyaslandığında diğer ileri oksidasyon yöntemlerine nazaran Fenton proseslerin tekstil atıksularından KOI ve renk gideriminde daha başarılı olduğu kanısına varılabilir. Atıksu arıtmada geniş bir yelpaze sunan membran prosesler yoğun atık tahliye eden sektörlerin ekonomisine büyük bir katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, membran prosesler kirletici yükünü büyük bir oranda azaltmaktadır. Araştırmalarda tekstil atıksuyu arıtımında nanofiltrasyon ve ters ozmoz membranları başarılı olabilmektedir. Nanofiltrasyon membranların tıkanma sorunlarının oldukça az miktarda olduğu ve renk giderimdeki verimin %95 gibi yüksek miktarlara ulaştığı gözlemlenmektedir. (Namal, O., Ö., 2017)

Bu derleme çalışmada atıksu arıtmada kullanılan adsorbentler ve arıtım sırasındaki teknik uygunlukları araştırılmıştır. Adsorbentler; tarımsal, endüstriyel ve doğal atıklardan temin edilen adsorbentler olarak sınıflara ayrılmıştır. İncelenen adsorbentler ağır metal bağlama miktarları, ekonomiklik ve arıtmada gösterdikleri performans açısından karşılaştırılmışlardır. Adsorpsiyon proseslerinde aktif karbon genellikle kullanılmasına rağmen ekonomik olmamaktadır. Aktif karbona rakip olabilecek, daha ekonomik kil, zeolit, kitosan gibi doğal adsorbentler; kül, atık çamur gibi sektörel atıklar ve hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu ve narenciye kabuğu gibi doğal atıklar tercih edilmiş ve tarımsal adsorbentlerin atıksulardan ağır metal gideriminde yeteri miktarda adsorplama kapasiteleri olduğu tespit edilmiştir. (Alyüz, B., Veli, S., 2005)

Son zamanlarda atıksuların arıtımında alternatif arıtma seçenekleri araştırılmaktadır. Atıksularda bulunan ağır metallerin giderimi için tercih edilen yöntemlerden birisi de ağır metallerin adsorbe edilmesidir. Ağır metallerden biri olan Cr(VI), suların kirlenmesine ve canlılar üzerinde toksik etkiye sebep olur. Bu çalışmada klinoptilolit, asit ile aktive edilmiş klinoptilolit gibi doğal adsorbentler kullanılarak Cr(VI) iyonunun adsorpsiyonu ve deri sektörüne ait atık sudaki diğer kirletici parametrelerin arıtımı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, adsorpsiyona etki eden temel etkenler araştırıldıktan sonra araştırma optimum parametrelerine; karıştırma hızına, pH'ına, adsorbanın tanecik boyutuna, uygun derişimine, adsorbent miktarına ve uygun sıcaklığına bakılmıştır. Krom (VI) çözeltileri için en uygun şartlar tespit edilmiştir. Sonrasında, kullanılan adsorbent malzemeler için daha önce belirlenmiş uygun şartlarda atıksu ile adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvar çalışmalarında, deri sektörüne ait atıksulardan kompozit olarak tedarik edilen numunede, Cr(VI), AKM (Askıda Katı

Madde), KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) ve BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı) parametrelerinin giderimi araştırılmıştır. Klinoptilolit ve aktif klinoptilolit kullanımıyla sırasıyla KOİ, AKM, BOİ ve Cr(VI) değerleri için; %50, %55, %33 ve % 80 oranında adsorpsiyon verileri hesaplanmıştır. (Abalı, Y., Öztekin, B., Çanlı, M., Şirin, K., 2014)

Bu çalışma kapsamında, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan metil kırmızısı boyasının doğal ve ultrases prosesiyle modifiye edilen uçucu kül adsorbenti ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde adsorbent dozu (1–12 g), adsorpsiyon süresi (10–240 dk), pH (2–10), sıcaklık (10–50 °C) ve başlangıç metil kırmızısı konsantrasyonu (25–125 mg/L) gibi farklı işletme parametre değerlerinin metil kırmızısı giderimindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Optimum şartlar altında asidik pH'da doğal ve modifiye uçucu kül için adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 13,78 mg/g ve 14,52 mg/g olarak belirlenmiştir. Uçucu külün doğal ve ultrases prosesi ile modifiye sonrası yüzeyinde meydana gelen değişimler BET, SEM-EDS, XRF, XRD ve partikül boyut analizleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ultrases mekanik etkisi ile modifiye edilen uçucu kül yüzey alanı artarken partikül boyutu azalmıştır. Modifiye uçucu kül kullanıldığında daha kısa sürede ve düşük uçucu kül dozunda metil kırmızısı giderimi sağlanmıştır. Modifiye uçucu kül kullanıldığında metil kırmızısı giderimi daha kısa sürede ve düşük uçucu kül dozunda başarılı olmuştur. Adsorpsiyon hızının ikinci dereceden hız ifadesine uyduğu ve uçucu kül adsorpsiyonunun Freundlich izoterm modeliyle uyum sağladığı görülmüştür. Termodinamik verilerden (ΔG° , ΔH° ve ΔS°) 10–50 °C aralığında metil kırmızısı adsorpsiyonun ekzotermik bir işlem olduğu sonucuna varılmıştır. (İleri, B., 2019)

Bu araştırmada, atıksu içinde bulunan boyarmadde arıtımında genellikle kullanılan adsorbanlara alternatif olabilecek yüksek arıtım verimine sahip kitosan maddesi kullanılmıştır. Acid Blue 29(AB29) boyarmaddesinin kitosan ile adsorpsiyonunda, adsorban konsantrasyonu(X), pH, boyarmadde başlangıç konsantrasyon miktarı ve sıcaklık vb. parametrelerin etkisi araştırılarak süreç için optimum değerler elde edilmiştir. laboratuvar sonuçlarından, adsorpsiyon dengesine 15-20 dakika sonra ulaşıldığı gözlenmiştir. Sağlanan denge aşamasında en fazla adsopsiyon verimi pH=4, X=1.0g/L ile T=35°C değerlerinde elde edilmiştir. Adsorpsiyon denge sonuçlarının Langmuir ve Freundlich izotermine uyumluluğu araştırıldığında, en yüksek uyumun en iyi korelasyon katsayılarının elde edildiği Langmuir izotermine gerçekleştiği hesaplanmıştır. AB 29 boyarmaddesinin kitosanla adsorpsiyonunun kinetik çalışması

yapılmış deney sonuçlarına yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulanarak, bütün korelasyon katsayılarının 0.99'dan büyük çıkması, teorik ve deneysel değerlerin kendi arasında yüksek derecede yakın olmasından dolayı adsorpsiyon kinetiğinin ikinci dereceden kinetik modele uygun olduğu saptanmıştır. Proses termodinamik açıdan incelendiğinde ise, adsorpsiyon sonucunda elde edilen ΔG° değerlerinin negatif çıkması adsorpsiyonun kendiliğinden yürüdüğünü, adsorpsiyonun gerçekleşmesi için bir enerjiye ihtiyacı olmadığını gözlemlemiştir. Yapılan araştırma neticesinde boyarmadde arıtımında kitosanın diğer adsorbanlara alternatif bir adsorban olacağı tespit edilmiştir. (Köylü, E., Gönen, F, Önalın F., 2015)

Son zamanlarda ekonomik doğal atıklar kullanılarak ağır metallerin atıksulardan sulardan giderim çalışmaları hızlanmıştır. Zeytinyağı söktörüne ait olan pirinin (zeytin posası) adsorbent olarak kullanılmasıyla sularda çözünmüş Cr(VI) ve Cu(II) ağır metallerinin arıtımı incelenmiştir. Deneysel adsorpsiyon sürecinde, sıcaklık(20°C), adsorban miktarı (0.5g) ve elek boyutu (0.5-2.0 mm) sabitlenerek; giderim miktarına Ph (2-6), adsorpsiyon süresi (2-120 dk) ve başlangıç ağırmetal derişimi (5-100 mg/L) etkileri araştırılmıştır. pH 4, adsorpsiyon süresi 15 dk ve başlangıç ağırmetal derişimi 5 mg/L'de aktifleştirilmiş pirina (AP) malzemesi kullanılarak Cr(VI) ve Cu(II) maksimum giderim verimleri %98.8 ve %93.2 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler neticesinde Cr(VI) ve Cu(II) için adsorplanma miktarları 0.988 mg/g ve 0.932 mg/g olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, en uygun koşullarda izoterm ve kinetik model hesapları yapılmış olup; deney sonuçları ile yalancı ikinci derece kinetik ve Langmuir izoterm modellerine uygunluğu tespit edilmiştir. FTIR analizinde çeşitli fonksiyonel gruplar tespit edilmiş ve SEM görüntüleriyle AP'nin gözenekli bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Araştırma sonuçları, adsorpsiyon çalışmalarında AP'nin ekonomik adsorbent olarak farklı alanlardaki kullanımlara uygunluğunu gözlemlenmiştir. (Gök, O., Mesutoğlu, Ö., Ç., 2017)

3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER

3.1. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan cihaz ve kimyasal malzemeler aşağıdaki gibidir.

Cihazlar;

- Vakum Pompası (KNF / N022).
- UV Cihazı (Agilent Technologies Cary 60 UV-Vis)
- Santrifüj Cihazı (Centurion 4000 Series)
- Sirkülasyon sistemi
- Seramik Membran filtre

Kimyasal Malzemeler;

- Fenolik Reçine (Metko Hüttenes Albertus Kimya A:Ş'den tedarik edilmiştir.)
- Saf su
- Midye kabuğu (850-1000 μ) (Kitin ve CaCO_3 içeren kurutulmuş ve öğütülmüş)
- Kitosan

3.2. Kullanılan Membran Modülleri ve Sirkülasyon Sistemi

Deneysel çalışmalarda kullanılan tübüler seramik ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) membran modülleri TÜBİTAK 1003 Projesi kapsamında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından üretilmiştir. (Kızıler, B., 2017)

Çalışmada kullanılan membran modül tipleri ve adetleri aşağıdaki gibidir.

- Destek membran modülü
- Mikrofiltrasyon membran modülü

Membran modüllerinin çapı yaklaşık 14,2 mm olup, uzunlukları ise yaklaşık 205 mm'dir.



Şekil 3.1 Tübüler seramik ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) membran modülü. (Kızıler, B., 2017).

Sirkülasyon sistemi Onmak Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından imal edilmiştir.

Sistem paslanmaz metal malzemedan üretilmiş kapalı boru hatlarından oluşmakta olup

Bununla birlikte sisteme sıvı deşarjının yapılabilmesi ve numune alımlarının gerçekleştirilmesi amacıyla alt kısmı konik yapıda olan, üst kısmı açık silindirik bir hazne bulunmaktadır. Bu haznenin alt kısmında sıvının boşaltımı amacıyla da bir musluk bulunmaktadır. Tüm bu sistem yine paslanmaz metal malzemedен üretilmiş olan bir platform üzerine yerleştirilmiştir. (Kızıler, B., 2017)

Çalışmanın devamında, 100 ml atıksu içerisinde 500 ppm'den 100 ppm'e kadar farklı derişimlerdeki atıksuyu 2 g ile 0,5 g arasında kitosan farklı sıcaklıklarda su banyosuna konularak adsorpsiyon miktarı incelenmiştir.

3.3. Kullanılan Atıksular

Çalışmada membranlar ile Bilecik ilinde faaliyet gösteren Metko Hüttenes Albertus Kimya A.Ş fabrikasının üretim prosesleri sonucu oluşan atıksuların arıtım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Metko Hüttenes Albertus Kimya A.Ş fabrikasından alınan atıksular reaktörde kimyasal işlemin bitmesi sonucunda yıkama suyundan alınan numunelerden oluşmaktadır.

3.4. Kullanılan Metot

3.4.1. Çözeltilerin hazırlanışı

Laboratuvarda derişimi belli olan atıksu numuneleri hazırlanarak UV cihazında absorbans değerleri okutulmuştur. Elde edilen bu değerler ile kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Fabrikadan alınan atıksu hiçbir arıtıma uğramadan UV cihazında okutulurken karşılık gelen absorbans değeri kalibrasyon eğrisi üzerinden hesaplanarak derişimi bulunmuştur.

3.4.2. Seramik filtrelerle yapılan filtrasyon çalışmaları

Sırasıyla DF, MF ve UF seramik filtreleriyle arıtımı yapılarak, 4 saat sonunda cihazdan numuneler alınmış ve arıtmaları gözlemlenmiştir.

3.4.3. Seramik filtrelerin dolgulu kolon olarak kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları

Seramik filtrelerin dolgulu kolon olarak kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları, seramik filtrelerin içine 40 g, 30 g, 10 g ve 5 g öğütülmüş midye kabuğu koyulmuş ve tekrar aynı yöntemle arıtma miktarına bakılmıştır.

3.4.4. Kitosanın adsorpsiyon potansiyelinin belirlenmesi

Kitosanın adsorpsiyon potansiyelinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, 100 ml'lik erlenlerin içine 100 ml atıksu ve sırasıyla 2 g, 1 g ve 0,5 olmak üzere farklı miktarlarda kitosan koyulmuştur. Burada da kitosanın değişik sıcaklık ve değişik adsorbent miktarlarıyla arıtım miktarına bakılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, mikro ve ultra seramik membran filtrelerle polimerik yapıdaki rezol fenolik reçine içeren endüstriyel atık sularda fenolik reçinenin filtre edilebilirliği araştırılmıştır. Bununla birlikte seramik membranların adsorban için dolgulu kolon olarak kullanıldığı ve adsorban olarak öğütülmüş midye kabuğu kullanılan yüksek basınç sirkülasyon sisteminde rezol fenolik reçine içeren endüstriyel atıksu arıtımı incelenmiştir. Ayrıca midye kabuğunun ana bileşeni olan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosanın kesikli adsorpsiyon sistemlerinde sulu ortamda fenolik reçine adsorbe edebilme özellikleri belirlenmiştir.

Polimer sektöründe faaliyet gösteren fenolik reçine fabrikasının atıksu arıtımı işlemi gerçekleştirilmiştir. Atıksu reaktördeki kimyasal işlemin sonra ermesinden sonra reaktör yıkama (temizleme) suyu alınarak incelenmiştir.

Moleküler boyutumuz 12 nm olsa bile, moleküller kendi aralarında topaklaşma yaparak filtrelere tutunma sağlamıştır.

4.1. Membranların Karakterizasyonu

4.1.1. Destek membranların civa porozimetresi

Destek membran numunelerine ait civa porozimetresi sonucunda elde edilen veriler çizelge 4.1’de verilmiştir. (Kızıler, B., 2017)

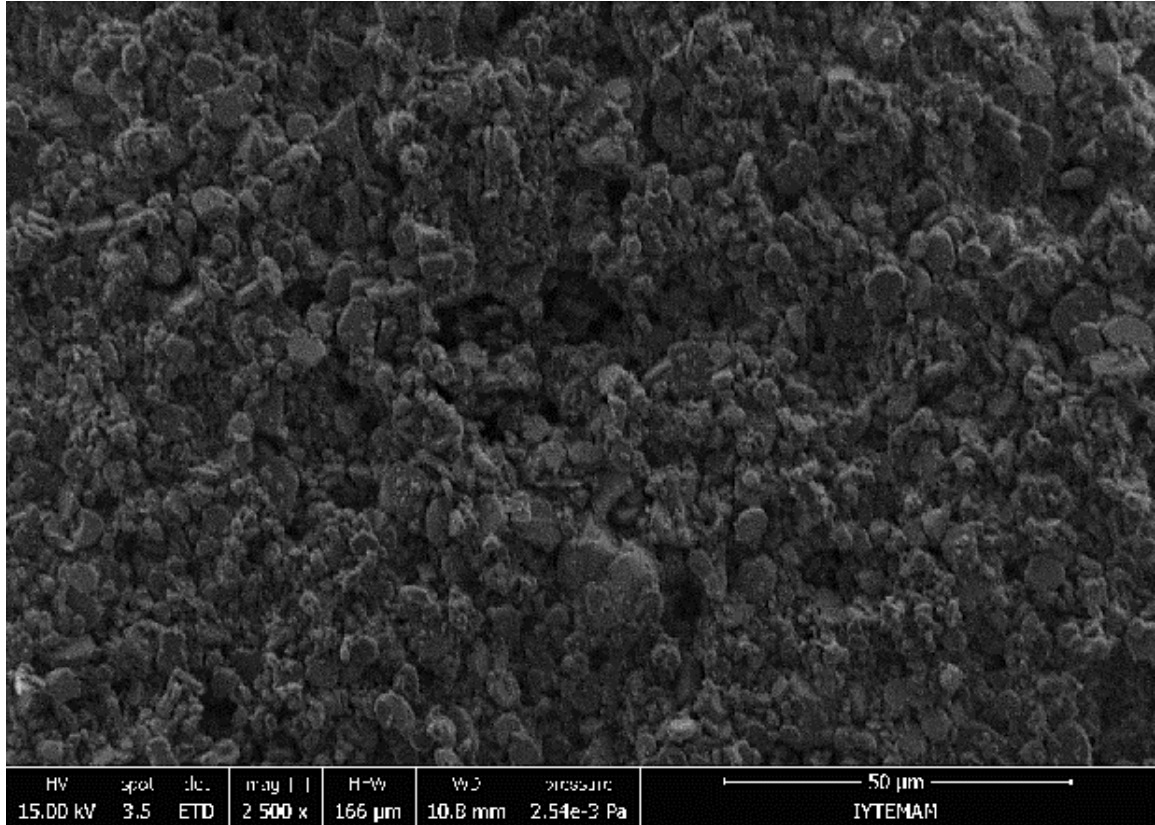
Çizelge 4.1 Destek membran numunelerinin karakterizasyon verileri. (Kızıler, B., 2017)

Numune	Ortalama Gözenek Çapı (μm)	Gözeneklilik (%)
1.	1,0308	28,32
2.	1,5222	32,73
3.	1,2271	30,03

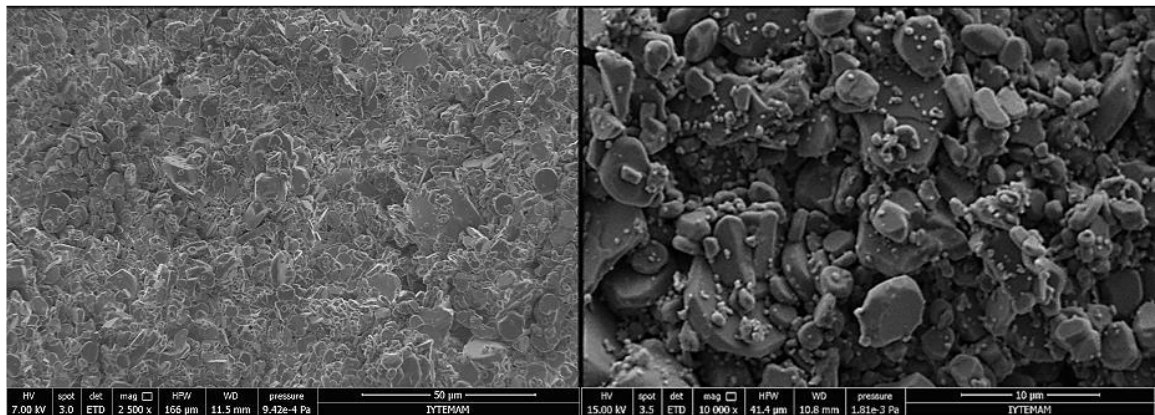
Çizelge 4.1’e bakıldığında destek membranların 1,0308-1,5222 μm aralığında gözenek çapına, %28,32-32,73 aralığında gözenekliliğe sahip olduğu görülmektedir. (Kızıler, B., 2017)

4.1.2. Destek ve MF membranların SEM analizi

Destek membranlara ait SEM analizi ile elde edilen görüntüler şekil 4.1 ve şekil 4.2’de verilmiştir. (Kızıler, B., 2017)



Şekil 4.1 Destek membran kırık ara yüzeyinin 2500X’teki SEM görüntüsü. (Kızıler, B.,2017)

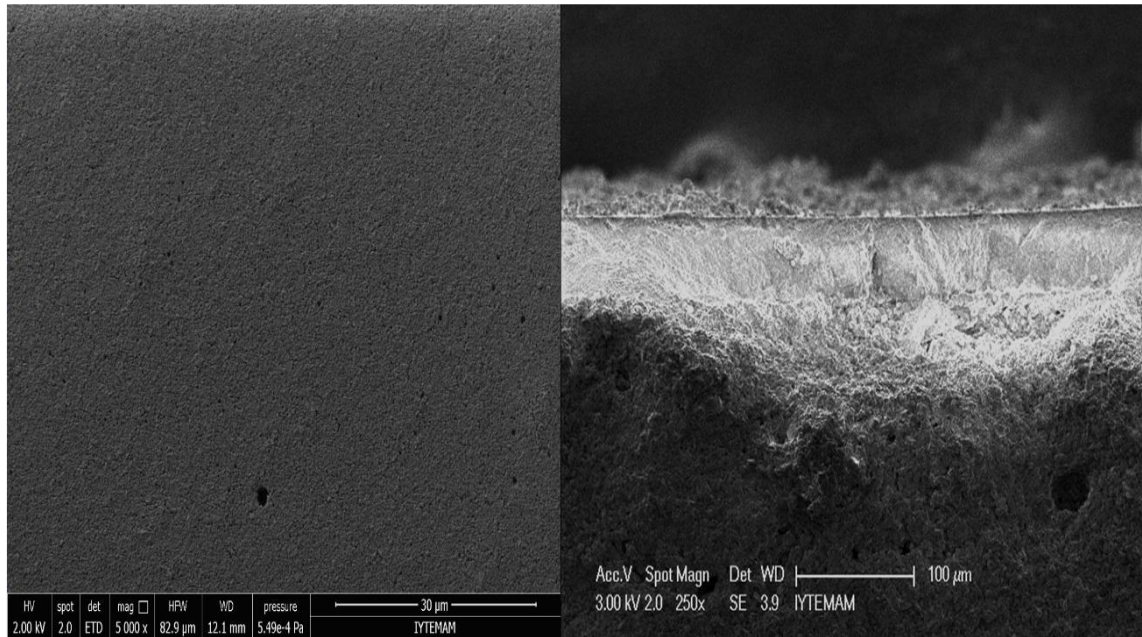


Şekil 4.2 Destek membran iç üst yüzeyinin 2500X ve 10000X’teki SEM görüntüleri. (Kızıler, B., 2017)

Destek membranın iç üst yüzey ve kırılma ara yüzeyinden elde edilen SEM görüntülerinde, mikroyapıyı meydana getiren granüllerin, boyut olarak membran

yapımında kullanılan ham maddelerin tane boyutlarında (0,5 μm , 1,3 μm ve 4 μm) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kullanılan α -alüminalarda en küçük tane boyutunun 0,5 μm olmasına rağmen, mikroyapıda daha küçük boyutta tanecikler olduğu tespit edilmiştir. Bu taneciklerin sinterleme sonrasında, α -alüminaya dönüşen böhmitten kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca kırık ara yüzey görüntüsüne bakıldığında bazı gözeneklerin diğerlerine göre daha büyük (10-15 μm civarında) olduğu göze çarpmaktadır. Bu büyük gözenek oluşumu, hamurun hazırlanması ve ekstruderden geçirilmesi sırasında bağlayıcı organik polimerde meydana gelen kısmi çözünmeyle alakalı olabilir. Bununla birlikte bağlayıcı polimerin gözenek sayısını da artırdığı, böhmitin ise tam tersi yönde etki yaparak gözenek boyut ve sayısını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca görüntülerde ekstrüzyon sırasında kalıp yüzeylerinde meydana gelen kaymanın gözenek boyutunun artmasına izin vermediği ve daha iyi tanecik paketlenmesi meydana getirdiği belirlenmiştir. (Kızıler, B., 2017)

MF membrana ait SEM analizi ile elde edilen görüntüler şekil 4.3'te verilmiştir. (Kızıler, B., 2017)



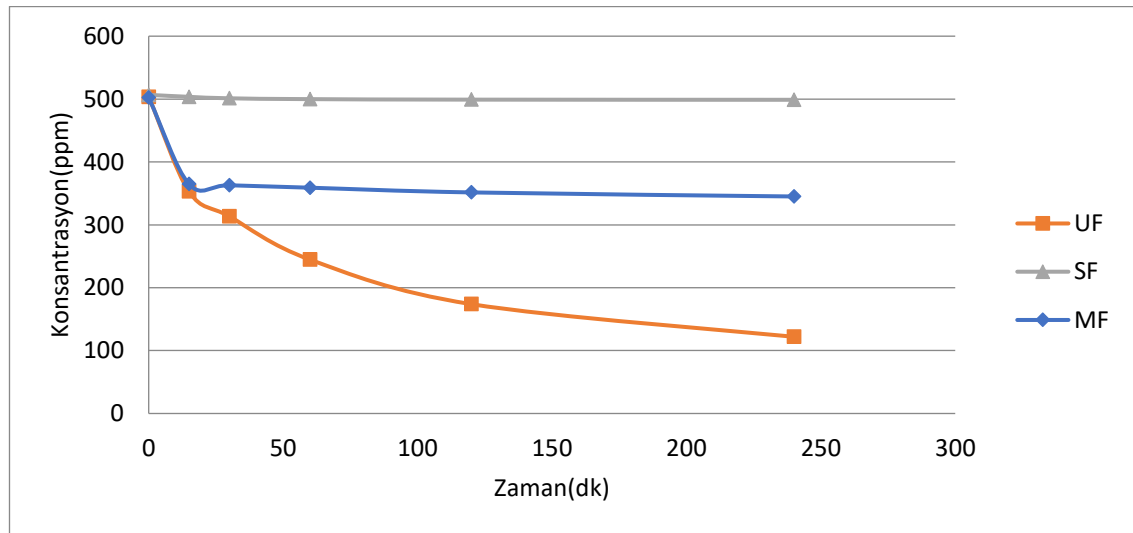
Şekil 4.3 MF membran iç üst yüzeyinin 5000X ve kırık ara yüzeyinin 250X'teki SEM görüntüleri. (Kızıler, B., 2017)

MF membrana ait SEM görüntülerine bakıldığında, MF membranın yapısal olarak destek membrana nazaran daha pürüzsüz ve çatlaksız bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca SEM görüntüleri MF membrana ait gözenek boyutlarının destek membran gözenek boyutlarına göre daha küçük olduğunu da göstermektedir. Bu durumun

kaplamanın hazırlanmasında kullanılan ham maddelerin tane boyutuyla alakalı olduğu düşünülmektedir. MF membranın kırık ara yüzey görüntüsünde destek ve kaplamanın birbirleri ile olan durumu ve yapısal anlamdaki farklılıkları açıkça görülmektedir. Ayrıca kaplama destekten ayrı bir katman olarak dursa da, bir kısmının desteğe nüfuz ettiği de göze çarpmaktadır. (Kızıler, B., 2017)

4.2. Reçine çözeltilisinin filtrasyonu

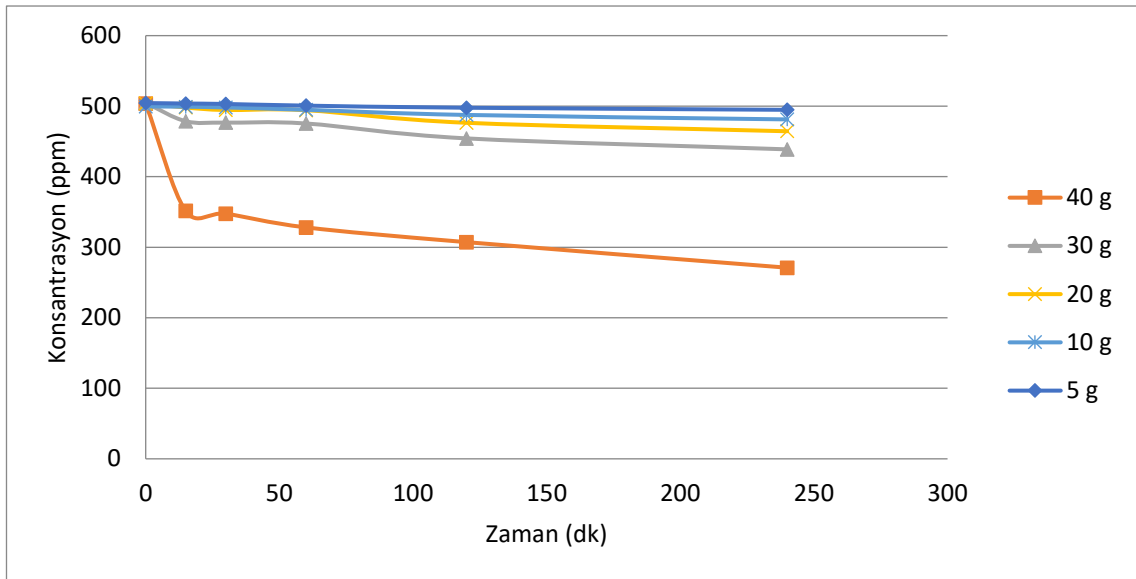
Bu bölümde, destek filtresi, mikro filtre ve ultra filtreyle reçine fabrikasından alınan atıksuyun filtreleme kapasitesi araştırılmıştır. Söz konusu olan filtrelerin karşılaştırması yapılmıştır. Destek filtresi, mikro filtre ve ultra filtrelerinin arıtmadan önceki ve arıtım sonrası konsantrasyon değeri Şekil 4.4’de karşılaştırılmıştır.



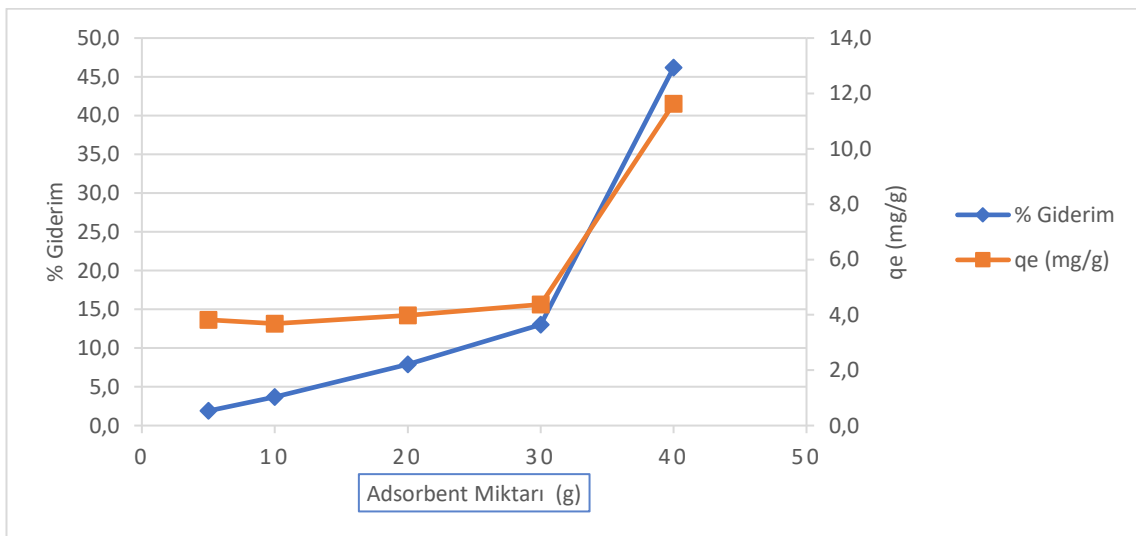
Şekil 4.4 Destek filtre, mikro filtre ve ultra filtrelerinden çıkan arıtım sonrasındaki atıksu konsantrasyonunun sirkülasyon zamanı ile değişimi

4.3. Reçine Çözeltilisinin Filtreleme ve Adsorpsiyonu

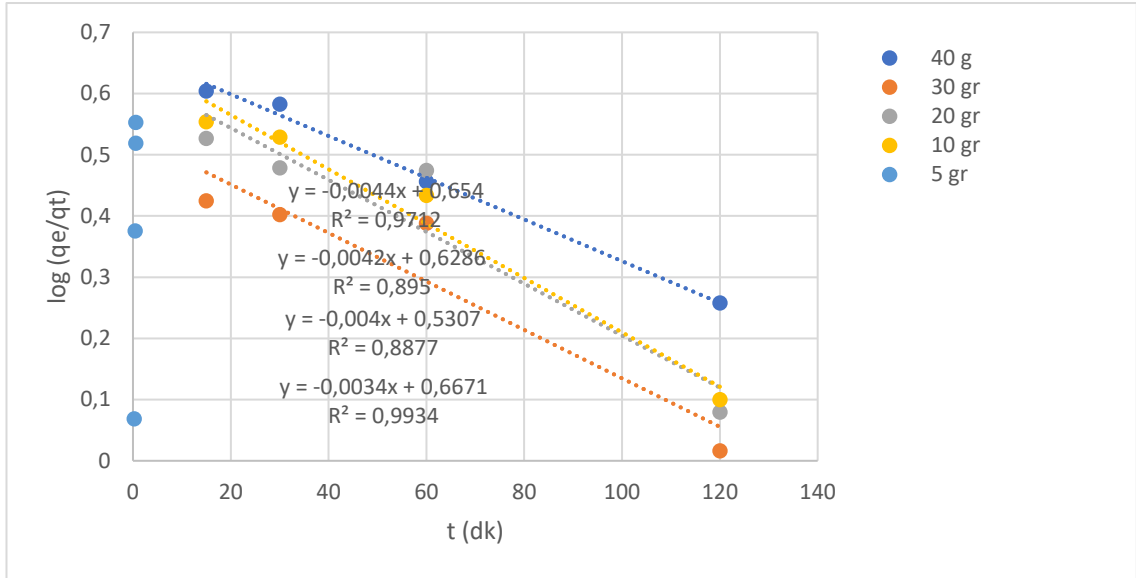
Bu bölümde, reçine fabrikasının atıksuyunun destek filtre içine farklı miktarlarda midye kabuğu doldurularak filtreleme ile birlikte adsorplama kapasitesi araştırılmıştır. Konsantrasyon miktarı sabit tutulup, destek filtresinin içine adsorbent miktarının etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan deneylerde adsorbent miktarı arttıkça reçine atıksuyu absorplama yüzdesi, 5 g adsorbent miktarında %1,90 olan reçine atıksuyu giderimi, adsorbent miktarı 40 g’a çıktığında %46,19 ulaşmıştır. (Şekil 4.5)



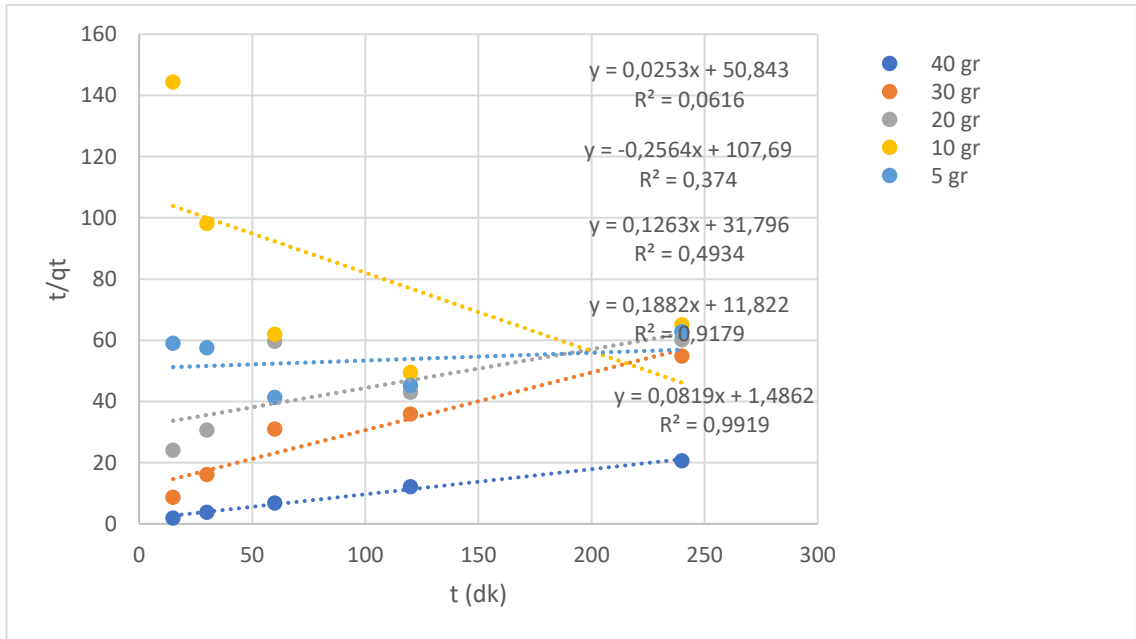
Şekil 4.5 Sirkülasyon sisteminde midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna adsorbent etkisi ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_0=500\text{ ppm}$; $t=240\text{ dk}$)



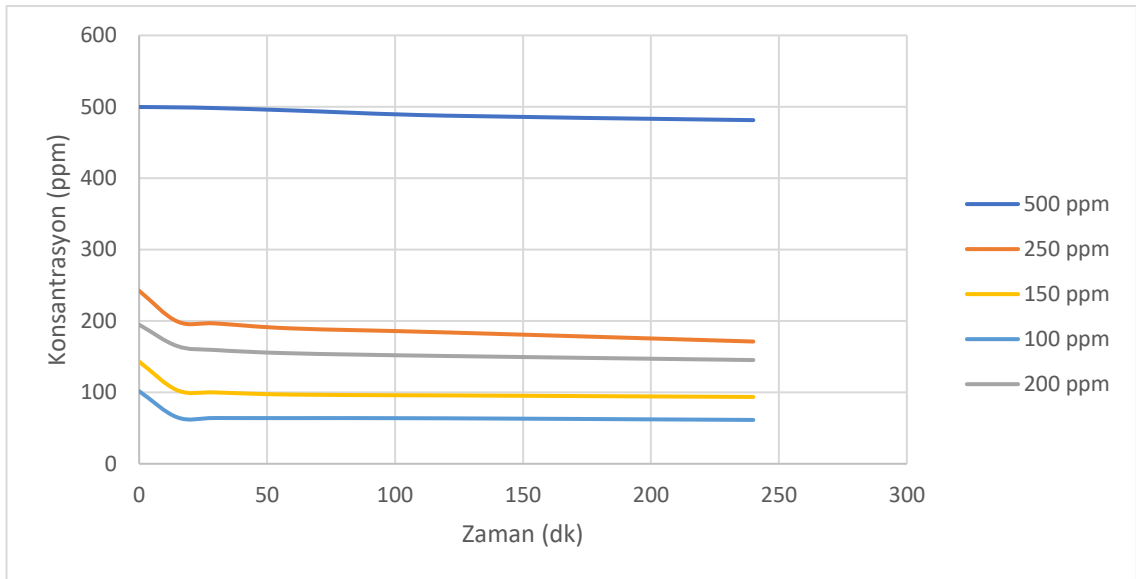
Şekil 4.6 Sirkülasyon sisteminde midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine adsorbent etkisi ($T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_0=500\text{ ppm}$; $t=240\text{ dk}$)



Şekil 4.7 Sirkülasyon sisteminde farklı miktarlardaki adsorbent miktarı için sözde (yalancı) birinci dereceden kinetik model eğrileri

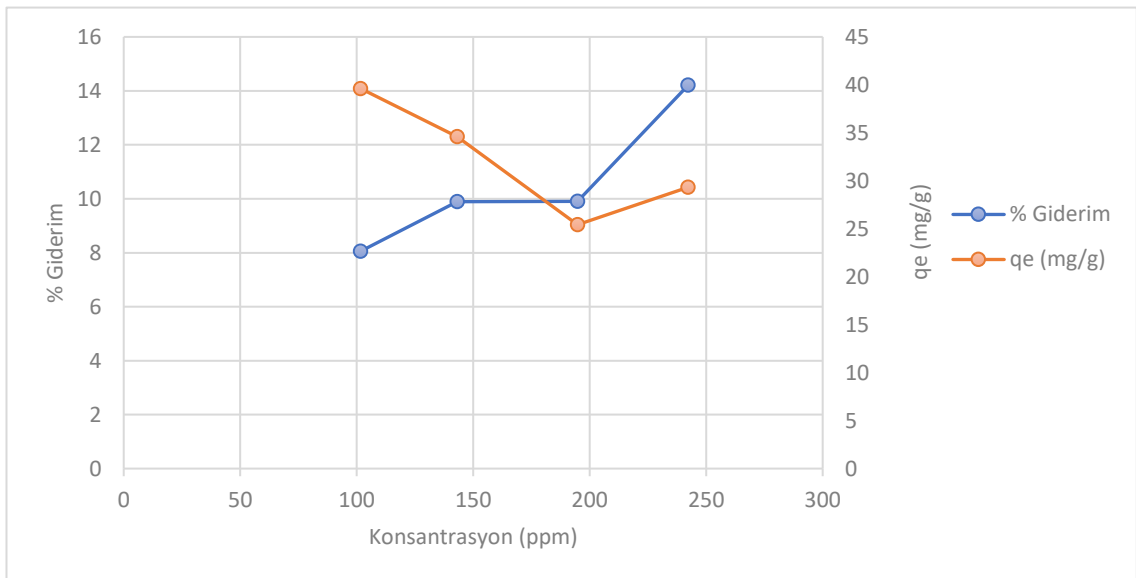


Şekil 4.8 Sirkülasyon sisteminde farklı miktarlardaki adsorbent miktarı için sözde (yalancı) ikinci dereceden kinetik model eğrileri



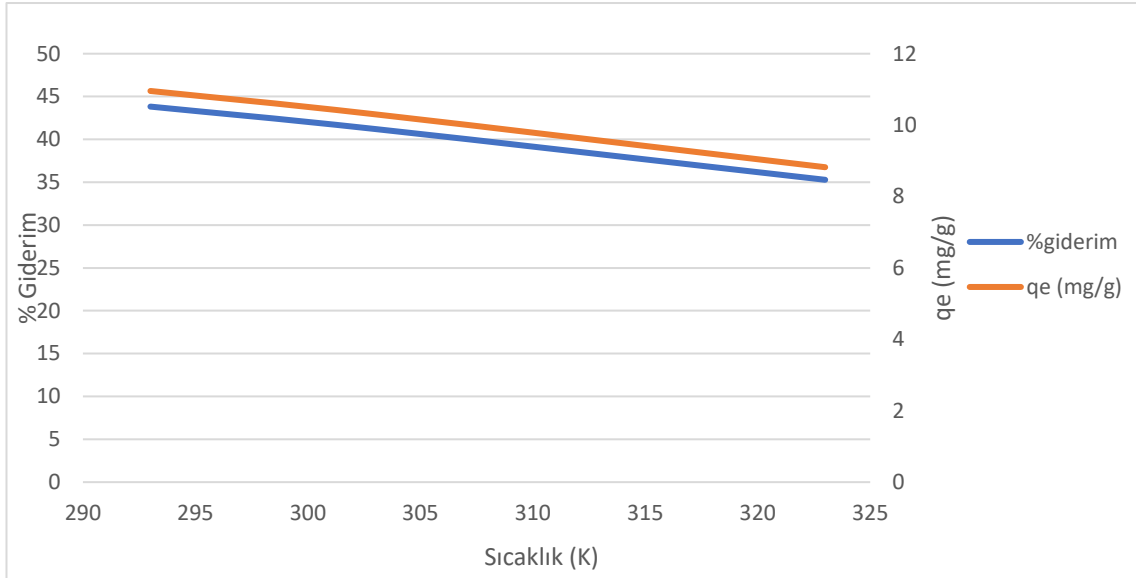
Şekil 4.9 Sirkülasyon sisteminde farklı başlangıç konsantrasyon değerlerinde zamanla konsantrasyon değişim miktarı ($m=10$ gr, $T=20$ °C, $t=240$ dk)

Destek filtrenin içinde, adsorbent miktarı 10 g ile sabit tutulduğunda başlangıç konsantrasyon değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 250 ppm'de en yüksek %29,32 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.10)



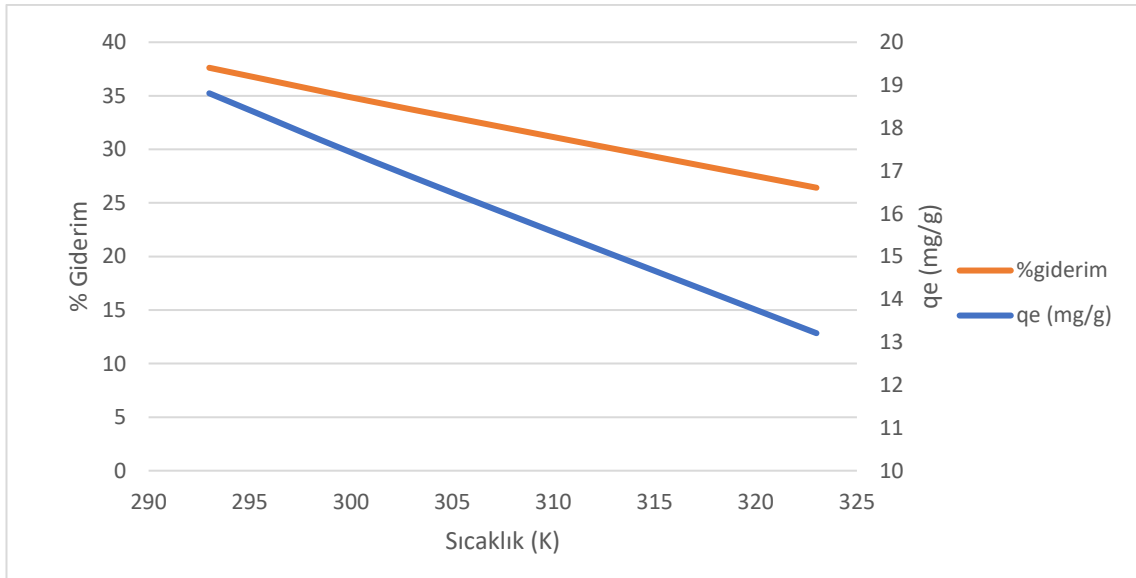
Şekil 4.10 Sirkülasyon sisteminde farklı başlangıç konsantrasyon değerlerinde zamanla yüzde giderim miktarı ($m=10$ gr, $T=20$ °C, $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 2 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 500 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %43,825 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.11)



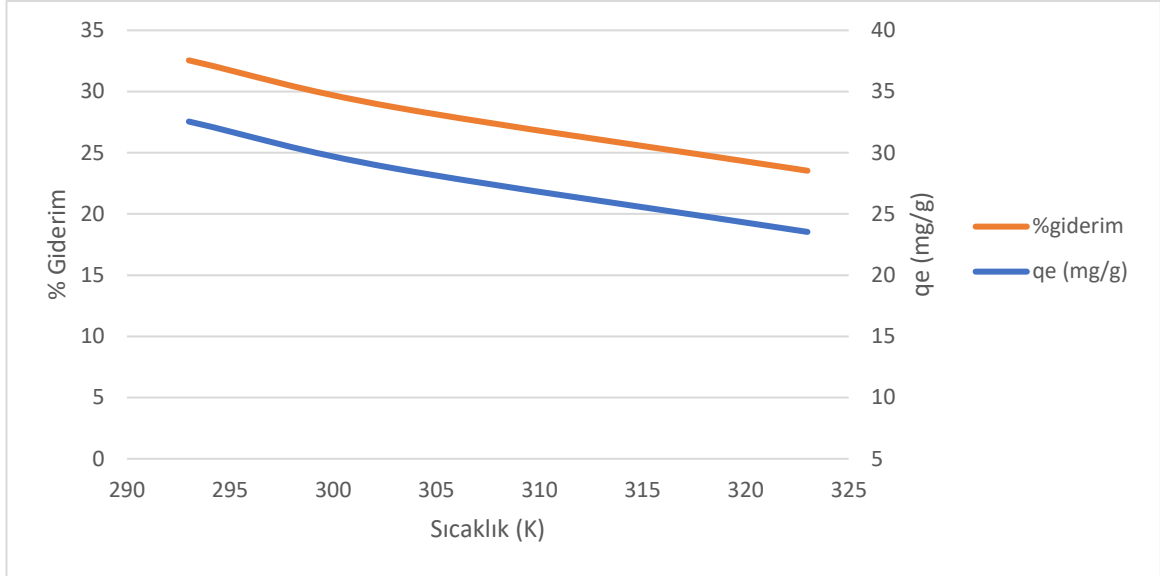
Şekil 4.11 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500\text{ppm}$; $m=2\text{ g}$; $t=240\text{ dk}$)

Adsorbent miktarı 1 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 500 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %37,62 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.12)



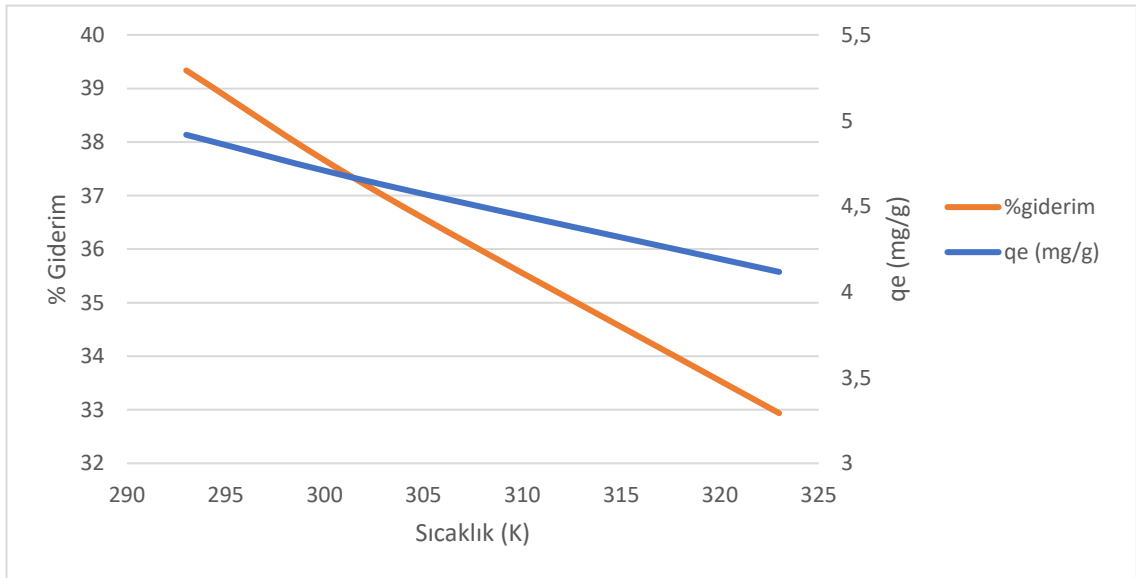
Şekil 4.12 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500\text{ppm}$; $m=1\text{ g}$; $t=240\text{ dk}$)

Adsorbent miktarı 0,5 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 500 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %32,55 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.13)



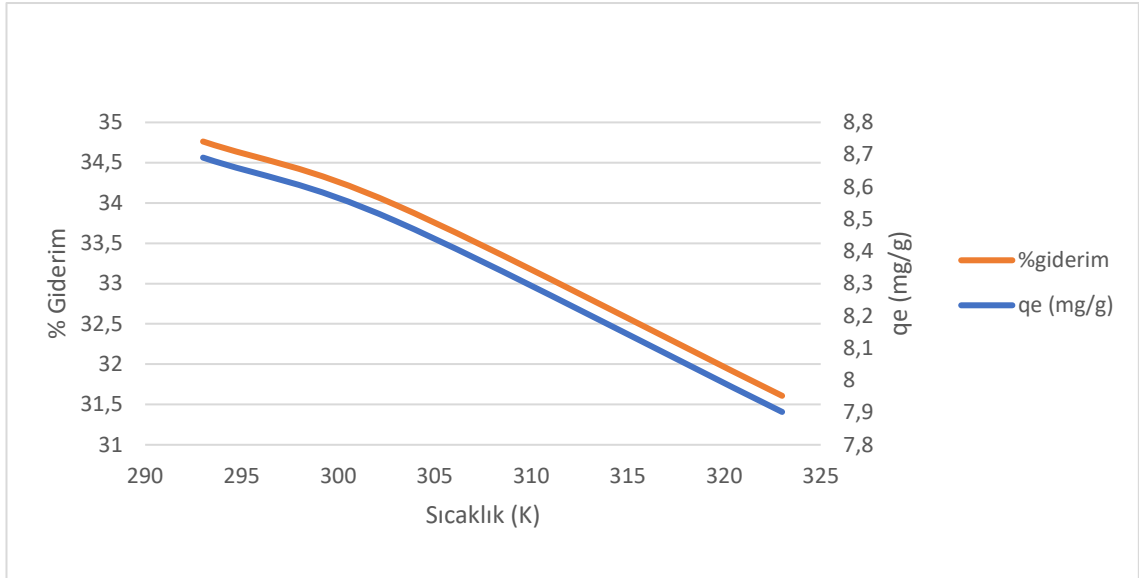
Şekil 4.13 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentın sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=500\text{ppm}$; $m=0,5\text{ g}$; $t=240\text{ dk}$)

Adsorbent miktarı 2 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 250 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %39,34 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.14)



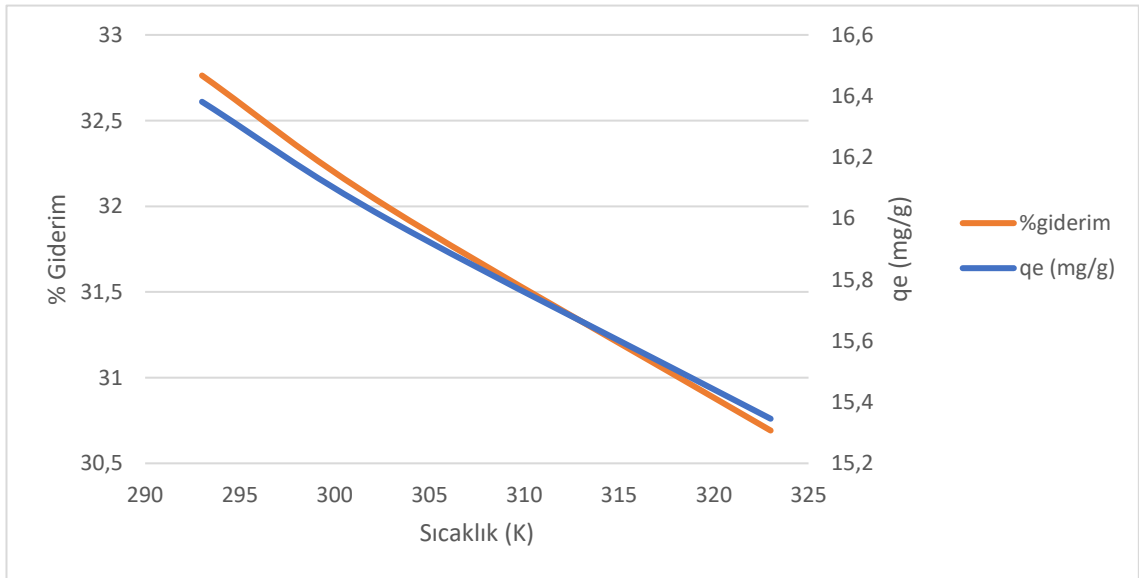
Şekil 4.14 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentın sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250\text{ ppm}$; $m=2\text{ g}$; $t=240\text{ dk}$)

Adsorbent miktarı 1 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 250 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %34,76 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.15)



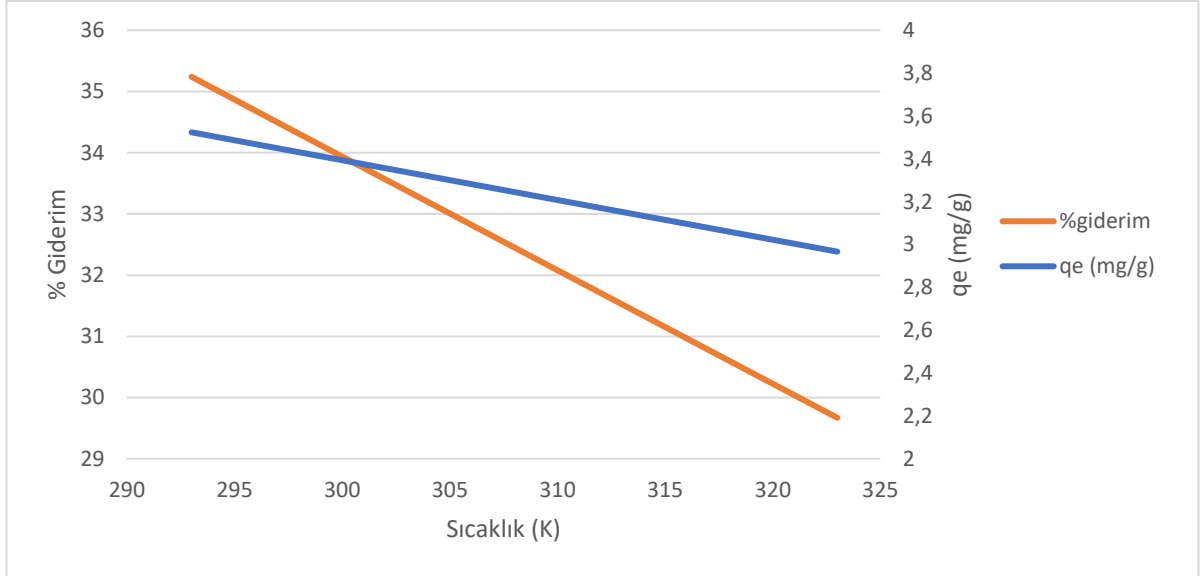
Şekil 4.15 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 0,5 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 250 ppm ,100 ml ve 20 °C’de en yüksek %32,76 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.16)



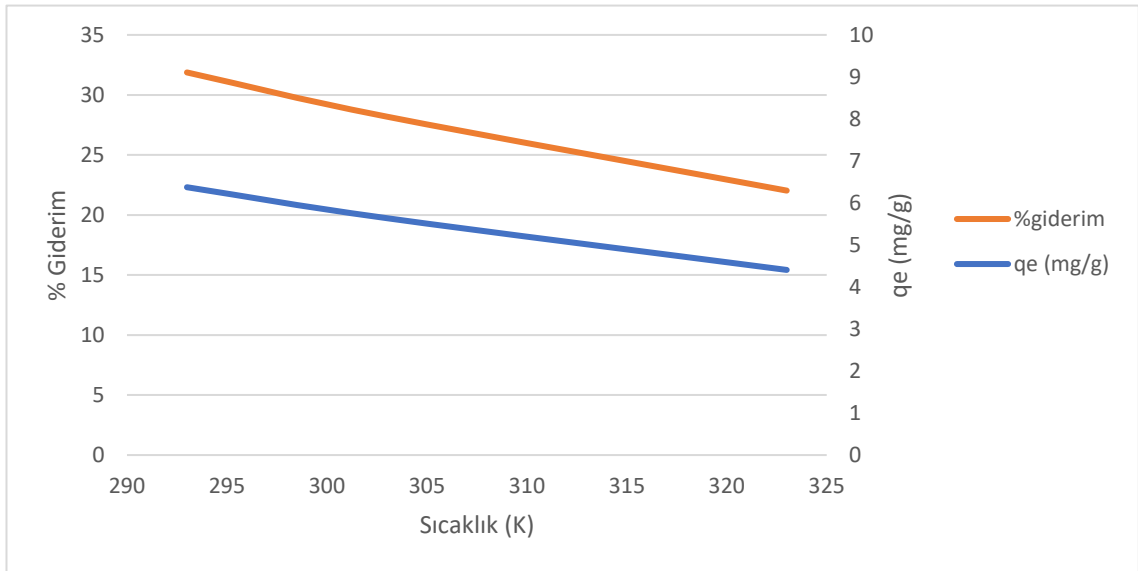
Şekil 4.15 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=250$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 2 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 200 ppm ,100 ml ve 20 °C’de en yüksek %35,24 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.18)



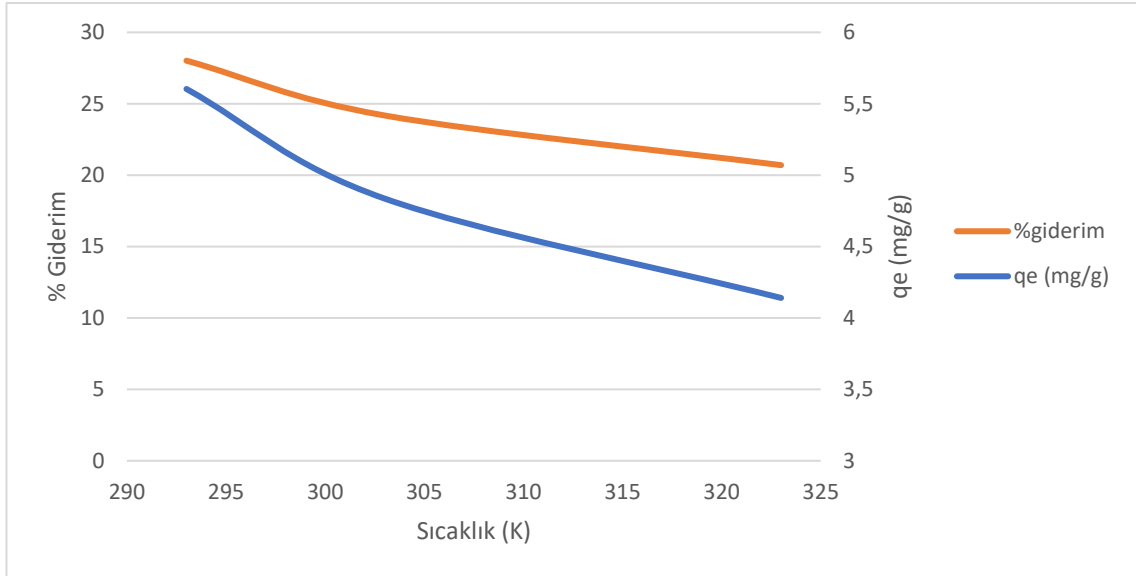
Şekil 4.17 Midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 1 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 200 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %31,87 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.20)



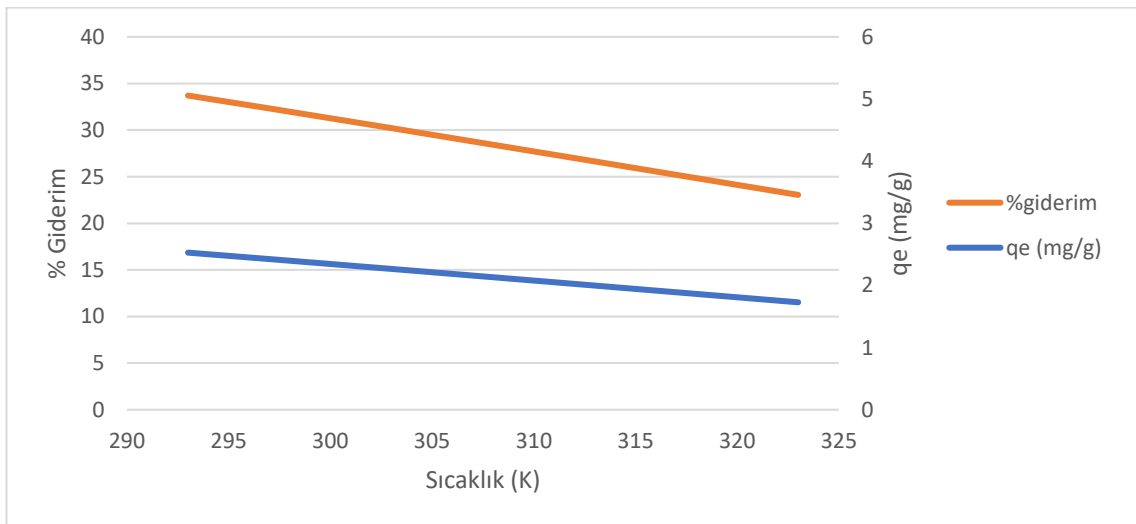
Şekil 4.18 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 0,5 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 200 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %28,02 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.21)



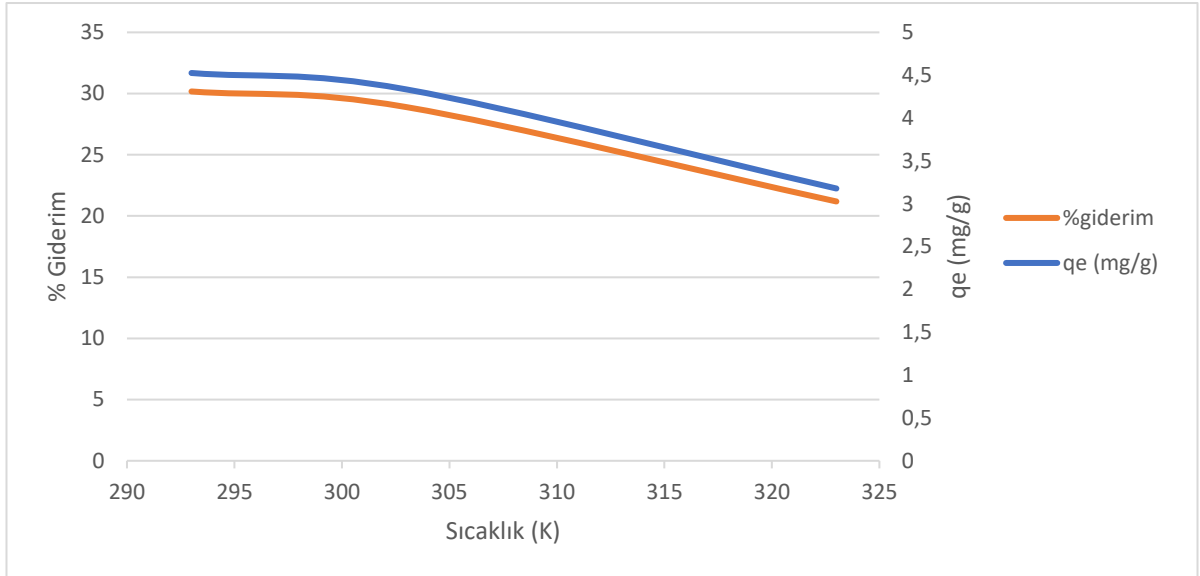
Şekil 4.19 Midye kabuklarının öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=200$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 2 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 150 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %33,71 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.22)



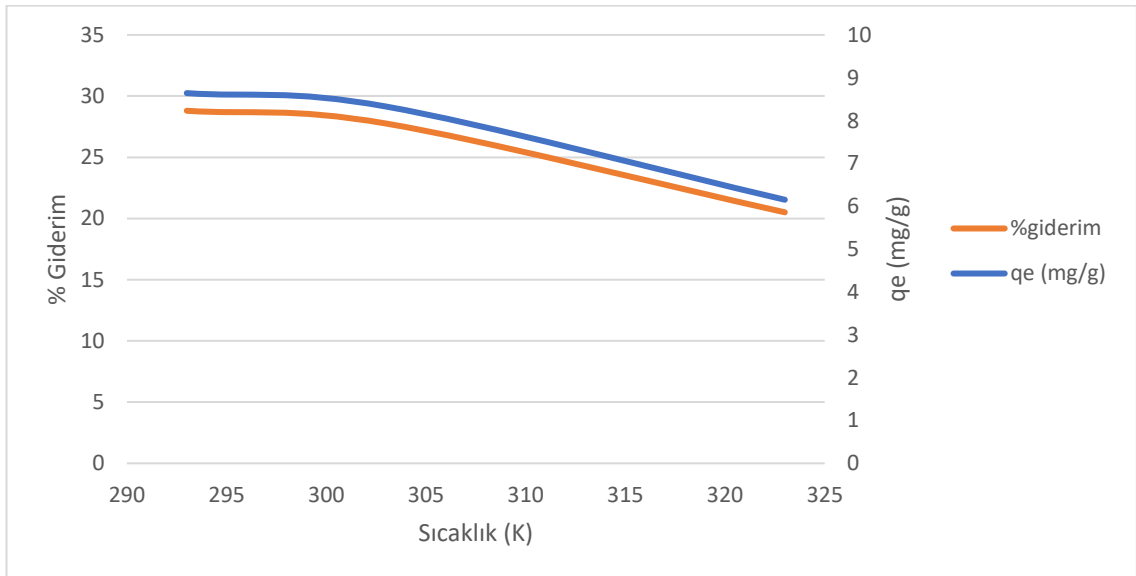
Şekil 4.20 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 1 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 150 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %30,17 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.23)



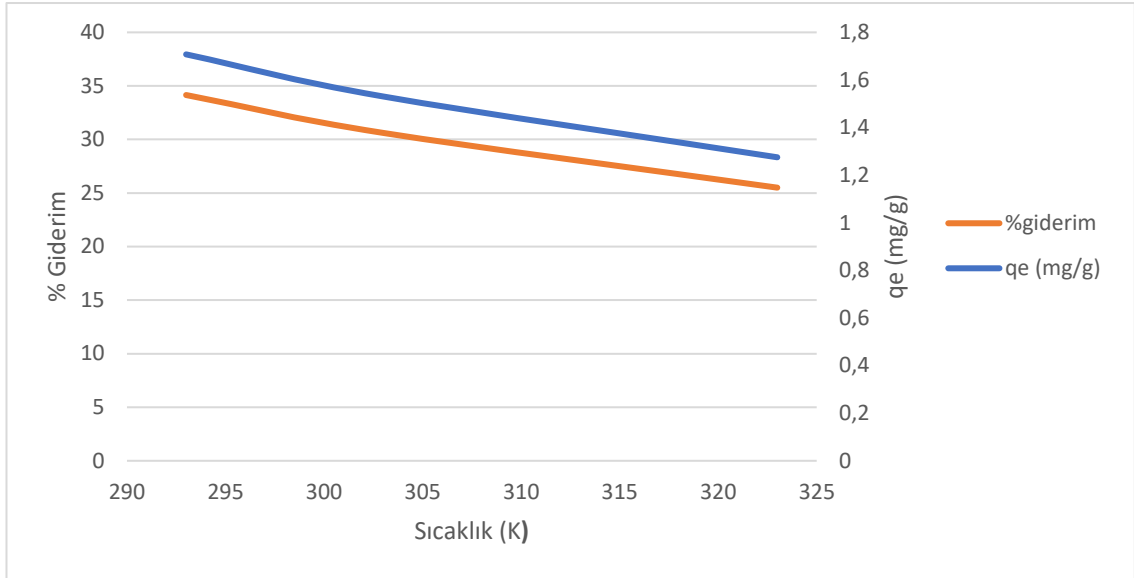
Şekil 4.21 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 0,5 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 150 ppm ,100 ml ve 20 °C’de en yüksek %28,80 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.24)



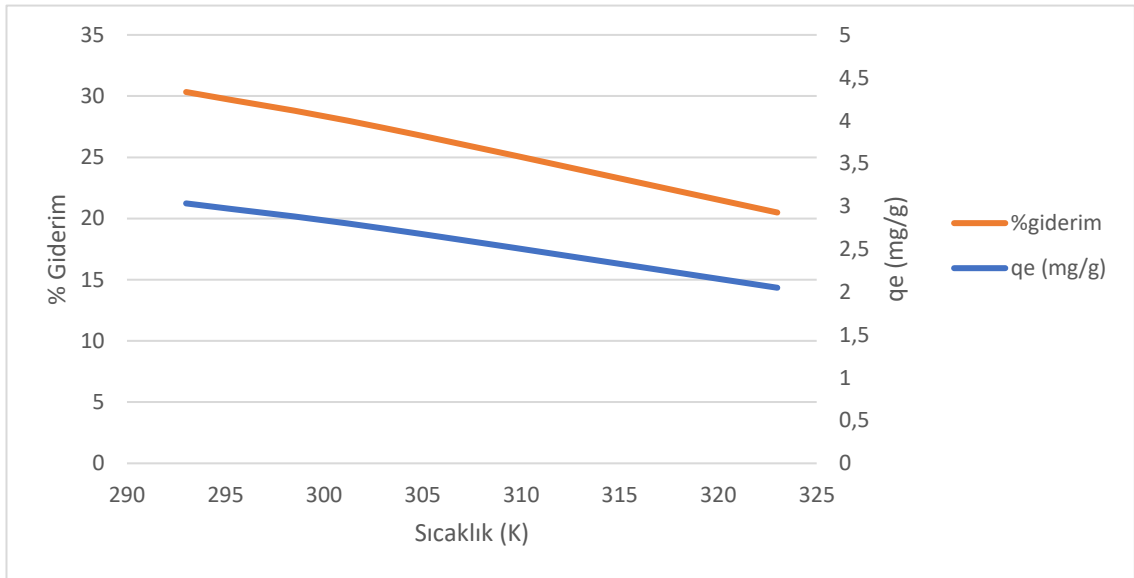
Şekil 4.22 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=150$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 2 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 100 ppm ,100 ml ve 20 °C’de en yüksek %34,15 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.25)



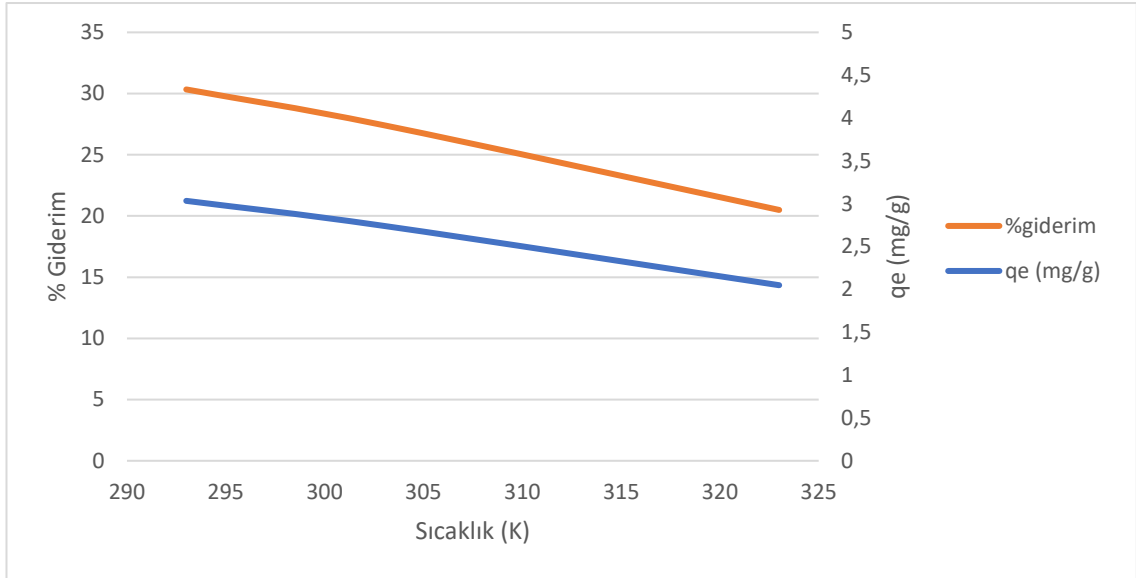
Şekil 4.23 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=2$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 1 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 100 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %30,34 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.26)



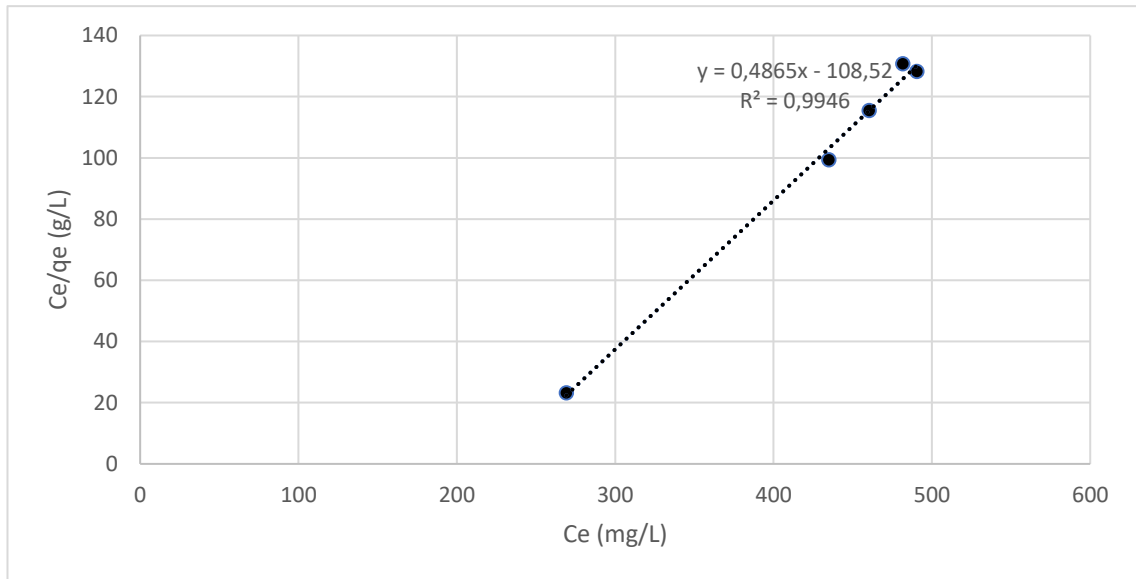
Şekil 4.24 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=1$ g; $t=240$ dk)

Adsorbent miktarı 0,5 g ile sabit tutulduğunda sıcaklık değerlerinin değişmesi ile reçine atıksuyu gideriminin 100 ppm ,100 ml ve 20 °C'de en yüksek %29,85 olduğu görülmüştür. (Şekil 4.27)

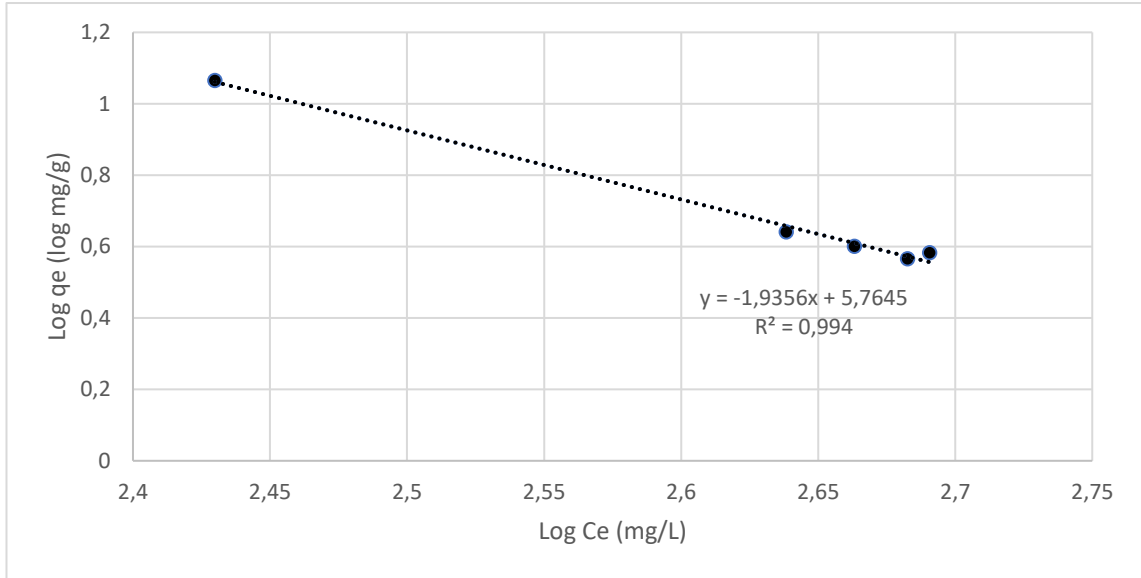


Şekil 4.25 Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine giderimine sıcaklık etkisi ($C_0=100$ ppm; $m=0,5$ g; $t=240$ dk)

4.4. Adsorpsiyon İzotermleri



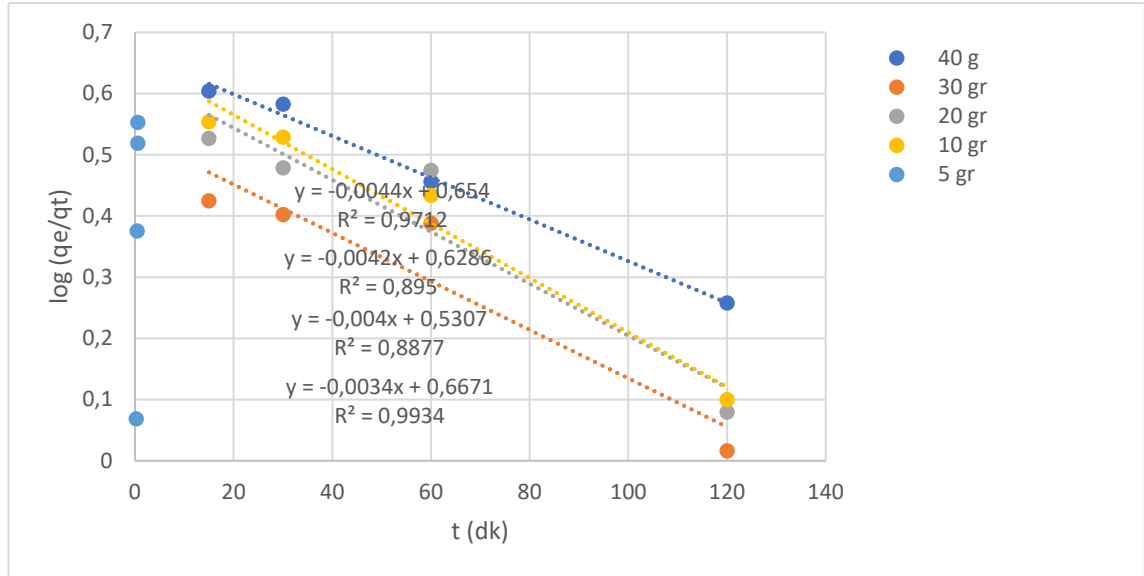
Şekil 4.26 Sirkülasyon sistemi için Lagmuir İzotermi



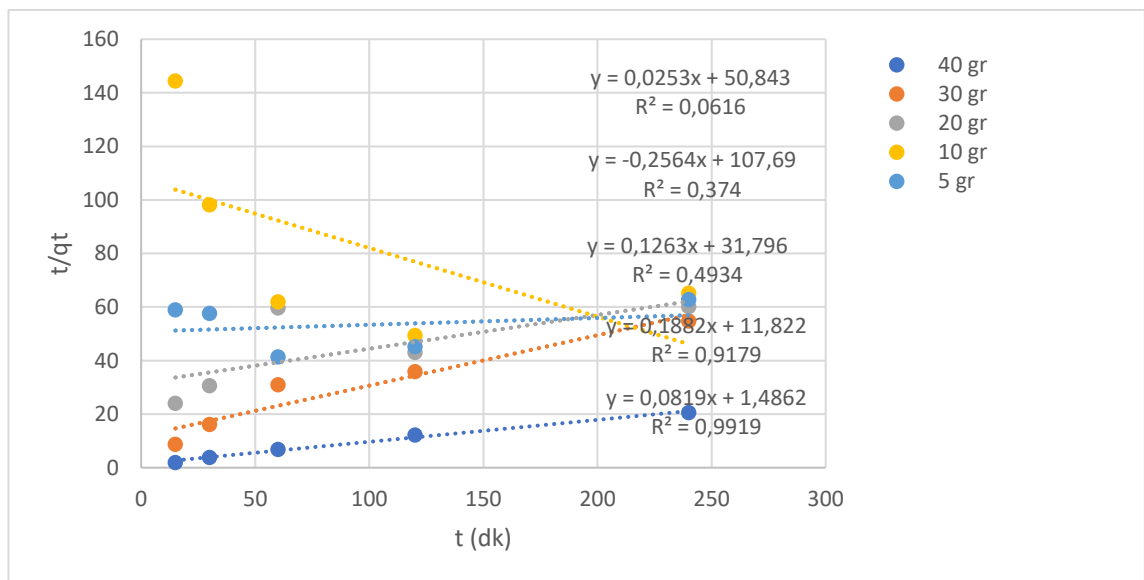
Şekil 4.27 Sirkülasyon sistemi için Freundlich İzotermini (denge derişimine (log mg/L) karşı adsorbanın dengede adsorpladığı adsorbat miktarı (mg/g))

Çizelge 4.2 40 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermlerinin sabitleri

Sıcaklık (°C)	R ²		q _m (mg/g)	Langmuir Sabitleri		Freundlich Sabitleri
	Langmuir	Freundlich		K _L	K _f	n
20	0,9946	0,94	11,8765	0,1731	16,428	-0,5166



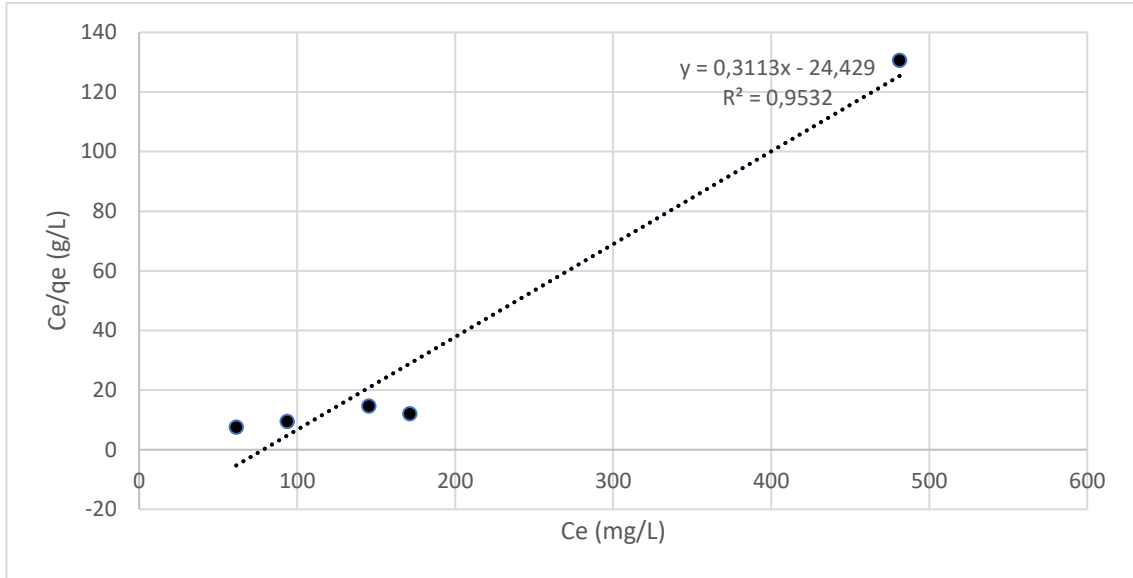
Şekil 4.28 Sirkülasyon sistemi için Söзде 1. kinetiği



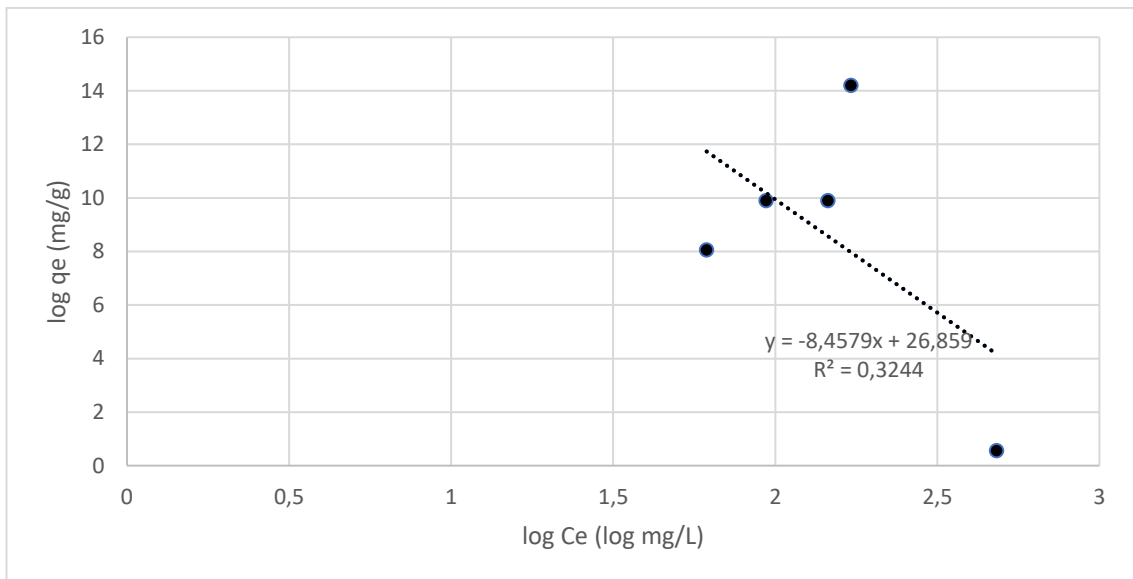
Şekil 4.29 Sirkülasyon sistemi için söзде 2. Kinetiği

Çizelge 4.3 Sirkülasyon sisteminde birinci ve ikinci dereceden kinetik model sabitleri (40g)

Sıcaklık (°C)	Kinetik 1						Kinetik 2		
	Kinetik 1		R^2	Kinetik 2		R^2			
	k_1	q_e		k_2	q_e				
	($mg^{-1}.dak^{-1}$)	(mg/g)		($mg^{-1}.dak^{-1}$)	(mg/g)				
20	7,6026	11,999	0,7301	0,000016	-237,82	0,6454			

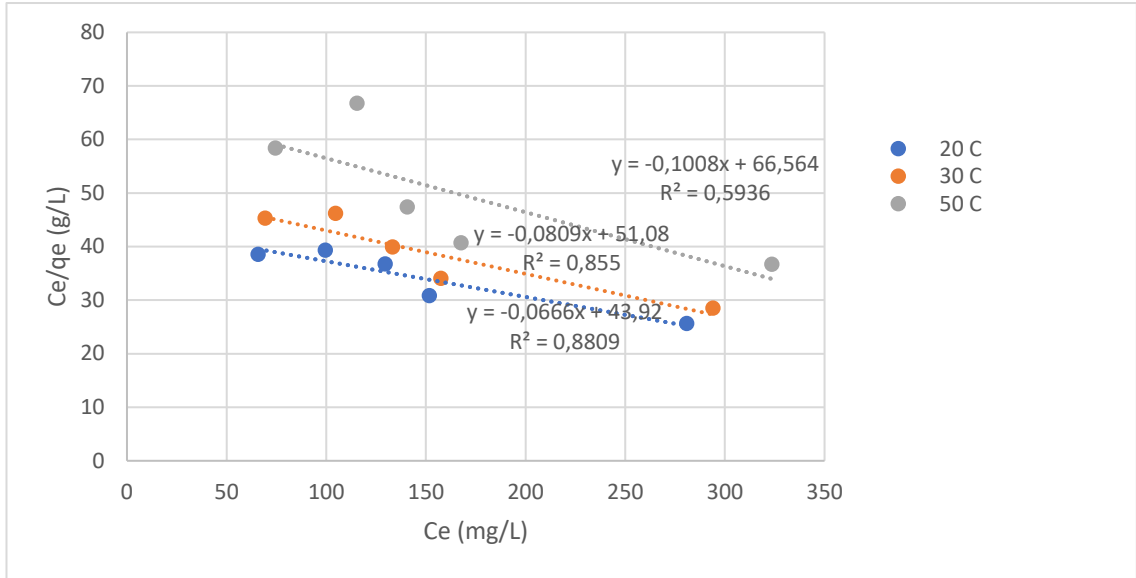


Şekil 4.30 Farklı konsantrasyon değerlerindeki destek filtre içine 10 g öğütülmüş midye kabuğu koyularak yapılmış filtrasyon için langmuir izotermi

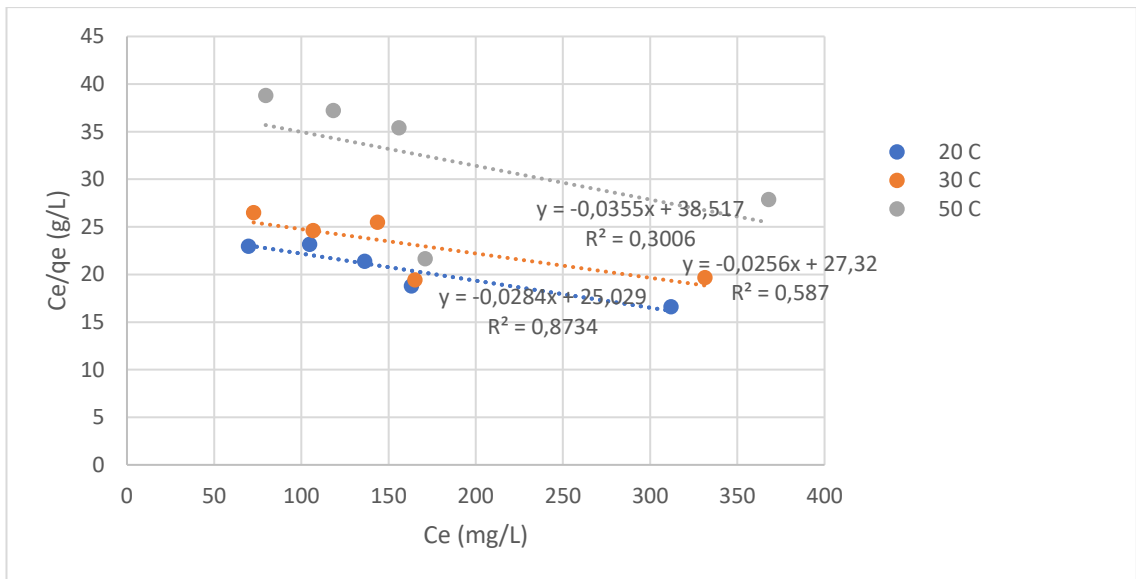


Şekil 4.31 Farklı konsantrasyon değerlerindeki destek filtre içine 10 g öğütülmüş midye kabuğu koyularak yapılmış filtrasyon için freundlich izotermi

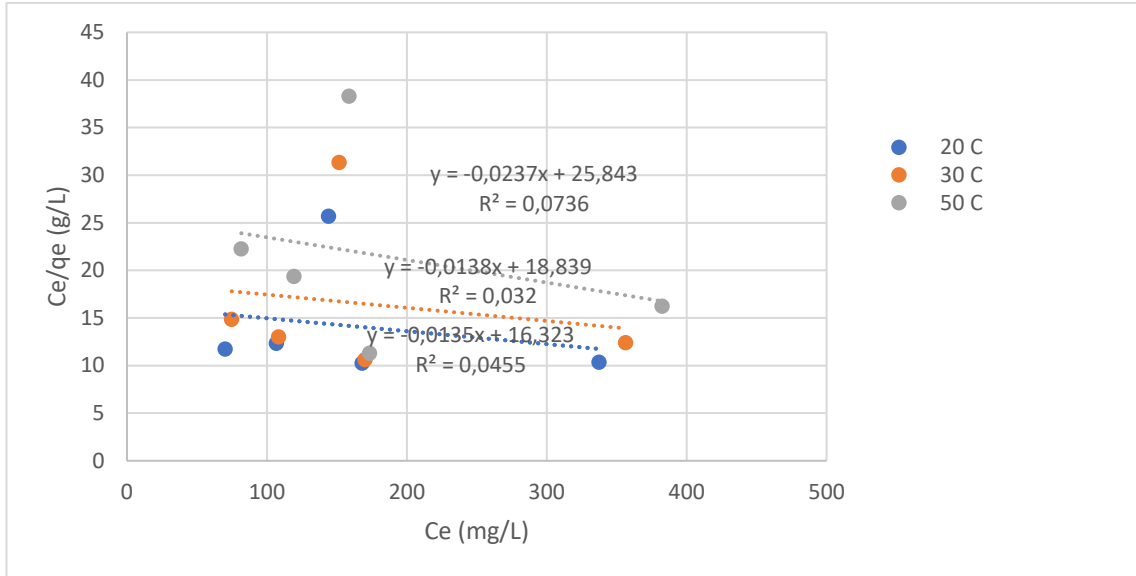
Elde edilen sonuçlar ile reçine çözeltisinin farklı başlangıç derişiminde çalışılmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon model grafikleri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de verilmiştir.



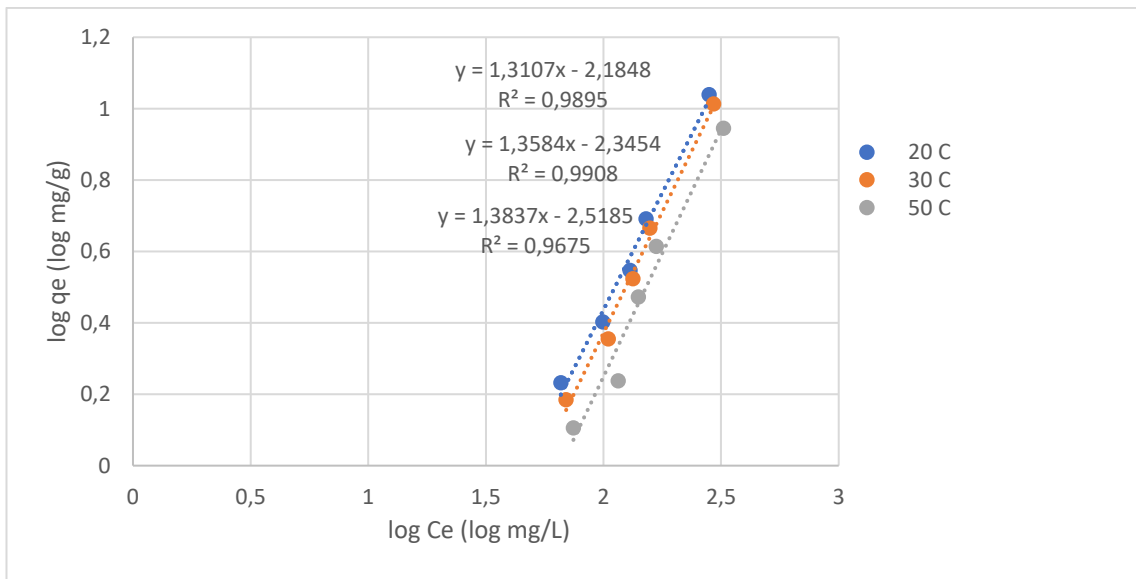
Şekil 4.32 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi (m=2gr)



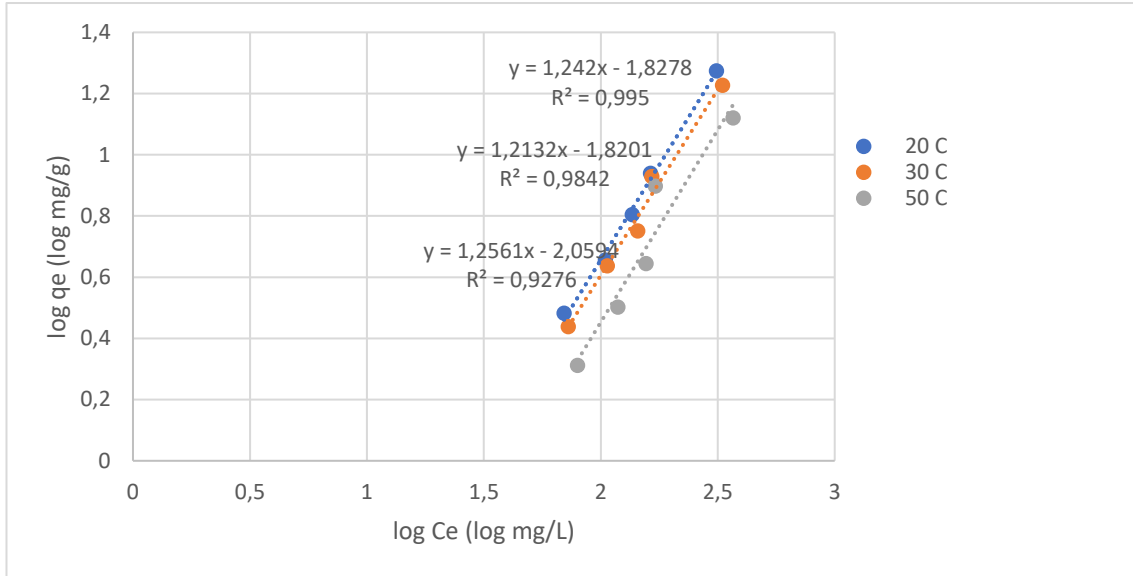
Şekil 4.33 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi (m=1gr)



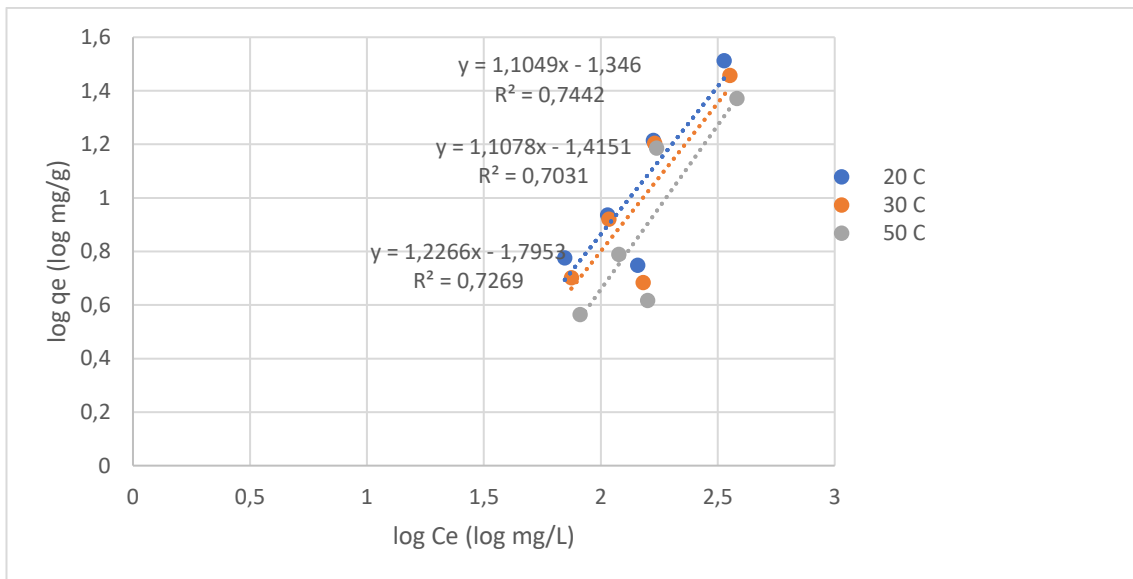
Şekil 4.34 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Lagmuir İzotermi ($m=0,5$ gr)



Şekil 4.35 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi ($m=2$ gr)



Şekil 4.36 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi(m=1gr)



Şekil 4.37 Kesikli sistem için farklı başlangıç konsantrasyonuna sahip reçine çözeltilerinin Freundlich İzotermi(m=0,5gr)

Bu çalışmada, adsorpsiyon izotermi korelasyon değeri daha büyük olduğu için Freundlich modeline daha uygundur.

Oluşturulan tablolarda Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin katsayılarını bulmak için eşitlik 2.2 ve 2.3 kullanılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'de gösterilmiştir Adsorpsiyon kapasitesinin literatürle (Conde, 2009) uyumlu olarak sıcaklıkla azaldığı tespit edilmiştir.

Literatürde (Ahmaruzzaman,2008) kitosanın, kinine dönüştürülmüş fenolik bileşikleri adsorplama kapasitesi 21,5 mg/g olarak verilmiştir. Ayrıca, katı atıklardan elde edilmiş aktif karbonların ve kömür bazlı adsorbentlerin fenolik reçineleri adsorplama özelliği belirlenmiştir. Pirinç saplarından elde edilen aktif karbonun fenol, mono, di, triklorofenollerini adsorplama kapasiteleri sırasıyla 4,9, 11,4, 12,9 ve 14,2 mg/g olarak bulunmuştur. (Ahmaruzzaman,2008) Reçine haline polimerize olmuş fenolik reçineler için adsorpsiyon verisine literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışma bu alanda literatüre yeni bilgi kazandırmaktadır. Kitin ve kitosanın fenolik reçine adsorplama kapasitelerinin sırasıyla 11,6 ve 11,0 mg/g olmaları itibariyle literatürde verilen bitkisel atıklardan elde edilmiş aktif karbonun fenolik reçine adsorplama kapasiteleriyle benzer olduğu görülmüştür.

Aktif karbon üzerinde fenol ve 2,4- diklorofenol adsorpsiyon aktivasyon enerjisinin sırasıyla 6,69 kJ/mol ve 9,20 kJ/mol olduğu verilmiştir. (Ahmaruzzaman,2008) Tarafımızca tespit edilen kitosan üzerine fenolik reçine adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 6,4 kJ/mol olarak tespit edilmiştir.

Bu bulgular fenolik reçinelerin kitin ve kitosan üzerine adsorpsiyonunun elverişli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4 2 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermelerinin sabitleri

Sıcaklık (°C)	R ²		q _m (mg/g)	Langmuir Sabiti K _L	Freundlich Sabitleri	
	Langmuir	Freundlich			K _f	n
20	0,8809	0,9895	8,80457	-1,7053	0,0938	1,1844
30	0,8550	0,9908	10,2727	-1,2033	0,0046	1,3584
50	0,8809	0,9675	10,9136	-0,9090	0,0030	1,3837

Çizelge 4.5 1 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermlerinin sabitleri

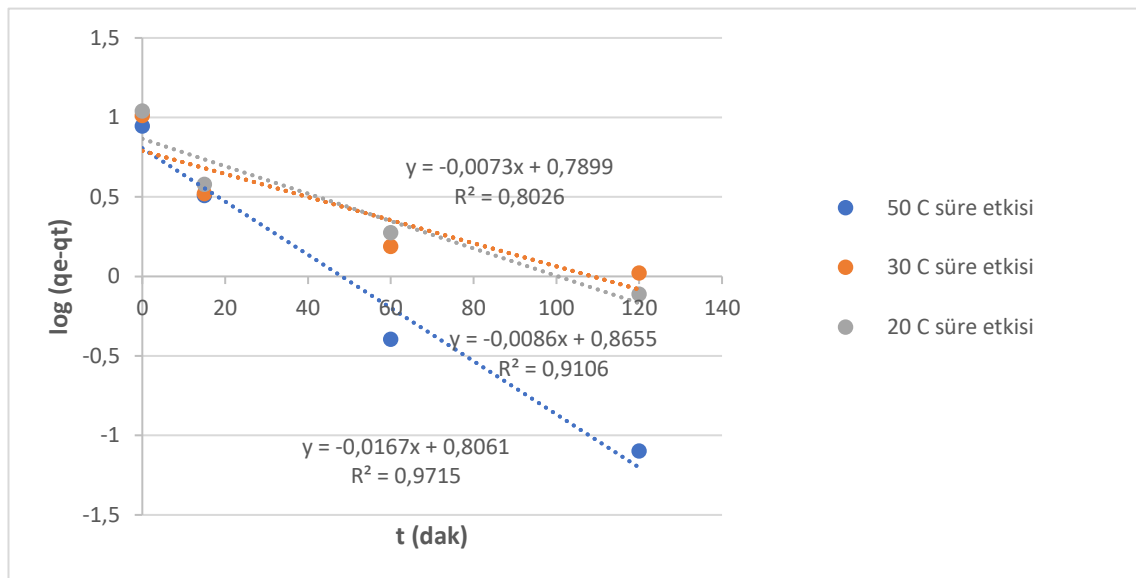
Sıcaklık (°C)	R ²		q _m (mg/g)	Freundlich Sabitleri		
	Langmuir	Freundlich		Langmuir Sabiti K _L	K _f	N
20	0,8734	0,9950	18,7322	-0,7984	0,0150	0,8052
30	0,5870	0,9804	18,7163	-0,6604	0,0148	0,8243
50	0,3006	0,9276	13,1626	-1,32679	0,0079	0,7961

Çizelge 4.6 0,5 gr adsorbent için Langmuir ve Freundlich İzotermlerinin sabitleri

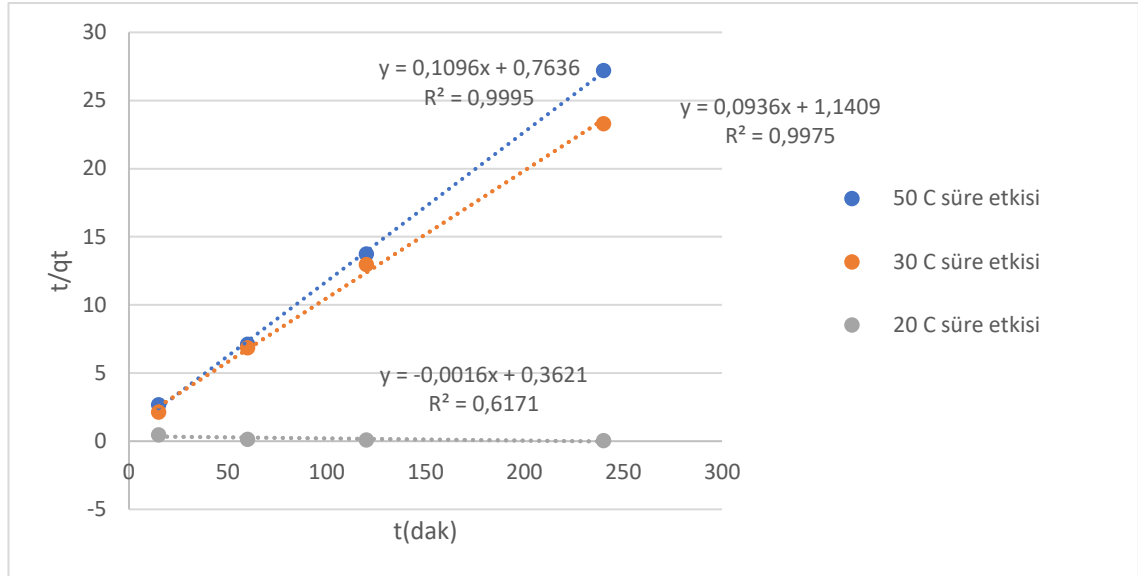
Sıcaklık (°C)	R ²		q _m (mg/g)	Freundlich Sabitleri		
	Langmuir	Freundlich		Langmuir Sabiti K _L	K _f	N
20	0,0455	0,7442	32,3428	-0,4643	0,05241	0,9051
30	0,0320	0,7031	28,528	-0,0433	0,04276	0,9027
50	0,0736	0,7269	23,3896	-0,4243	0,0160	0,8153

4.5. Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi

20 °C, 30 °C ve 50 °C’de birinci ve ikinci dereceden kinetik model grafikleri Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de verilmiştir.



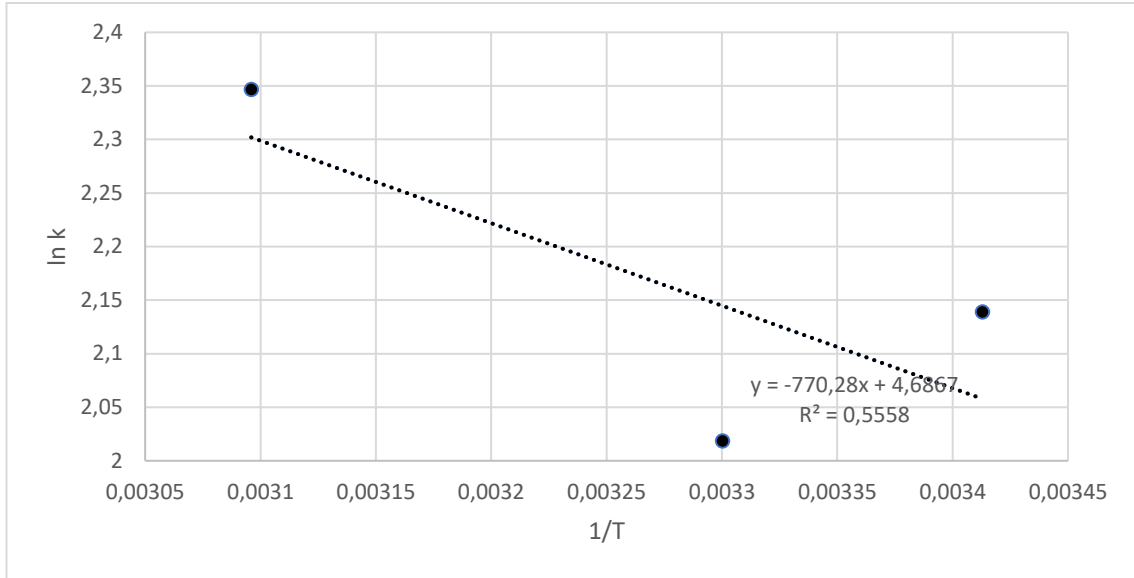
Şekil 4.38 Kesikli sistemde reçine atıksuyu adsorpsiyonu için 20 °C, 30 °C ve 50 °C’de birinci dereceden kinetik model eğrileri (C₀=500ppm, m=2gr)



Şekil 4.39 Kesikli sistemde reçine atıksuyu adsorpsiyonu için 20 °C, 30 °C ve 50 °C'de ikinci dereceden kinetik model eğrileri ($C_0=500\text{ppm}$, $m=2\text{gr}$)

Çizelge 4.7 Reçine atıksuyu için birinci ve ikinci dereceden kinetik model sabitleri (2g)

Sıcaklık (°C)	Kinetik 1			Kinetik 2		
	k_1 ($\text{mg}^{-1} \cdot \text{dak}^{-1}$)	q_e (mg/g)	R^2	k_2 ($\text{mg}^{-1} \cdot \text{dak}^{-1}$) 1)	q_e (mg/g)	R^2
20	8,4913	11,7316	0,9106	1,8789	-625	0,6171
30	7,5274	10,9249	0,8026	-0,0011	10,6808	0,9975
50	10,4516	9,5877	0,9715	6,3776	9,1241	0,9995



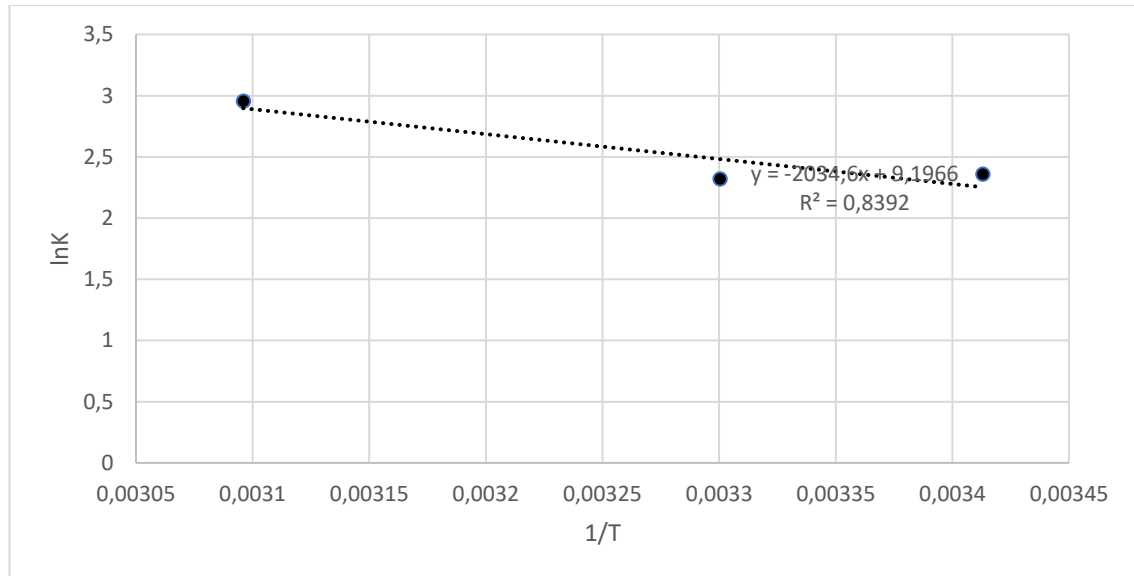
Şekil 4.40 Lagargren Hız Sabitinin sıcaklıkla değişim grafiği ($C_0=500$ ppm, $m=2$ gr)

$$\ln k = -Ea/(RT) + \ln A$$

$$Eğim = Ea/R$$

$$= -Ea/8,314 \text{ jmolK} = -770,28$$

$$Ea = 6404,11 \text{ kJ/mol}$$



Şekil 4.41 Lagargren Hız Sabitinin sıcaklıkla değişim grafiği ($C_0=250$ ppm, $m=2$ gr)

$$\ln k = -Ea/(RT) + \ln A$$

$$Eğim = Ea/R$$

$$=-Ea/8,314 \text{ jmolK}=-2034,6$$

$$Ea=16915,66 \text{ kJ/mol}$$

Korelasyon değerleri incelendiğinde reçine atıksu adsorpsiyonu için, her sıcaklıkta birinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmüştür.

5. SONUÇ

Atıksu arıtımında filtrasyon ve adsorpsiyon en etkin yöntemlerdendir. Bu çalışmada, mikro ve ultra seramik membran filtrelerle polimerik yapıdaki resol fenolik reçine içeren endüstriyel atık sularda fenolik reçinenin filtre edilebilirliği araştırılmıştır. Bununla birlikte seramik membranların adsorban için dolgulu kolon olarak kullanıldığı ve adsorban olarak öğütülmüş midye kabuğu kullanılan yüksek basınç sirkülasyon sisteminde fenolik reçine içeren endüstriyel atıksu arıtımı incelenmiştir. Ayrıca midye kabuğunun ana bileşeni olan kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosanın kesikli adsorpsiyon sistemlerinde sulu ortamda fenolik reçine adsorbe edebilme özellikleri belirlenmiştir.

Sirkülasyon sisteminde ultra filtrenin arıtma kapasitesinin %75,78 ile en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Mikro filtrede %31,29 arıtma gözlenirken, Destek filtrede %1,55 fenolik reçine giderimi olduğu gözlemlenmiştir.

Sirkülasyon sisteminde destek filtrenin içine kitin ve CaCO_3 içeren kurutulmuş ve öğütülmüş midye kabuğu doldurularak yapılan adsorpsiyonun atıksudan fenolik reçine gideriminde etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek giderim 40 g adsorbent miktarı, 20 °C ve 6,25 ml/sn sirkülasyon hızıyla %46,19 gözlemlenmiştir. Bu şartlarda adsorpsiyon kapasitesi (q_e) 11,63 mg/g olarak belirlenmiştir. En düşük giderim 5 g adsorbent miktarı ve 6,25 ml/sn sirkülasyon hızıyla %1,90 olarak gözlemlenmiştir.

Adsorbent olarak kitosanın kullanıldığı kesikli sistemde en yüksek giderim 2 g adsorbent miktarı, 500 ppm 20 °C'de %43,83 olarak hesaplanmıştır. Bu şartlarda adsorpsiyon kapasite (q_e) değeri 10,96 mg/g olmuştur. Bununla birlikte en düşük giderim 0,5 g adsorbent miktarı, 100 ppm ve 50 °C'de %3,03 olarak hesaplanmıştır. Artan sıcaklıkla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü ve 50 C da 8,82mg/g olduğu bulunmuştur.

Adsorpsiyon verilerinin adsorbent olarak kitinin kullanıldığı sirkülasyon sisteminde Langmuir, adsorbent olarak kitosanın kullanıldığı kesikli sistemde Freundlich izotermine uyduğu görülmüştür. Sirkülasyon sisteminde Langmuir izoterm parametreleri $q_m=11,8765\text{mg/g}$, Langmuir sabiti $K_L=0,1731$, Freundlich izoterm parametreleri $K_f=16,428$, $n=-0,5166$ olarak hesaplanmıştır.

Kesikli sistemde optimum koşullar olan 500 ppm, 20 °C, 2 g adsorbent miktarında Langmuir izoterm parametreleri $q_m=8,8046\text{ mg/g}$, Langmuir sabiti $K_L=-1,7053$, Freundlich izoterm parametreleri $K_f= 0,0938$, $n=1,1844$ olarak hesaplanmıştır.

Sirkülasyon sisteminde ve kesikli sistemde adsorpsiyon 1. ve 2. derece sözde (yalancı) kinetik modeli ile modellenmiştir. Korelasyon değerleri incelendiğinde adsorpsiyon hızının 1. derece kinetik modele uyduğu tespit edilmiştir. Sirkülasyon sisteminde 40 g adsorbent miktarı, 500 ppm, 20 °C’de 1. Derece kinetik hız sabiti $k_1=7,6026 \text{ mg}^{-1}\text{dak}^{-1}$, $q_e=11,999 \text{ mg/g}$. Kesikli sistemde de birinci derece adsorpsiyon kinetiğinin geçerli olduğu ve 2 g adsorbent miktarı, 500 ppm başlangıç derişimi, 20 °C’de 1. Derece kinetik hız sabiti $k_1=8,4913 \text{ mg}^{-1}\text{dak}^{-1}$, $q_e=11,7316 \text{ mg/g}$ olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, seramik membran ultra filtrenin gözenek boyutu ve yapısı itibarıyla rezol fenolik reçine atık su arıtımında etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra ağırlıklı olarak kitin içeren kurutulmuş öğütülmüş midye kabuklarından elde edilen adsorbentin, ve kitinin deasetilasyonu ile elde edilen kitosanın adsorpsiyonla fenolik reçine gideriminde etkili olduğu belirlenmiştir.

Literatürde kitosanın, kinine dönüştürülmüş fenolik bileşikler adsorplama kapasitesi 21,5 mg/g olarak verilmiştir. Ayrıca, katı atıklardan elde edilmiş aktif karbonların ve kömür bazlı adsorbentlerin fenolik reçineleri adsorplama özelliği belirlenmiştir. Pirinç saplarından elde edilen aktif karbonun fenol, mono, di, triklorofenollerini adsorplama kapasiteleri sırasıyla 4,9, 11,4, 12,9 ve 14,2 mg/g olarak bulunmuştur. Reçine haline polimerize olmuş fenolik reçineler için adsorpsiyon verisine literatürde rastlanmamıştır. Bu çalışma bu alanda literatüre yeni bilgi kazandırmaktadır. Kitin ve kitosanın fenolik reçine adsorplama kapasitelerinin sırasıyla 11,6 ve 11,0 mg/g olmaları itibarıyla literatürde verilen bitkisel atıklardan elde edilmiş aktif karbonun fenolik reçine adsorplama kapasiteleriyle benzer olduğu görülmüştür. Aktif karbon üzerinde fenol ve 2,4- dikolorofenol adsorpsiyon aktivasyon enerjisinin sırasıyla 6,69 kJ/mol ve 9,20 kJ/mol olduğu verilmiştir. Tarafımızca tespit edilen kitosan üzerine fenolik reçine adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 6,4 kJ/mol olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular fenolik reçinelerin kitin ve kitosan üzerine adsorpsiyonunun elverişli olduğunu göstermektedir.

Bu yapılan laboratuvar çalışması pilot ve endüstriyel tesis tasarımında kullanılabilecek yeterli veriyi kapsamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abadi, S., R., H., Sebzari, M., R., Hemati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T., (2011), 'Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater' Desalination, Brazil, 222-228
- Abalı, Y., Öztekin, B., Çanlı, M., Şirin, K., (2014) 'Deri sanayi atık sularından krom (VI) iyonunun adsorbsiyonu' C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 10.1 Haziran sayısı, Manisa
- Ahmaruzzaman, Md., (2008) 'Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents : A review'48-67
- Alyüz, B., Veli, S., (2005) 'Ağır metal içeren atıksu arıtımında kullanılan düşük maliyetli adsorbentler' Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma Sayı 3, İstanbul
- Baylan, N., (2013) 'Bentonit ve üzüm çekirdeği aktif karbonunun tekli ve çoklu iyon sistemlerindeki adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Bektaş, N., (2009) 'Modifiye montmorillonitlerin hazırlanması ve adsorpsiyon kinetiklerinin incelenmesi' Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Conde E, Gullon, P., Moure, A., Dominguez, H., Parajo, J.C., 'Fraction of industrial solids containing barley husks in aqueous media' University of Vigo, Department of Chemical Engineering, Spain
- Dilaver, M., Murat Hocaoglu, S., Soydemir, G., Dursun M., (2017) 'Endüstriyel Atıksuda Seramik Membran Filtrasyonu ile Sıcak Su Geri Kazanımı' TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli
- Filiz, E., (2007)' Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır metal giderimi', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Gök, O., Mesutoğlu, Ö., Ç., (2017) 'Ağır metallerin giderimi için düşük maliyetli adsorban olarak pirina kullanımı' Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Ankara,507-516
- İleri, B., (2019) 'Ultrases prosesi ile modifiye edilen uçucu kül kullanılarak metil kırmızısı boyasının adsorpsiyon prosesi ile giderimi' Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 21, Sayı 61, İzmir, 25-40
- Kızıler, B., (2017) 'Seramik tübüler MF-UF-NF membran modüllerinin mikro/nanotasarımı ve seramik endüstrileri atıksu yönetiminde kullanımlarının araştırılması', Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi-Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik
- Koseoglu, H., Yiğit, N., Ö., Sayılğan, E., Beyhan, M., (2010) 'The removal of disinfection by-product precursors from water with ceramic membranes,' Water Science & Technology, Isparta

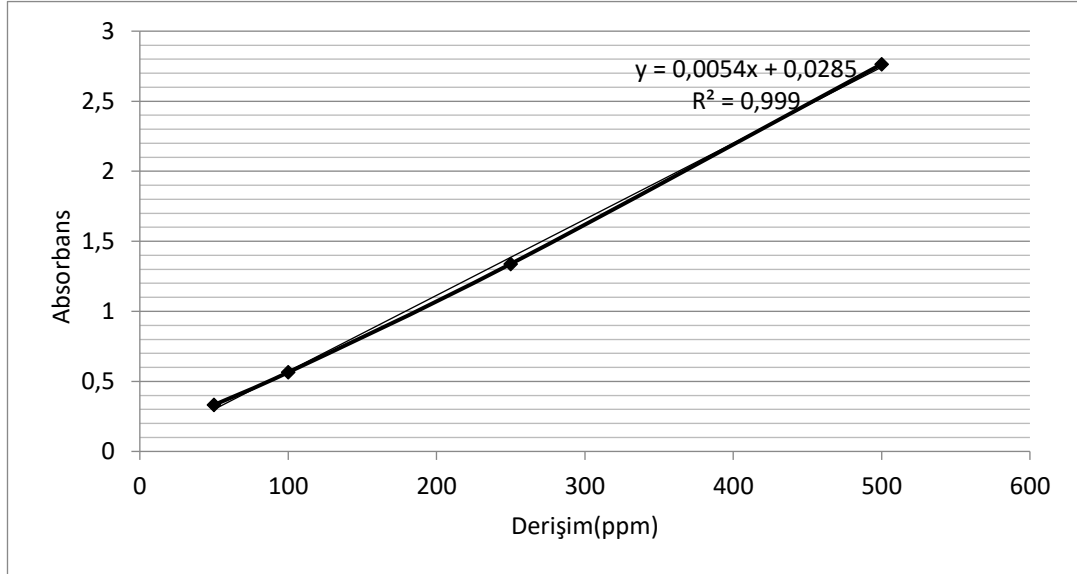
KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Köylü, E., Gönen, F., Önalın F., (2015) ‘Asidik boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atıksularından adsorpsiyon yöntemiyle renk giderilmesi’ Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A - Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik Cilt 16, Sayı 2, Eskişehir, 145–153
- Mağdala, M.Ö., (2009) ‘Isı kalkanları için kalıplanabilir karbon fenolik kompozit üretimi ve karakterizasyonu’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Namal, O., Ö., (2017) ‘Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan proseslerin araştırılması’ Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt 6(ICOCEE 2017 Özel Sayı) Nevşehir, 388-396
- Orbak, İ., (2009) ‘Aktif karbon ile çevre kirletici bazı unsurların giderilmesi’, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Savcı, S., (2005) ‘Basic blue 41 boyar maddesinin canlı ve inaktif sucul bitki *myriophyllum spicatum* tarafından adsorblanabilirliğinin incelenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana
- Türken, T., (2013) ‘Gümüş nanopartiküller ile kompozit ince boşluklu fiber (hollow fiber) membran üretimi, karakterizasyonu ve uygulaması’, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul
- Türkoğlu, S. (2010) ‘Sudaki fenolik kirleticilerin farklı adsorplayıcılara adsorpsiyonu ve katının mikrodalga rejenerasyonu’ Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Zhang, H., Zhong, Z., Xing, W., (2013) ‘Application of ceramic membranes in the treatment of oilfield-produced water: Effects of polyacrylamide and inorganic salts’ Desalination and Water Treatment, United Kingdom, 84–90

EKLER**EK1**

UV Kalibrasyon eğrileri

UV Cihazında absorbans değerine karşılık gelen konsantrasyon değerini hesaplayabilmek için kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Destek filtresi arıtımının konsantrasyon değerlerinin hesaplanması için çizilen kalibrasyon eğrisi şekilde verilmiştir.



Destek filtre için absorbansa karşılık derişim kalibrasyon eğrisi

EK2

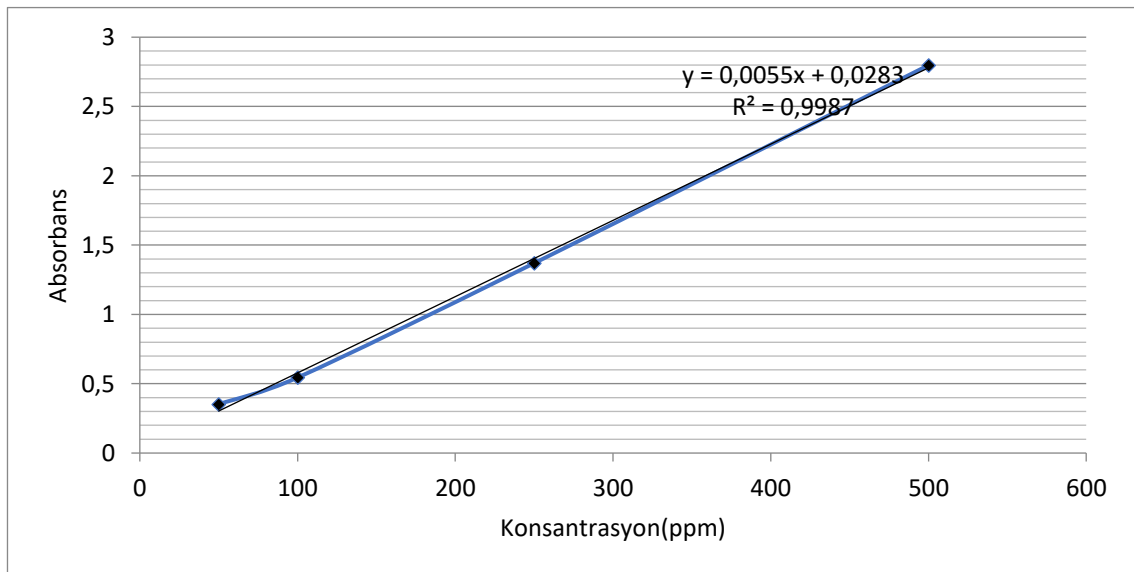
Destek filtresi ile arıtılmış suyun absorbanans değerleri ve kalibrasyon eğrisinden elde edilen verilerle grafik üzerinden konsantrasyon değerleri tabloda verilmiştir.

Destek filtre için absorbanansa karşılık gelen ppm değerleri

Zaman (dk)	Konsantrasyon (ppm)	Absorbans
0	506,678	2,7673
15	503,496	2,7501
30	501,165	2,7375
60	499,8515	2,7304
120	499,0745	2,7262
240	498,8155	2,7248

EK3

UV Cihazında absorbanans değerine karşılık gelen konsantrasyon değerini hesaplayabilmek için kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. mikro filtre arıtımının konsantrasyon değerlerinin hesaplanması için çizilen kalibrasyon eğrisi şekilde verilmiştir.



Mikro filtre için absorbanansa karşılık derişim kalibrasyon eğrisi

EK4

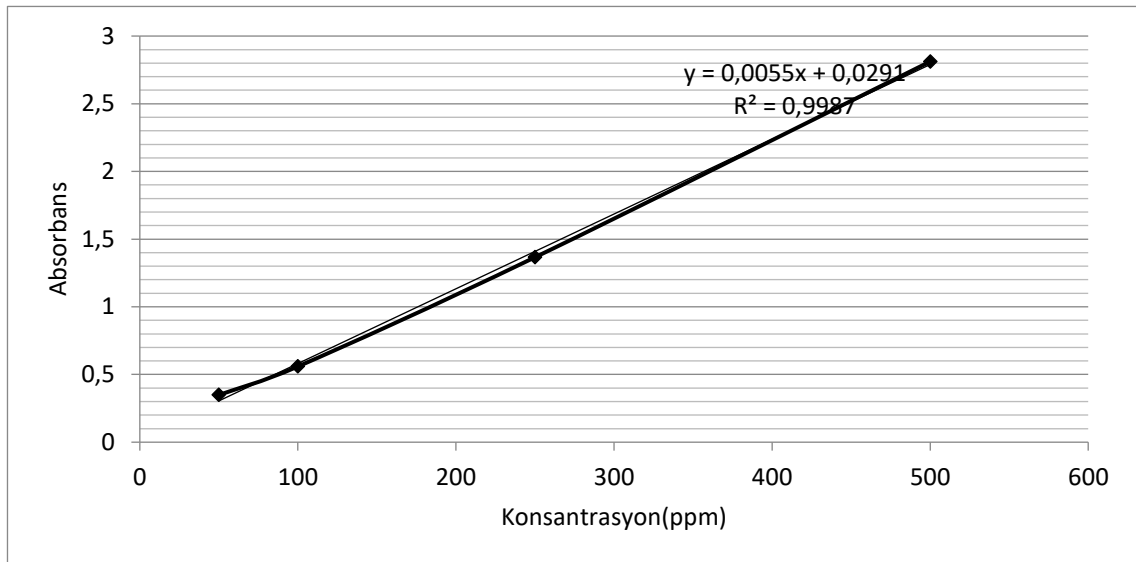
Mikro filtre ile arıtılmış suyun absorbans değerleri ve kalibrasyon eğrisinden elde edilen verilerle grafik üzerinden konsantrasyon değerleri çizelgede verilmiştir.

Mikro filtre için absorbansa karşılık gelen ppm değerleri

Zaman	Konsantrasyon(ppm)	Absorbans
0	502,219	2,7941
15	364,7979	2,0373
30	362,9094	2,0269
60	359,0417	2,0056
120	351,5424	1,9643
240	345,0599	1,9286

EK5

UV Cihazında absorbands değerine karşılık gelen konsantrasyon değerini hesaplayabilmek için kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Ultra filtre arıtımının konsantrasyon değerlerinin hesaplanması için çizilen kalibrasyon eğrisi şekilde verilmiştir.



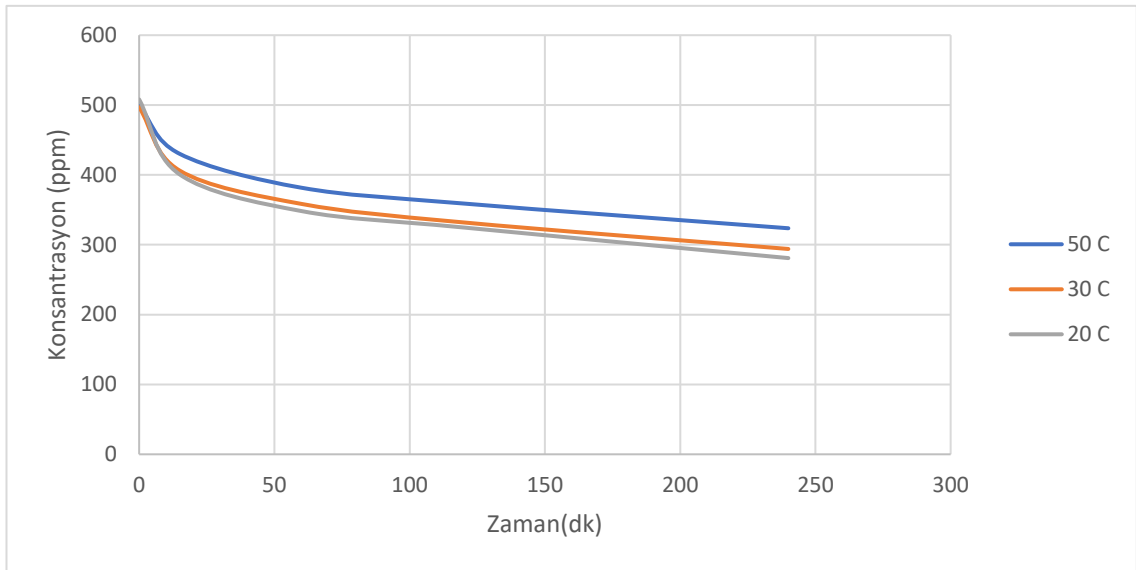
Ultra filtre için absorbandsa karşılık derişim kalibrasyon eğrisi

EK6

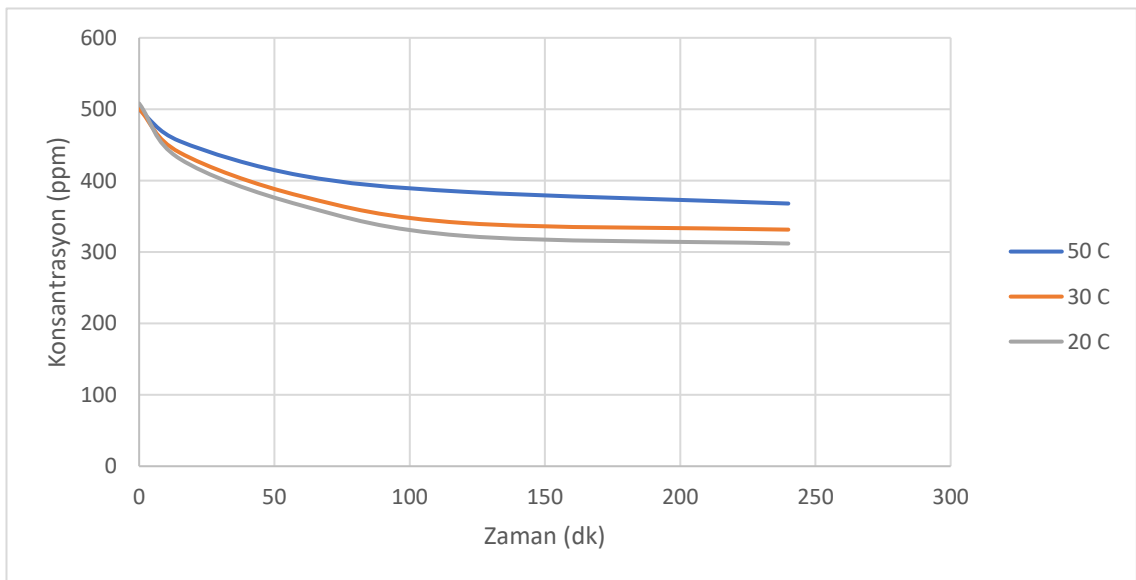
Mikro filtre ile arıtılmış suyun absorbands değerleri ve kalibrasyon eğrisinden elde edilen verilerle grafik üzerinden konsantrasyon değerleri çizelgede verilmiştir.

Ultra filtre için absorbandsa karşılık gelen ppm değerleri

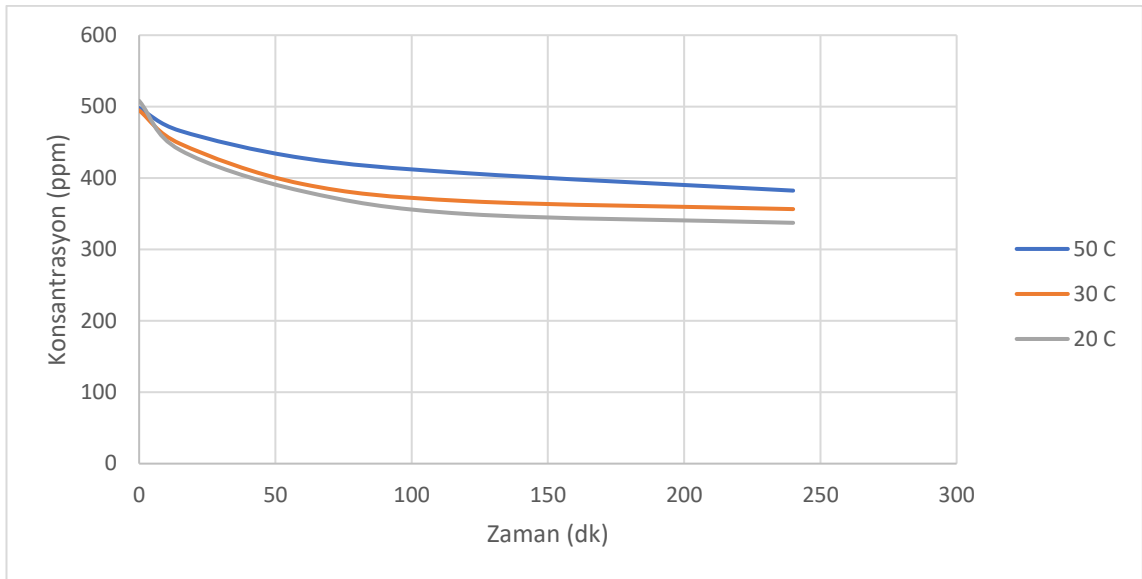
Zaman	Konsantrasyon(ppm)	Absorbans
0	503,5264	2,8021
15	352,9951	1,9731
30	313,4465	1,7553
60	244,6815	1,3766
120	173,8464	0,9865
240	121,9685	0,7008

EK7

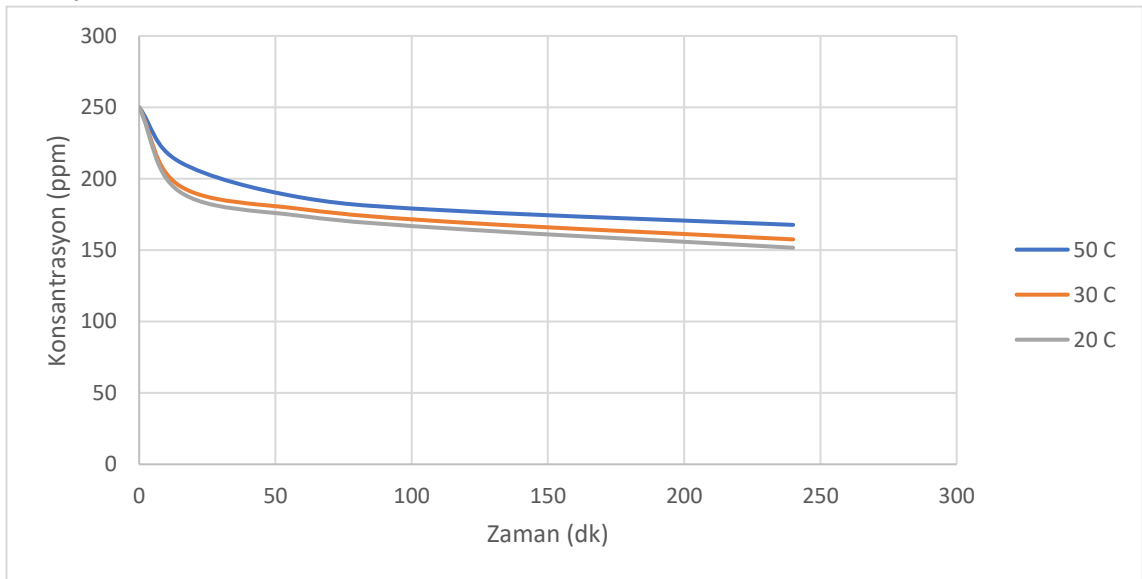
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=2$ g; $t=240$ dk; $C_0=500$ ppm)

EK8

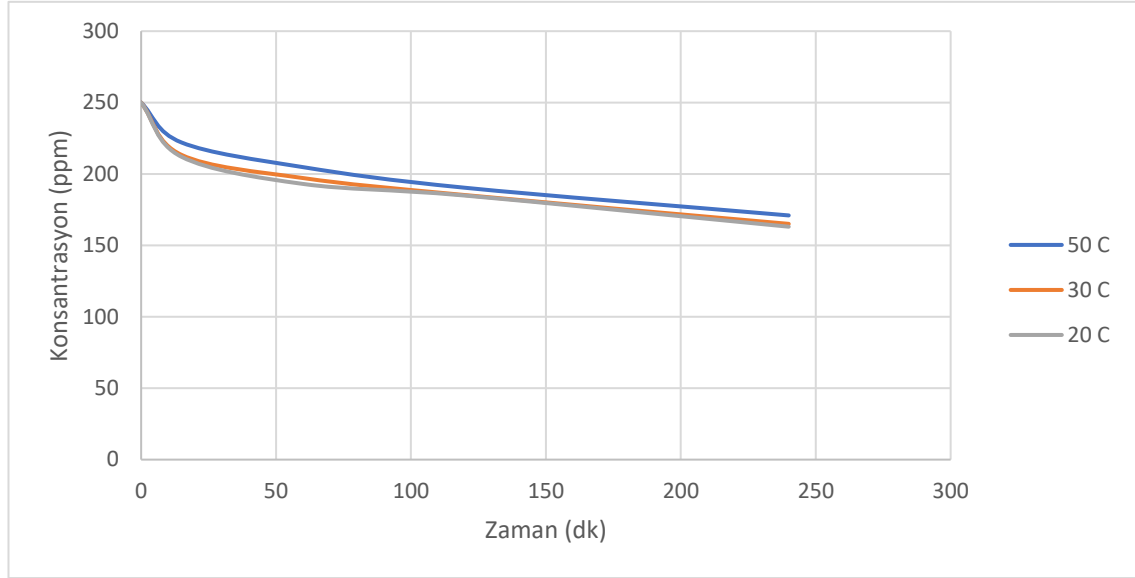
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=1$ g; $t=240$ dk; $C_0=500$ ppm)

EK9

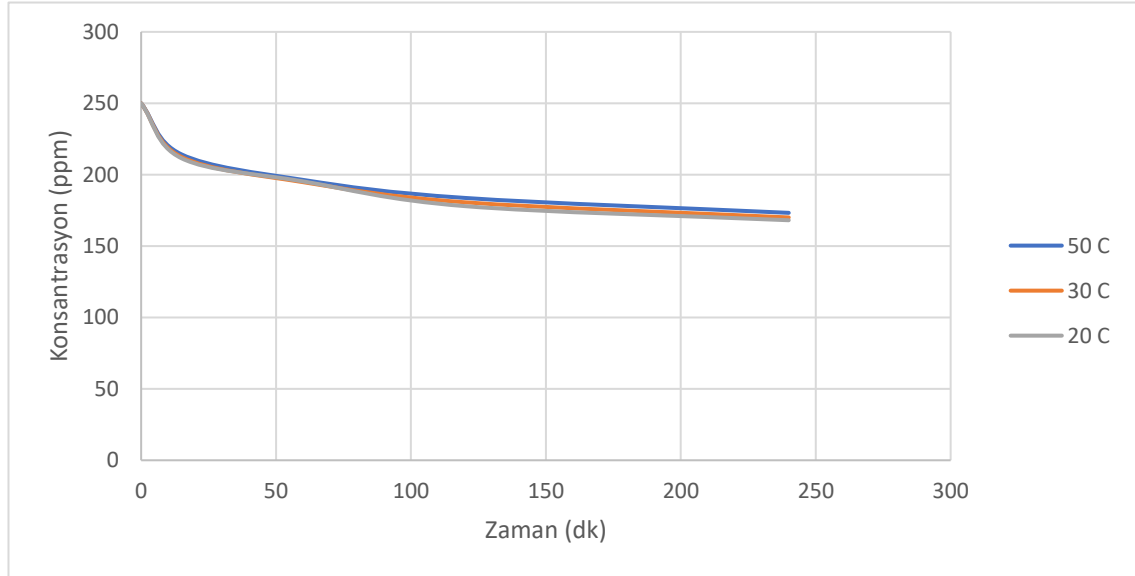
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=0,5$ g; $t=240$ dk; $C_0=500$ ppm)

EK10

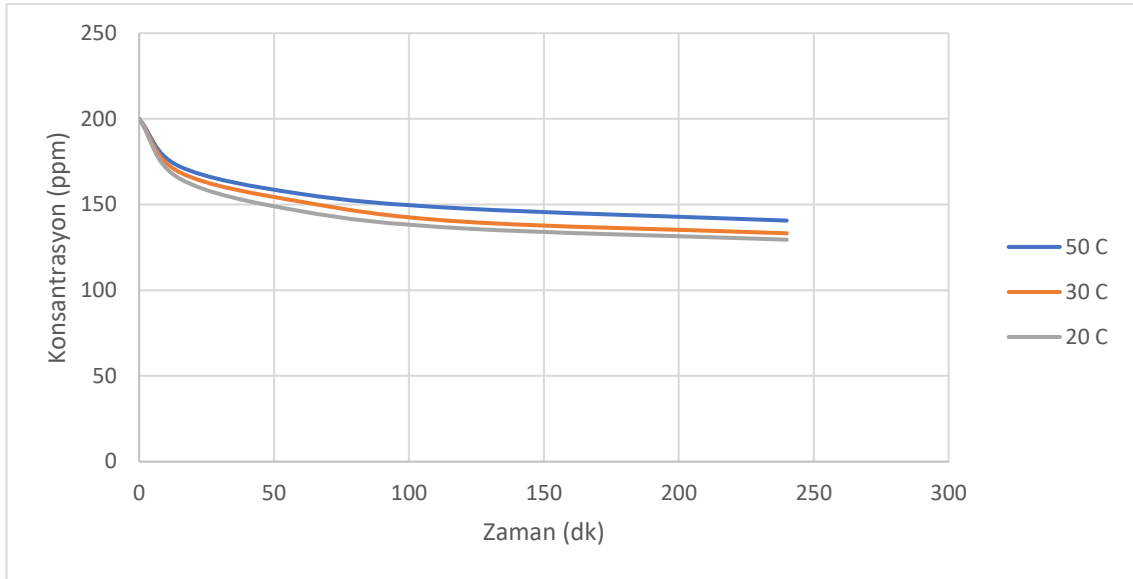
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=2$ g; $t=240$ dk; $C_0=250$ ppm)

EK11

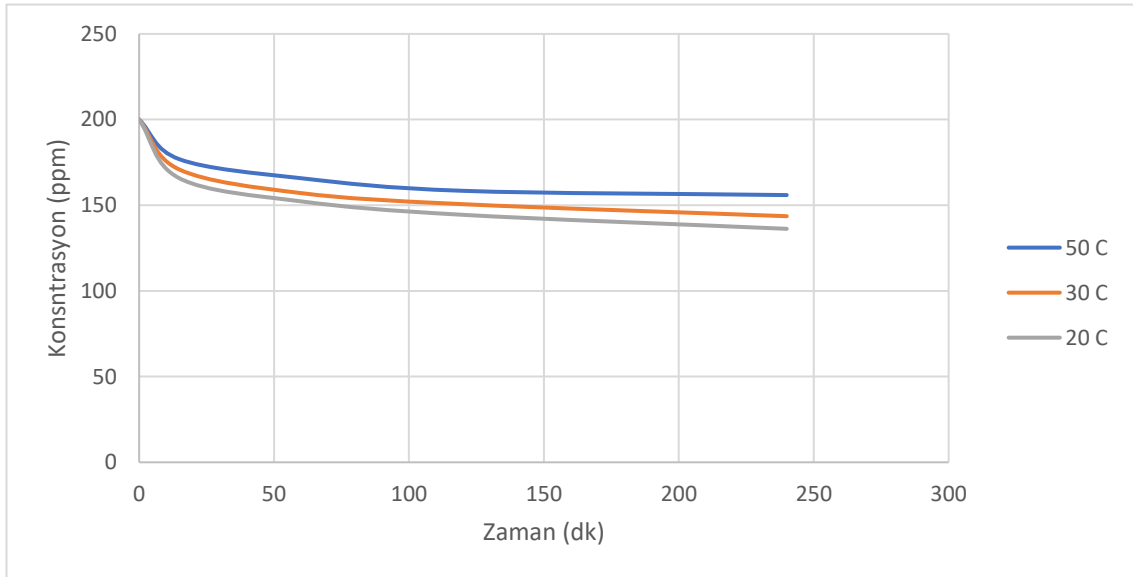
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=1$ g; $t=240$ dk; $C_0=250$ ppm)

EK12

Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=0,5$ g; $t=240$ dk; $C_0=250$ ppm)

EK13

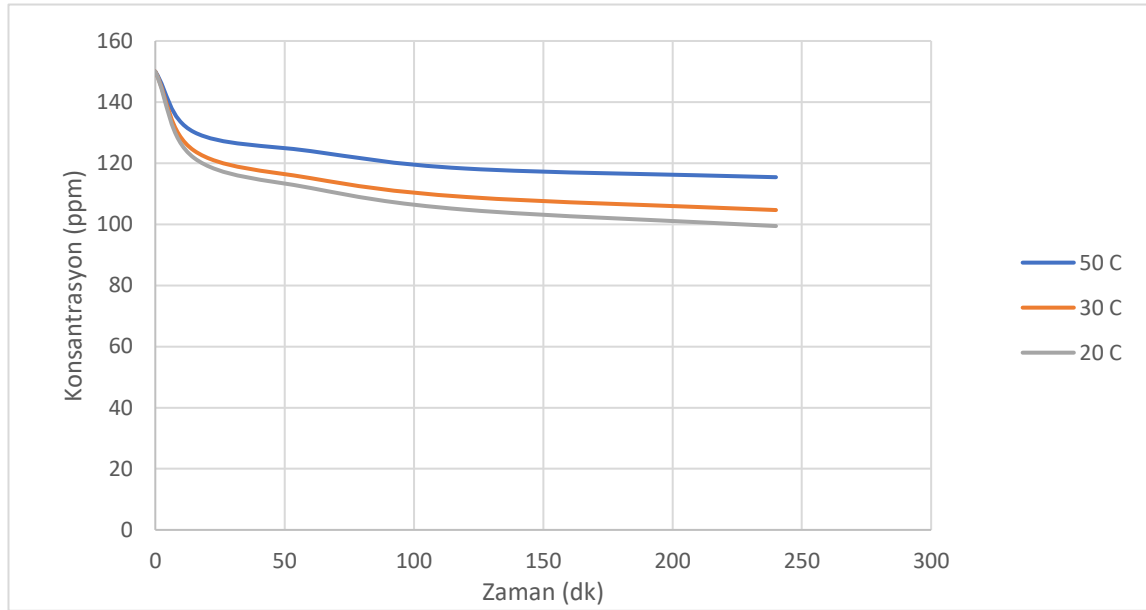
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=2$ g; $t=240$ dk; $C_0=200$ ppm)

EK14

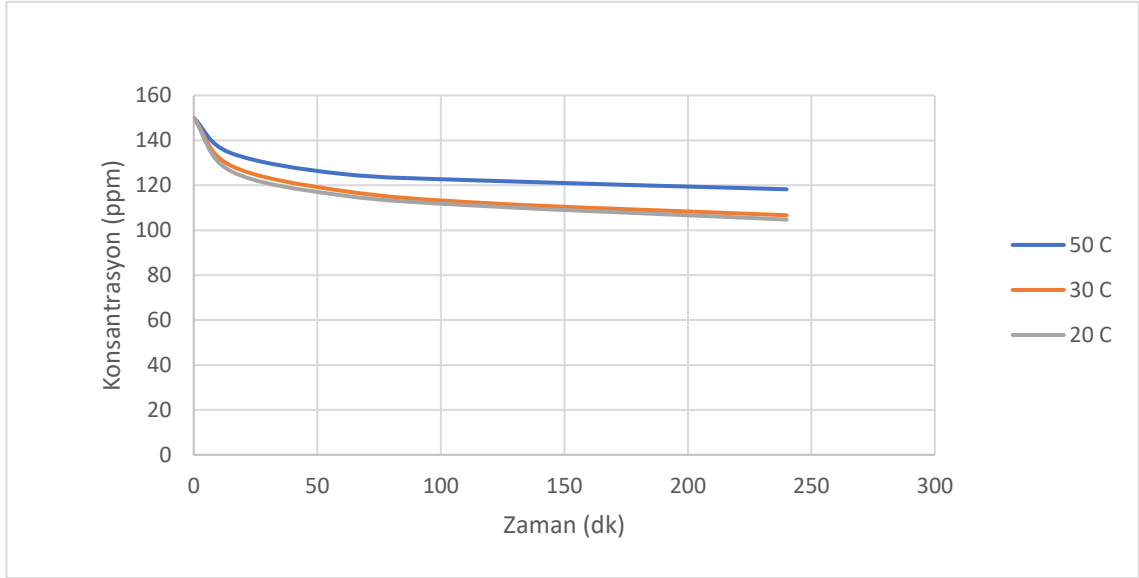
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=1$ g; $t=240$ dk; $C_0=200$ ppm)

EK15

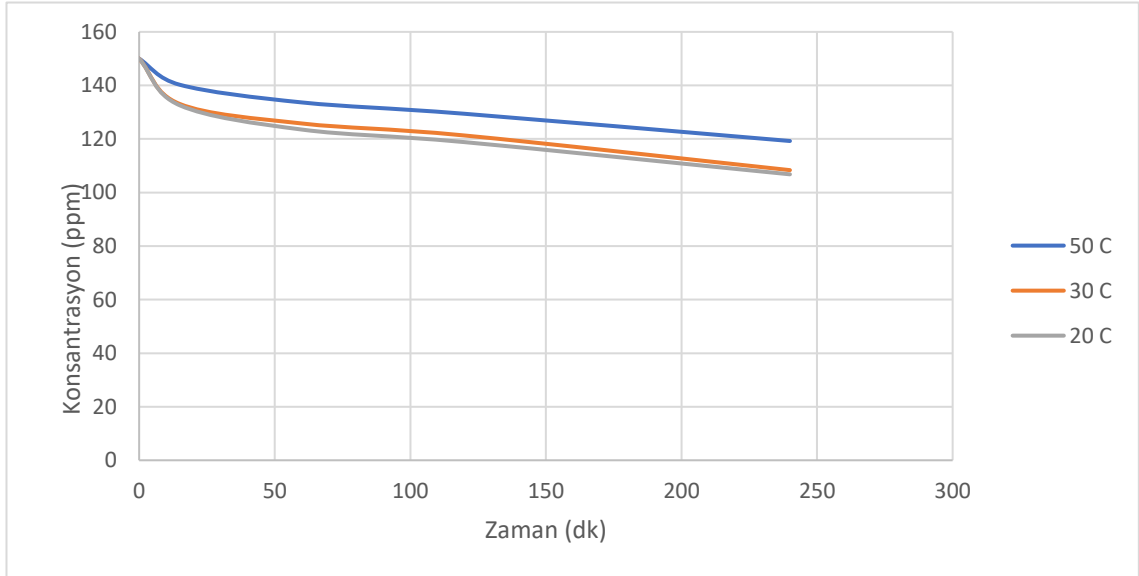
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=0,5$ g; $t=240$ dk; $C_0=200$ ppm)

EK16

Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=2$ g; $t=240$ dk; $C_0=150$ ppm)

EK17

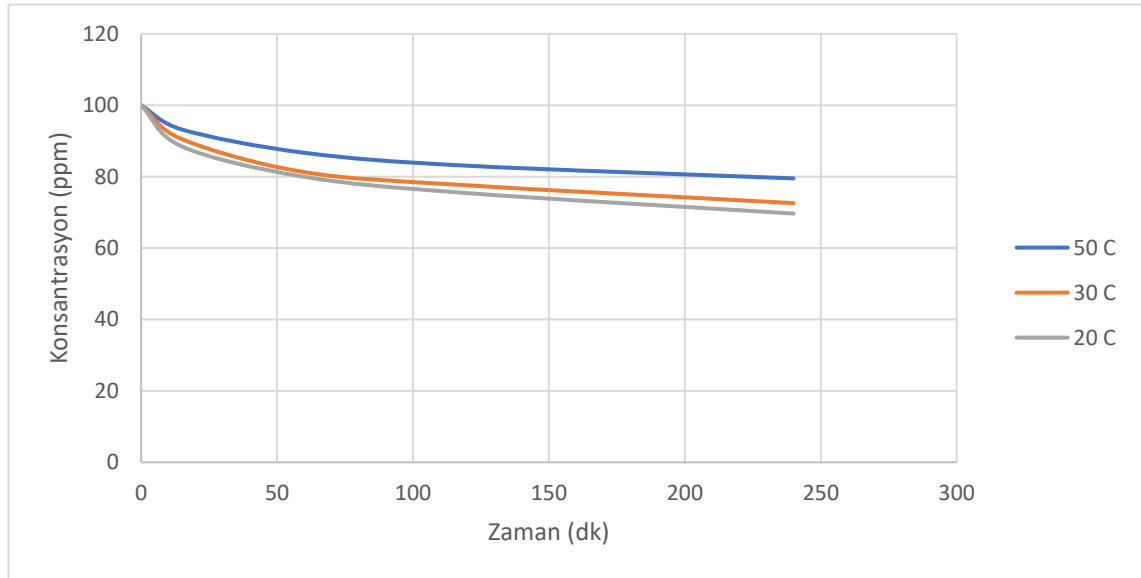
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=1$ g; $t=240$ dk; $C_0=150$ ppm)

EK18

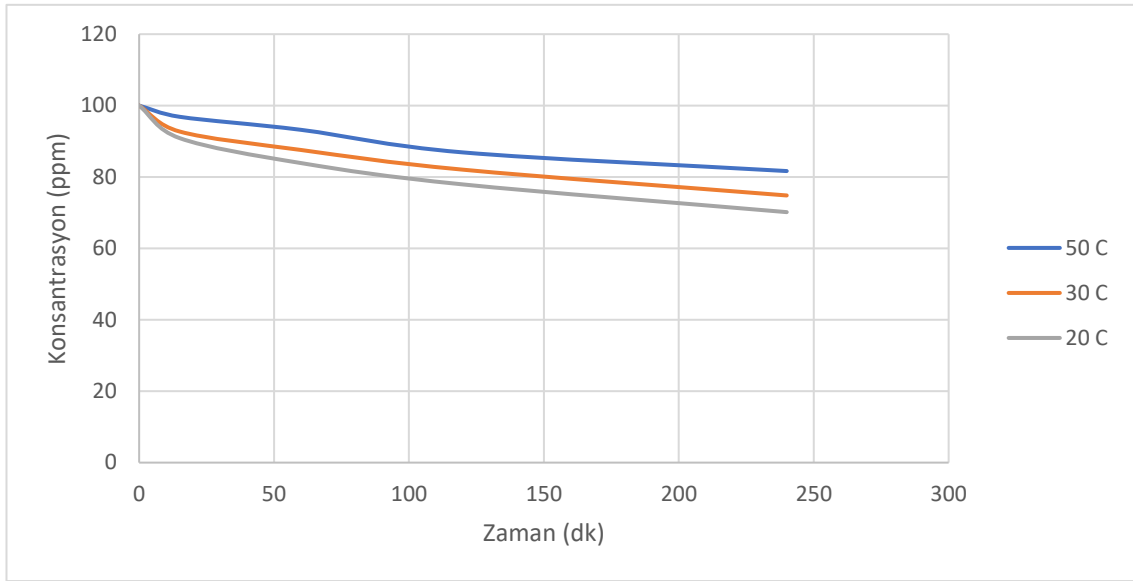
Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=0,5$ g; $t=240$ dk; $C_0=150$ ppm)

EK19

Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=2$ g; $t=240$ dk; $C_0=100$ ppm)

EK20

Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=1$ g; $t=240$ dk; $C_0=100$ ppm)

EK21

Kitosanın öğütülmesiyle elde edilen adsorbentin sulu çözeltilerden reçine konsantrasyonuna sıcaklık etkisi ($m=0,5$ g; $t=240$ dk; $C_0=100$ ppm)

OZ GECMIS

Evrin CANBAY



İLETİŞİM

E-mail : evrimcanbay@gmail.com

YABANCI DİL

İngilizce : İyi- Yurtdışı

EĞİTİM

2003-2006 : İstanbul Şişli Ahmet Buhan Lisesi

2008-2013 : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Kimya ve Süreç Mühendisliği Bölümü

2013-2019 : Anadolu Üniversitesi-Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Ortak Programı Kimya Mühendisliği Yüksek Lisans

2015 (6 ay) : Università Della Calabria
Kimya Mühendisliği Erasmus+

PROFESYONEL DENEYİM

2011 (20 iş günü) : Sançim Çimento Fabrikası (laboratuvar stajı)

2013 (20 iş günü) : Bien Yapı Ürünleri ve Turizm A.Ş. (işletme stajı)

2014 (Ocak-Nisan) : Akgün Toprak A.Ş. (Vardiya Mühendisi)

2014 (Nisan)-2016 (Haziran) : Metko Hüttenes Albertus A.Ş. (Ar-Ge Mühendisi)

2016 (Haziran)-2017 (Ocak) : Metko Hüttenes Albertus A.Ş. (Üretim Müdür Yardımcısı)

2017 (Kasım)-2018(Ağustos): İlmor Tekstil ve Kimya LTD. ŞTİ. (Teknik Satış Mühendisi)

2018(Ağustos-) :Gedik Holding(Gedik Kaynak A.Ş)(Arge Mühendisi)