



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELERLE İLAÇ ETKEN MADDE  
ADSORPSİYONUNUN İNCELENMESİ

HAZAN KARADUMAN

DANIŞMAN  
Prof. Dr. İSMAİL İNCİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma,Tarih girmek için burayı tıkladın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından.....,.....nda ..... olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

UnvanAdı SOYADI(Danışman)  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Fakülte

UnvanAdı SOYADI  
Üniversite  
Fakülte

UnvanAdı SOYADI  
Üniversite  
Fakülte

UnvanAdı SOYADI  
Üniversite  
Fakülte

UnvanAdı SOYADI  
Üniversite  
Fakülte



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgisi ve tecrübesiyle hep yol gösterici olan çok kıymetli danışman hocam sayın Prof. Dr. İsmail İNCİ'ye desteği, anlayışı ve bana olan inancı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi, öneri ve yardımlarıyla tezimi hazırlamamda destek olan değerli hocam Araş. Gör. Dr. Nilay BAYLAN'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımı Sanovel İlaç San. ve Tic. A.Ş.'de yapmama olanak sağlayan, desteğini her zaman hissettiğim çok değerli sayın Alev ATEŞ SEZEN'e çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sabrını ve desteğini esirgemeyen, hep yanımda olan en büyük şansım canım annem ve babama, heyecanımı ve mutluluğumu paylaşan tüm sevdiklerime kalpten teşekkür ederim.

Temmuz 2020

Hazan KARADUMAN

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ .....	xiii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xvii
ÖZET .....	xviii
SUMMARY .....	xix
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>2</b>
2.1. ADSORPSİYON .....	2
2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ .....	4
2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon .....	4
2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon .....	4
2.2.3. Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon Arasındaki Farklar .....	6
2.2.4. Giles Sınıflandırması .....	7
2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ .....	8
2.3.1. Freundlich İzotermi .....	9
2.3.2. Langmuir İzotermi .....	10
2.3.3. Temkin İzotermi .....	12
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>13</b>
3.1. İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELER .....	13
3.1.1. Katyon İyon Değiştirici Reçineler .....	14
3.1.2. Anyon İyon Değiştirici Reçineler .....	15
3.1.3. AMBERLİTE IRA- 67 .....	16
3.1.4. AMBERLİTE IRA- 96 .....	18
3.1.5. AMBERLİTE IRA- 400 .....	19
3.1.6. AMBERLİTE IRA- 958 .....	20
3.2. İLAÇ .....	21
3.2.1. İlaçların Sınıflandırılması .....	22
3.2.1.1. Sindirim Sistemi ve Metabolizmayı Etkileyen İlaçlar .....	22

3.3.	BİGUANİDLER .....	23
3.3.1.	Metformin HCl .....	24
3.3.1.1.	<i>Metformin HCl Adsorpsiyonunda Kullanılan UV Metod</i> .....	26
3.4.	DENEYSEL YÖNTEM .....	26
3.4.1.	Metformin HCl Doğrusallık Çalışması.....	26
<b>4.</b>	<b>BULGULAR.....</b>	<b>28</b>
4.1.	ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI.....	28
4.1.1.	Metformin HCl'in Amberlite IRA- 67 ile Adsorpsiyonu.....	28
4.1.1.1.	<i>Optimum Sürenin Belirlenmesi</i> .....	28
4.1.1.2.	<i>Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi</i> .....	31
4.1.1.3.	<i>Adsorban Miktarı Etkisi</i> .....	33
4.1.1.4.	<i>Sıcaklık Etkisi</i> .....	37
4.1.1.5.	<i>pH Etkisi</i> .....	39
4.1.2.	Levulinik Asidin Amberlite IRA- 96 ile Adsorpsiyonu .....	42
4.1.2.1.	<i>Optimum Sürenin Belirlenmesi</i> .....	42
4.1.2.2.	<i>Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi</i> .....	44
4.1.2.3.	<i>Adsorban Miktarı Etkisi</i> .....	46
4.1.2.4.	<i>Sıcaklık Etkisi</i> .....	50
4.1.2.5.	<i>pH Etkisi</i> .....	52
4.1.3.	Levulinik Asidin Amberlite IRA- 400 ile Adsorpsiyonu .....	54
4.1.3.1.	<i>Optimum Sürenin Belirlenmesi</i> .....	54
4.1.3.2.	<i>Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi</i> .....	56
4.1.3.3.	<i>Adsorban Miktarı Etkisi</i> .....	58
4.1.3.4.	<i>Sıcaklık Etkisi</i> .....	62
4.1.3.5.	<i>pH Etkisi</i> .....	64
4.1.4.	Levulinik Asidin Amberlite IRA- 958 ile Adsorpsiyonu .....	67
4.1.4.1.	<i>Optimum Sürenin Belirlenmesi</i> .....	67
4.1.4.2.	<i>Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi</i> .....	69
4.1.4.3.	<i>Adsorban Miktarı Etkisi</i> .....	71
4.1.4.4.	<i>Sıcaklık Etkisi</i> .....	75
4.1.4.5.	<i>pH Etkisi</i> .....	77
4.2.	ADSORPSİYON İZOTERMLERİ .....	79
4.2.1.	Metformin HCl'in Amberlite IRA- 67 Adsorpsiyonu İzotermleri.....	80
4.2.2.	Metformin HCl'in Amberlite IRA- 96 Adsorpsiyonu İzotermleri.....	83

4.2.3. Metformin HCl'in Amberlite IRA- 400 Adsorpsiyonu İzotermi.....	87
4.2.4. Metformin HCl'in Amberlite IRA- 958 Adsorpsiyonu İzotermi.....	90
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>94</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>96</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>102</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Adsorpsiyon ve desorpsiyonun şematik gösterimi .....	2
Şekil 2.2: Adsorpsiyon ve desorpsiyon süreçlerinde kütle ve enerji akışı.....	2
Şekil 2.3: Adsorpsiyon ve adsorpsiyon farkı. ....	3
Şekil 2.4: Fiziksel adsorpsiyon-sıcaklık grafiği. ....	5
Şekil 2.5: Kimyasal adsorpsiyon-sıcaklık grafiği. ....	6
Şekil 2.6: Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon farkı.....	6
Şekil 2.7: Giles izoterm sınıflandırması .....	8
Şekil 2.8: Freundlich izoterm grafiği .....	9
Şekil 3.1: İyon değişimi. ....	13
Şekil 3.2: İyon değiştiricilerin sınıflandırılması.....	14
Şekil 3.3: Katyon iyon değiştiricide iyon değişimi. ....	14
Şekil 3.4: Üç genel kuvvetli katyon iyon değiştirici reaksiyonu.....	15
Şekil 3.5: Anyon iyon değiştiricide iyon değişimi. ....	15
Şekil 3.6: Üç genel kuvvetli anyon iyon değiştirici reaksiyonu.....	15
Şekil 3.7: Amberlite IRA-67 kimyasal yapısı. ....	16
Şekil 3.8: Amberlite IRA-96 kimyasal yapısı. ....	18
Şekil 3.9: Amberlite IRA-96 görünüşü. ....	18
Şekil 3.10: Amberlite IRA-400 kimyasal yapısı .....	19
Şekil 3.11: Amberlite IRA-400 görünüşü .....	19
Şekil 3.12: Amberlite IRA-958 kimyasal yapısı .....	20
Şekil 3.13: Amberlite IRA-958 görünüşü. ....	21
Şekil 3.14: Oral diyabetik ilaçların sınıflandırılması. ....	23
Şekil 3.15: Biaguanid çeşitleri ve molekül formülleri. ....	24

Şekil 3.16: Metformin HCl moelük formülü.....	24
Şekil 3.17: Metforminin sentez mekanizması. ....	25
Şekil 3.18: Agilent-8453 UV cihazı.....	26
Şekil 3.19: 1 cm'lik kuvarz küvet.....	26
Şekil 3.20: Metformin HCl konsantrasyonuna bağlı doğrusallık grafiği. ....	27
Şekil 4.1: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunun zamanla değişimi. ....	30
Şekil 4.2: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi. ....	31
Şekil 4.3: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun konsantrasyon absorbands değişimi. ....	32
Şekil 4.4: Başlangıç Metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	33
Şekil 4.5: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişimi .....	34
Şekil 4.6: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorban miktarı değişimi . ....	35
Şekil 4.7: Amberlite IRA-67 reçine miktarı değişiminn adsorpsiyona etkisi. ....	36
Şekil 4.8: Amberlite IRA-67 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	37
Şekil 4.9: Meformin HCl-Amberlite IRA-67 reçinesi ile adsorpsiyonunun sıcaklık-absorbans değişim grafiği.....	38
Şekil 4.10: Amberlite IRA-67 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi.....	39
Şekil 4.11: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun pH-absorbans değişim grafiği .....	40
Şekil 4.12: Amberlite IRA-67 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi.....	41
Şekil 4.13: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği .....	43
Şekil 4.14: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği . ....	44
Şekil 4.15: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun konsantrasyon-absorbans değişim grafiği .....	45
Şekil 4.16: Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi .....	46

<b>Şekil 4.17:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	47
<b>Şekil 4.18:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	48
<b>Şekil 4.19:</b> Amberlite IRA-96 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	49
<b>Şekil 4.20:</b> Amberlite IRA-96 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	50
<b>Şekil 4.21:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun sıcaklık-absorbans değişim grafiği. ....	51
<b>Şekil 4.22:</b> Amberlite IRA-96 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	52
<b>Şekil 4.23:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun pH-absorbans değişim grafiği. ....	53
<b>Şekil 4.24:</b> Amberlite IRA-96 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	54
<b>Şekil 4.25:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği. ....	55
<b>Şekil 4.26:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği. ....	56
<b>Şekil 4.27:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun konsantrasyon-absorbans değişim grafiği. ....	57
<b>Şekil 4.28:</b> Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	58
<b>Şekil 4.29:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	60
<b>Şekil 4.30:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	60
<b>Şekil 4.31:</b> Amberlite IRA-400 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	61
<b>Şekil 4.32:</b> Amberlite IRA-400 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	62
<b>Şekil 4.33:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun sıcaklık-absorbans değişim grafiği. ....	63
<b>Şekil 4.34:</b> Amberlite IRA-400 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	64
<b>Şekil 4.35:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun pH-absorbans değişim grafiği. ....	65
<b>Şekil 4.36:</b> Amberlite IRA-400 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	66

<b>Şekil 4.37:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği. ....	67
<b>Şekil 4.38:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği. ....	69
<b>Şekil 4.39:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun konsantrasyon-absorbans değişim grafiği. ....	70
<b>Şekil 4.40:</b> Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	71
<b>Şekil 4.41:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	72
<b>Şekil 4.42:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorban miktarı değişim grafiği. ....	73
<b>Şekil 4.43:</b> Amberlite IRA-958 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	74
<b>Şekil 4.44:</b> Amberlite IRA-958 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	75
<b>Şekil 4.45:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun sıcaklık-absorbans değişim grafiği. ....	76
<b>Şekil 4.46:</b> Amberlite IRA-958 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	77
<b>Şekil 4.47:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun pH-absorbans değişim grafiği. ....	78
<b>Şekil 4.48:</b> Amberlite IRA-958 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi. ....	79
<b>Şekil 4.49:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi. ....	80
<b>Şekil 4.50:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi. ....	81
<b>Şekil 4.51:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi. ....	82
<b>Şekil 4.52:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi. ....	84
<b>Şekil 4.53:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi. ....	85
<b>Şekil 4.54:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi. ....	86
<b>Şekil 4.55:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi. ....	87

<b>Şekil 4.56:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.....	88
<b>Şekil 4.57:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.....	89
<b>Şekil 4.58:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi.....	90
<b>Şekil 4.59:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.....	91
<b>Şekil 4.60:</b> Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.....	92



## TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
<b>Tablo 2.1:</b> Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar.....	7
<b>Tablo 3.1:</b> Katyon ve anyon değiştirici gruplar.....	16
<b>Tablo 3.2:</b> Amberlite IRA-67' nin özellikleri.....	17
<b>Tablo 3.3:</b> Amberlite IRA- 96' nın özellikleri.....	19
<b>Tablo 3.4:</b> Amberlite IRA-400'ün özellikleri.....	20
<b>Tablo 3.5:</b> Amberlite IRA-958'in özellikleri.....	21
<b>Tablo 3.6:</b> Metformin HCl özellikleri.....	25
<b>Tablo 3.7:</b> Metformin HCl'in 235 nm'de konsantrasyon-absorbans değerleri.....	27
<b>Tablo 4.1:</b> Metformin HCl'in IRA-67 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.....	29
<b>Tablo 4.2:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonunun optimum süre hesaplama verileri.....	30
<b>Tablo 4.3:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 konsantrasyon-absorbans değerleri.....	31
<b>Tablo 4.4:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.....	32
<b>Tablo 4.5:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.....	34
<b>Tablo 4.6:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorban miktarı değişimine ait hesaplama verileri.....	35
<b>Tablo 4.7:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorban miktarı değişimi hesaplama verileri.....	36
<b>Tablo 4.8:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu sıcaklık-absorbans değerleri.....	38
<b>Tablo 4.9:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu sıcaklık etkisi hesaplama verileri.....	39
<b>Tablo 4.10:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu pH ve absorbans değerleri.....	40

<b>Tablo 4.11:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonunda pH etkisi hesaplama verileri.....	41
<b>Tablo 4.12:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.....	42
<b>Tablo 4.13:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda optimum süre hesaplama verileri.....	43
<b>Tablo 4.14:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda konsantrasyon-absorbans değerleri.....	44
<b>Tablo 4.15:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.....	45
<b>Tablo 4.16:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.....	47
<b>Tablo 4.17:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	48
<b>Tablo 4.18:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	49
<b>Tablo 4.19:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu sıcaklık-absorbans değerleri.....	51
<b>Tablo 4.20:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonsıcaklık etkisi hesaplama verileri.....	52
<b>Tablo 4.21:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu pH-absorbans değerleri. ....	53
<b>Tablo 4.22:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu pH etkisi hesaplama verileri.....	54
<b>Tablo 4.23:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.....	55
<b>Tablo 4.24:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu optimum süre hesaplama verileri.....	56
<b>Tablo 4.25:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu konsantrasyon-absorbans değerleri. ....	57
<b>Tablo 4.26:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.....	58
<b>Tablo 4.27:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.....	59

<b>Tablo 4.28:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	61
<b>Tablo 4.29:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	62
<b>Tablo 4.30:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu sıcaklık-absorbans değerleri.....	63
<b>Tablo 4.31:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu pH-absorbans değerleri ....	64
<b>Tablo 4.32:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu sıcaklık etkisi hesaplama verileri.....	65
<b>Tablo 4.33:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu pH etkisi hesaplama verileri.....	66
<b>Tablo 4.34:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri .....	67
<b>Tablo 4.35:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu optimum süre hesaplama verileri.....	68
<b>Tablo 4.36:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu konsantrasyon-absorbans değerleri .....	69
<b>Tablo 4.37:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.....	70
<b>Tablo 4.38:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorban miktarı ve absorbans değerleri .....	72
<b>Tablo 4.39:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	73
<b>Tablo 4.40:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda adsorban miktarı değişiminin hesaplama verileri.....	74
<b>Tablo 4.41:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu sıcaklık-absorbans değerleri .....	76
<b>Tablo 4.42:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu sıcaklık etkisi verileri .....	77
<b>Tablo 4.43:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda pH-absorbans değerleri .....	78
<b>Tablo 4.44:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda pH etkisi hesaplama verileri.....	79

<b>Tablo 4.45:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	80
<b>Tablo 4.46:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	81
<b>Tablo 4.47:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	82
<b>Tablo 4.48:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Lngmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve $R^2$ değerleri.....	82
<b>Tablo 4.49:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	83
<b>Tablo 4.50:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	84
<b>Tablo 4.51:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	85
<b>Tablo 4.52:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve $R^2$ değerleri.....	86
<b>Tablo 4.53:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	87
<b>Tablo 4.54:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	88
<b>Tablo 4.55:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	88
<b>Tablo 4.56:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve $R^2$ değerleri.....	89
<b>Tablo 4.57:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	90
<b>Tablo 4.58:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	91
<b>Tablo 4.59:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-4958 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.....	92
<b>Tablo 4.60:</b> Metformin HCl-Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve $R^2$ değerleri.....	92

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$C_0$	: Başlangıç konsantrasyonu ( $\text{mg L}^{-1}$ )
$C_e$	: Denge konsantrasyonu ( $\text{mg L}^{-1}$ )
$q_e$	: Denge anında adsorplanan madde miktarı ( $\text{mg g}^{-1}$ )
$t$	: Zaman (dak)
$Q_0$	: Langmuir adsorpsiyon kapasitesi ( $\text{mg/g}$ )
$b$	: Langmuir izoterm sabiti
$K_f$	: Freundlich adsorpsiyon kapasitesi ( $\text{L/g}$ )
$n$	: Freundlich izoterm sabiti
$K_t$	: Temkin adsorpsiyon kapasitesi ( $\text{L/g}$ )
$b_t$	: Temkin izoterm sabiti
$^{\circ}\text{C}$	: Celcius
$V$	: Çözelti hacmi (L)
$m$	: Adsorban miktarı (g)
$R$	: İdeal gaz sabiti ( $\text{J/ mol K}$ )
$A_0$	: Başlangıçtaki etken madde çözelti absorbansı
$A_e$	: Dengedeki etken madde çözelti absorbansı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>HCL</b>	: Hidroklorür Asit
<b>UV</b>	: Ultraviyole
<b>Abs</b>	: Absorbans
<b>NaOH</b>	: Sodyum Hidroksit

## ÖZET

### İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELERLE İLAÇ ETKEN MADDE ADSORPSİYONUNUN İNCELENMESİ

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazan KARADUMAN**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Prof. Dr.İsmail İNCİ**

Uluslararası Diyabet Federasyonu, dünya genelinde 382 milyon yetişkinin diyabet hastası olduğunu tahmin etmektedir. Türkiye'de ise bu sayı yaklaşık 7 milyondur. Verilere bakıldığında diyabetin hayatta sık rastladığımız ve her an karşılaşma riskimizin bulunduğu bir hastalık olarak tanımlanması mümkündür. Diyabet tedavisinde en önemli ilaç etken maddelerinin başında metformin HCl gelmektedir. Keşfi 1922 'lere dayanan ve şeker hastalığı tedavisinde etkinliği kanıtlanarak yaklaşık 25 yıldır kullanılan metformin HCl sağlık, ilaç sektörü ve tıp dünyası için önemli bir yere sahiptir. Bu tez çalışmasında ilk olarak metformin HCl çalışma konsantrasyonları ile UV spektrofotometre kullanılarak verdiği absorbans değerleri ile bir doğrusallık çalışması gerçekleştirilmiştir. Ardından iyon değiştirici reçine olarak kullanılan Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400 ve Amberlite IRA-958 ile optimum süre çalışması yapıp sıcaklık, pH, adsorban miktarı ve başlangıç konsantrasyonu gibi parametreler değiştirilerek adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir.

Temmuz 2020, 121. sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Metformin HCl, Adsorpsiyon, Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400, Amberlite IRA-95

## **SUMMARY**

### **INVESTIGATION OF ADSORPTION OF ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENT WITH ION EXCHANGE RESINS**

#### **M.Sc. THESIS**

**Hazan KARADUMAN**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Chemical Engineering**

**Supervisor : Prof. Dr.İsmail İNCİ**

The International Diabetes Federation estimates that 382 million adults worldwide are diabetic. In Turkey, the number is about 7 million. According to the data, it is possible to identify diabetes as a disease that we often encounter in life and that we have the risk of encountering at any time. Metformin HCl is one of the important of active pharmaceutical ingredients in the treatment of diabetes. Metformin HCl was discovered in 1922s and has been used for 25 years. It has an important place of healthcare, pharmaceutical industry and medical. In this thesis study, firstly, a linearity study was carried out with the absorbance values given by using UV spectrophotometer with metformin HCl concentrations. Then, Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400 and Amberlite IRA-958 were used as ion exchange resin. The resins and metformin HCl studied for optimum time of adsorption. And then, the effect on adsorption was studied by changing parameters such as temperature, pH, adsorbent amount and initial concentration. The experimental results to Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models were investigated.

June 2020,121.pages.

**Keywords:** Metformin HCl, Adsorption, Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400, Amberlite IRA-95.

## 1. GİRİŞ

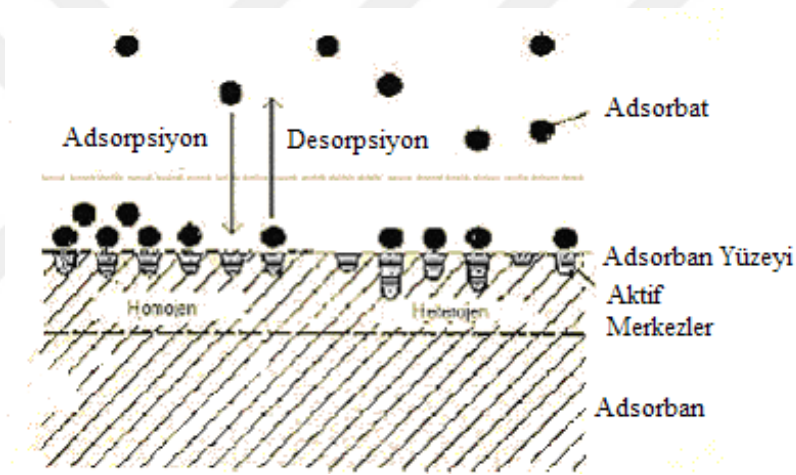
Bitkilerden izole edilen ve kimyacılar tarafından sentez edilen organik bileşikler uzun zamandır kullanılmaktadır. Bu bileşikler arasında ilaç etken maddeleri önemli bir grubu oluşturur [1]. Her yıl önemli ölçüde ilaç üretilmekte olup insanlar ve hayvanlar tarafından kullanılmaktadır. Son yıllarda ilaç endüstrisinin gelişimi ve yüksek miktarlarda ilaç kullanımı bu maddelerin doğada bulunan su ortamlarına bulaşmasına neden olmuştur [2]. Çevrede önceden bilinmeyen, tanınmayan kimyasal kirleticilerden kaynaklanabilecek tehlikeler, uzun süredir birçok bilim adamının ilgisini çekmektedir. Farmasötiklerin kullanımından kaynaklanan mikrokirleticilerin çevredeki varlıkları ve kaderi ile ilgili çalışmalar son 20 yılda yeni teknolojilerin gelişmesiyle birlikte giderek artmıştır. Bu çalışmalarda adsorpsiyon önemli rol oynamaktadır [4]. Adsorpsiyonun genel olarak temel mekanizması sıvı fazdaki bileşiğin katı faza taşındığı ve bu fazda fiziksel ve/veya kimyasal olarak bağlandığı bir kütle transfer prosesi şeklindedir [3]. Adsorpsiyon yöntemi, yüksek verim, kolay uygulama ve düşük maliyet etkileri nedeniyle diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Bunun yanı sıra diğer ayırma yöntemleri fazla miktarda enerji ve çözücü gerektirdiği için çevreye zararlı olabilmektedir [6]. Adsorpsiyonu etkin bir şekilde tasarlamak ve ölçeklendirmek için, adsorpsiyon dengesini ve kinetiğini araştırmak gerekmektedir ve doğru bir şekilde tanımlayabilmek için matematiksel modeller geliştirilmelidir [5].

Bu çalışmada farklı adsorbanlar kullanılarak (iyon değiştirici reçineler), metformin hidroklorür ilaç etken maddesinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Denemelerde adsorbanların dengeye gelme süreleri belirlendikten sonra farklı adsorban miktarları, sıcaklık, pH ve konsantrasyonun adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Adsorpsiyon işlemi sonrasında dengedeki ilaç etken maddesinin miktarı UV spektrofotometresi kullanılarak ölçülmüştür. Bu amaçla UV ile çalışılırken ilaç etken maddesi çalışma konsantrasyonları ile çalışma konsantrasyonunda verdiği absorbans değerleri arasında doğrusallık çalışması yapılmıştır ve korelasyonlar hesaplanmıştır. Elde edilen denge konsantrasyonları kullanılarak ilaç etken maddesinin her bir adsorban için adsorpsiyon izotermi çizilmiş ve bu adsorpsiyon izotermine ait parametreler belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi çizilmiş ve bu izoterm modellerinin deneysel verilerle olan uyumları belirlenmiştir.

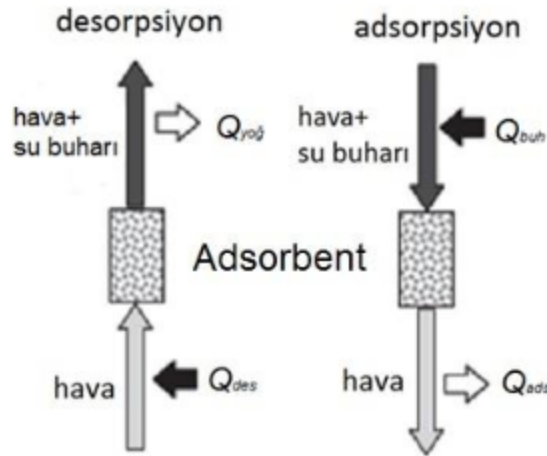
## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ADSORPSİYON

Adsorpsiyon, bir yüzey veya ara kesit üzerinde bir veya birden fazla iyon ya da moleküllerin birikmesi ve derişimlerinin artması olarak tanımlanmaktadır. Bu ara yüzey ve temas yüzeyleri; sıvı-sıvı ,sıvı-katı, sıvı-gaz ve katı-gaz şeklinde olabilmektedir. Adsorpsiyon işleminde yüzeyde adsorplanan maddeye adsorbat, adsorpsiyonun meydana geldiği yüzeye adsorban denir [7]. Ayrıca adsorpsiyon işleminin tersine adsorplanan maddenin ortama geri verilmesine yani yüzeyde derişimin azalması işlemine “desorpsiyon” denir [9].



Şekil 2.1: Adsorpsiyon ve desorpsiyon şematik gösterimi [9].

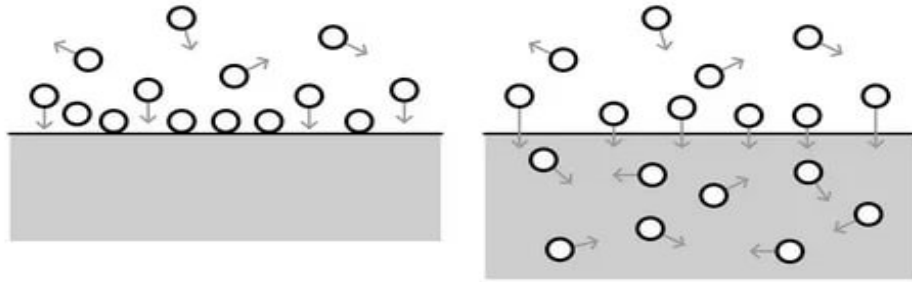


Şekil 2.2 : Adsorpsiyon-desorpsiyon süreçlerinde kütle ve enerji akışı.

Adsorpsiyon toplu fazdan uzaklaştırılmak istenen bileşen molekülleri ile gözenekli katıların yüzeyi arasındaki etkileşimli kuvvetlerin fiziksel çekiminin sonucudur [8].

Adsorpsiyonun çeşitli alanlarda önemli uygulamaları vardır. Katıların gazları adsorpsiyonundan gaz maskeleri yapımında, vakum yapılmasında, gaz tepkimelerinin katalizi gibi endüstriyel uygulamalarda faydalanılmaktadır. Çözeltiden adsorpsiyon ise, şekerin beyazlatılması ve birçok renkli maddenin renklerinin giderilmesinde kullanılmaktadır. Adsorpsiyon, önemli bir analiz yöntemi olan kromatografik analizde de kullanılmaktadır. Çözelti ya da gaz ortamındaki bazı maddelerin seçimli adsorpsiyonu ile ayırma işlemi, saflaştırılması, nitel ve nicel analizi yapılmaktadır [10].

Adsorpsiyon ve absorpsiyon kavramları farklı anlamlara gelmektedir. Adsorpsiyon daha önce de belirtildiği gibi bir katının sınır yüzeyindeki derişim değışmesi olayına denir [11]. Absorpsiyonda ise moleküller katının bünyesine nüfuz eder.



**Şekil 2.3 :** Adsorpsiyon ve absorpsiyonun farkını.

Adsorpsiyon diğer ayırma işlemlerine göre oldukça avantajlıdır. Bu avantajlar şöyle sıralanabilir;

- Yüksek verim
- Kolay uygulanabilirlik
- Düşük maliyet [6]

Adsorpsiyonu Etkilen başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Sıcaklık

- pH
- Derişim veya basınç
- Çalkalama hızı ve süresi
- Molekül büyüklüğü
- Adsorban ve adsorbatın kimyasal ve fiziksel yapısı [12]

Adsorpsiyon yönteminin uygulama alanları da çeşitlilik göstermektedir [39]:

- Aromatiklerden parafin/izoparafınların ayrılması
- Oksijenden azotun ayrıştırılması
- Sudan organik, halojenlerin giderilmesi
- Glükozdan fruktozun ayrılması
- Metandan CO<sub>2</sub> adsorpsiyonu
- Sulardan inorganik kirleticilerin, metallerin ayrılması

## 2.2. ADSORPSİYON TÜRLERİ

### 2.2.1. Fiziksel Adsorpsiyon

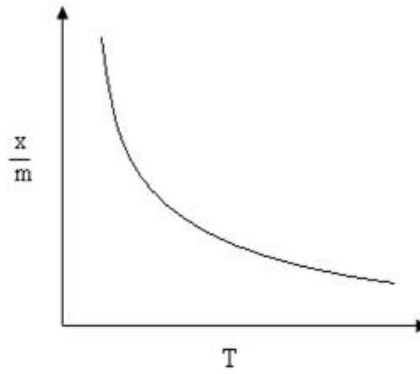
Bu adsorpsiyonda tanecikler katı yüzeyine van der Waals kuvvetleri ile tutunur [8]. Adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır ve termodinamik anlamda tersinirdir. Düşük adsorpsiyon ısısı ile karakterize edilir ve adsorpsiyonun derecesi sıcaklık yükseldikçe azalır [14]. Adsorban ve adsorbat arasında herhangi bir elektron alışverişi veya elektron paylaşımının olmadığı adsorpsiyon çeşididir [15].

Fiziksel adsorpsiyon fizisorpsiyon olarak da isimlendirilir. Fizisorpsiyon entalpisi, ısı sığası bilinen bir numunenin sıcaklığındaki artış ile ölçülebilir ve tipik değerler 20 kJ/mol civarındadır. Bu küçük entalpi değişimi bağ parçalanmasına yol açmak için yetersizdir ve yüzey tarafından biçimsel çarpıtılmaya uğrasa bile, fiziksel olarak adsorplanmış bir molekül

bu nedenle kendi kimliğini korur [16].

Fiziksel adsorpsiyon, tersinir olması ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bir prosestir [12].

Fiziksel adsorpsiyon adsorbatın kaynama notasının altındaki düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Sıcaklık arttıkça fiziksel adsorpsiyon azalır. Aşağıdaki grafikte bu durum özetlenmiştir [20].



Şekil 2.4: Fiziksel adsorpsiyon-sıcaklık grafiği [20].

x = Adsorbat Miktarı

m=Adsorban Miktarı

T = Sıcaklık

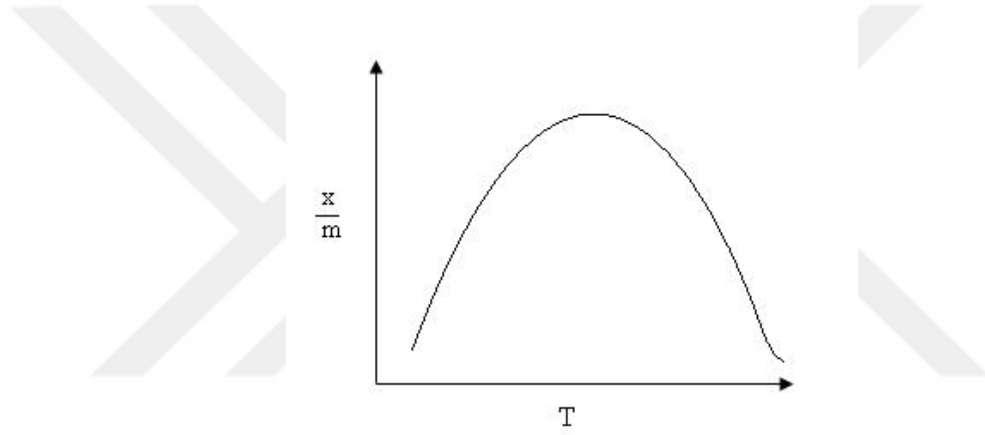
### 2.2.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorban ve adsorbat molekülleri arasındaki kimyasal bağdan kaynaklanan adsorpsiyon, kemisorpsiyon (veya kimyasal adsorpsiyon) olarak bilinir [17]. Kemisorpsiyonda, moleküller veya atomlar genellikle bir kovalent bağ oluşumuyla yüzeye yapışırlar ve substrat yüzeyinde, koordinasyon sayılarını maksimuma çıkaracak yerler bulmaya çalışırlar [19].

Fiziksel adsorpsiyona kıyasla kimyasal adsorpsiyonda kullanılan adsorbanın rejenerasyonu oldukça güçtür ve tersinmezdir [18].

Adsorbanın yüzey alanı adsorpsiyon üzerinde önemli etkiye sahip olduğundan, yüksek gözeneklilik ve küçük partikül boyutu, iyi endüstriyel adsorbanlar için iki önemli gereksinimdir. Etkili bir adsorban ayrıca, aşınma direncine ve iyi kinetik özelliklere yol açan gelişmiş mekanik özelliklere sahip olmalıdır, böylece adsorpsiyon bölgelerini kullanarak adsorbat moleküllerini kolayca adsorbe edebilir [17].

Kimyasal adsorpsiyon, sıcaklık artışıyla önce artar sonra azalır ve yüksek sıcaklıklarda cereyan eder [20].



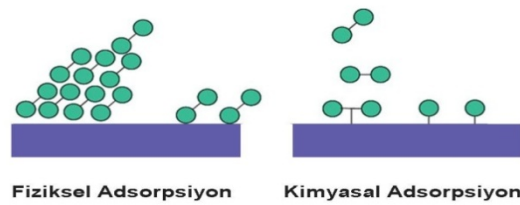
Şekil 2.5: Kimyasal adsorpsiyon-sıcaklık grafiği [20]

$x$  = Adsorbat Miktarı

$m$  = Adsorban Miktarı

$T$  = Sıcaklık

### 2.2.3. Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon Arasındaki Farklar



Şekil 2.6. : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon farklı görseli.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar aşağıdaki tabloda listelenmiştir:

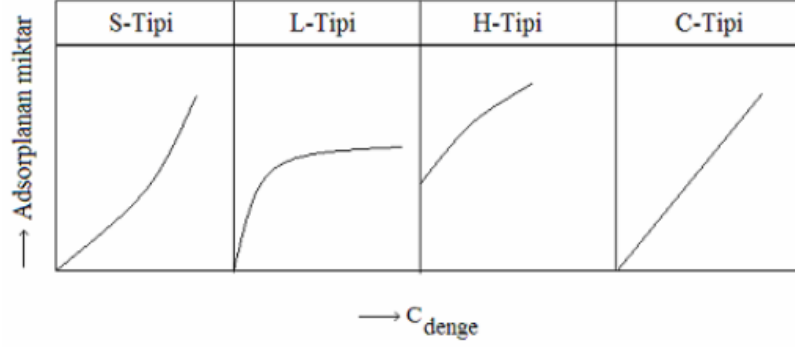
**Tablo 2.1** : Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar [12].

	<b>FİZİSORPSİYON</b>	<b>KEMİSORPSİYON</b>
<b>SICAKLIK ETKİSİ</b>	Düşük sıcaklıklarda gerçekleşir. Sıcaklık yükseldikçe azalır.	Yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Belli bir sıcaklık noktasına kadar sıcaklıkla birlikte artış gösterir.
<b>ADSORPLAYICI-ADSORPLANAN İLİŞKİSİ</b>	Kritik sıcaklıklar altında herhangi bir adsorplayıcı-adsorplanan arasında cereyan eder.	Adsorplayıcı-adsorplanan arasında özel kimyasal ilgi gerektirir. her ikili arasında gerçekleşmez.
<b>ADSORPSİYON ISISI</b>	20 kJ. mol <sup>-1</sup> düzeyindedir.	200 kJ.mol <sup>-1</sup> düzeyindedir.
<b>TERSİNİRLİK</b>	Tersinirdir, desorplanabilir.	Çoğu kez tersinmezdir.
<b>YÜZEY ÖRTÜNMESİ</b>	Tek tabakalı veya çok tabakalı olabilirler.	Tek tabakalıdır.
<b>OLAYIN HIZI VE AKTİFLENME ENERJİSİ</b>	Çok hızlıdır. Sıfıra yakın bir aktiflenme enerjisindedir.	Aktiflenme enerjisinin büyüklüğü olayın hızını belirler.
<b>ETKİN OLAN KUVVETLER</b>	Van der Waals kuvvetleri etkindir.	Kimyasal bağ kuvvetleri etkindir.

#### 2.2.4. Giles Sınıflandırılması

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon işlemlerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılır ve bunlar, adsorbe edilen miktar ile adsorbatın sabit bir sıcaklıktaki aktivitesi arasındaki fonksiyonel bir ilişkiyi temsil eder. Adsorpsiyon izoterminin şekli, adsorpsiyon işleminin mekanizmaları hakkında faydalı bilgiler verir. Adsorpsiyon olaylarının izotermi şekline göre sınıflandırılması Giles tarafından gerçekleştirilmiştir [21].

Bu sınıflandırma 4 şekilde ifade edilmektedir. Bunlar; S-Tipi, L-Tipi, H-Tipi ve C-Tipi 'dir.



**Şekil 2.7 :** Giles izoterm sınıflandırması [22].

S-Tipi Adsorpsiyon İzotermi : Çözücünün kuvvetli bir şekilde adsorplandığı, adsorplanmış tabaka içinde moleküller arası kuvvetli bir etkileşimin varlığında ve adsorplayıcının tek fonksiyonlu olmasında ortaya çıkar [22].

L-Tipi Adsorpsiyon İzotermi : Artan derişimle birlikte, adsorbat moleküllerinin adsorban yüzeyinde boş alanlar bulması zorlaştığından,başlangıç eğimi çözeltideki madde derişimi ile sabit bir azalma gösterir. İzoterm, derişim eğrisine içbükeydir [23].

H-Tipi Adsorpsiyon İzotermi : Ordinat üzerinde bir noktadan başlayıp, adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki kuvvetli ilgiden, özellikle kemisorpsiyondan dolayı ortaya çıkar [22]. Adsorplanan moleküller genellikle büyük birimlerdir [10].

C-Tipi Adsorpsiyon İzotermi : En yüksek adsorpsiyona kadar sabittir. Eğim derişime bağlı değildir [23]. Adsorplanan maddenin, çözücü ile katı faz arasındaki dağılımı sabittir [22]. Bu tip adsorpsiyon çözücsüz adsorpsiyon olarak da anılır. Bu izoterm tipinde çözünen molekülleri, çözücü ve adsorplayıcı üzerinde sabit dağılıma sahiptir. Bu izoterm, çözünen maddenin, karışmayan iki sıvı içerisinde dağılması ile elde edilmektedir [10].

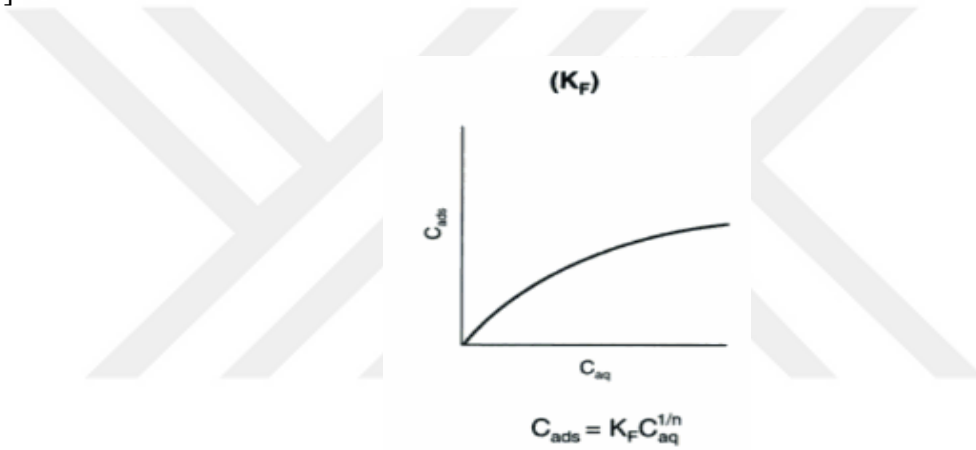
### 2.3. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

Sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı ya da denge derişimi arasındaki bağıntıya "adsorpsiyon izotermi" denir. Adsorpsiyon izotermi, bilinen miktardaki bir adsorban ile farklı derişimlerdeki adsorbat çözeltilerini dengeye ulaştırarak elde edilir. Deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon verilerini değerlendirebilmek için çok sayıda izoterm denklemi türetilmiştir [7].

### 2.3.1. Freundlich İzotermi

Homojen olmayan katı yüzey adsorpsiyonları için Alman fizikokimyacı Herbert Max Finlay Freundlich tarafından, deneysel çalışmalara bağlı olarak türetilmiştir [24].

Freundlich tarafından geliştirilen denklem heterojen yapıdaki adsorban yüzeyinde gerçekleşen fiziksel adsorpsiyon olaylarını açıklamaktadır. Bu denklemle uygunluk gösteren adsorpsiyon sistemlerinde adsorbanın yüzey enerji dağılımı heterojen yapıdadır. Başka bir ifade ile adsorban yüzeyinde adsorplama işlevini yerine getiren bölgelerin her biri farklı adsorplama potansiyeline sahip olup, her bir alanın kendi içerisinde homojen yapıda olduğu kabul edilir [27].



Şekil 2.8 : Freundlich izoterm grafiği [25].

Freundlich modeli adsorban yüzeyinde gerçekleşebilecek olan adsorpsiyon yoğunluğunu belirlemek için kullanılan ampirik bir eşitliktir [26].

Freundlich eşitliği, adsorpsiyon sonrasında adsorplanan moleküllerin adsorban yüzeyinde herhangi bir ayrıma ya da birleşmeye uramadığı kabulü esas alınarak türetilmiştir. Freundlich izoterm denklemi sıvı fazdan adsorpsiyon için aşağıdaki eşitlikle verilmektedir [28].

$$q_e = K_f * C_e^{\frac{1}{n}} \quad (1.1)$$

$q_e$  : Denge halinde birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarı (mg/g)

$C_e$  : Adsorbatın sıvı fazdaki derişimi (mg/L)

$K_f$  ve  $1/n$  : Freundlich izoterm sabitleridir, adsorpsiyon kapasitesi ve yoğunluğu hakkında bilgi verirler.

Freundlich eşitliği lineerleştirilebilir ve aşağıdaki halini alır :

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.2)$$

Yapılan deneysel çalışmalardan faydalanılarak  $\log q_e - \log C_e$  grafiği çizilir. Freundlich sabitleri  $K_f$  ve  $n$  bu grafikten bulunur [29].

Lineerleştirilmiş denklem  $\ln$  'li haliyle de ifade edilebilir :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (1.3)$$

$\ln q_e$ 'ye karşı  $\ln C_e$  değerleri kullanılarak çizilen grafikteki doğru Freundlich modeline uyumunu göstermektedir [30].

### 2.3.1. Langmuir İzotermi

Yüzey kimyası ile ilgili çalışmalarıyla tanınan Amerikalı Irwing Langmuir tarafından 1916 yılında geliştirilmiş olan bir izoterm modelidir [12]. Langmuir izotermi, adsorban yüzeyinin enerji açısından benzer olduğu varsayımıyla, tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılmakta ve maksimum adsorpsiyon kapasitesinin tahmin edilmesini sağlamaktadır [31]. Langmuir izotermi, katı yüzeyinden uzaklaşıldığında moleküller arası (katı, sıvı veya gaz) etkileşim kuvvetleri zayıfladığından adsorplanan tabakanın bir molekül kalınlığında olduğu temeline dayanır. Yüzeye adsorpsiyon hızı, yüzeyden moleküllerin desorpsiyon hızına eşit olduğunda dengeye ulaşılır. Langmuir izotermi tek tabakada adsorpsiyon olduğunu ve yüzeyin homojen olduğunu kabul eden bir izotermidir. Bu homojen yüzeyi denge anına kadar doldurur. Denge anında maksimum adsorplama miktarına ulaşılmış olunur [32].

Langmuir adsorpsiyonundaki varsayımlar şunlardır:

- Adsorban yüzeyinde aynı enerjilere sahip sınırlı sayıda aktif bölgeler bulunduğu varsayımına ve adsorpsiyonun tersinir olduğu yani küçük bir değişikliğin etkisiyle yön değiştirebilme varsayımına dayanmaktadır.

- Adsorpsiyon hızı ise moleküllerin desorpsiyon hızı ile eşit olduğunda denge oluştuğu varsayımına dayanır.
- Langmuir İzotermi adsorpsiyonun tek bir tabakada olduğunu ve yüzeyin homojen olduğunu kabul etmektedir.
- Homojen yüzeyi dengeye ulaştığı anda maksimum adsorplama miktarına ulaşmış olduğu varsayılmaktadır.
- Adsorpsiyon işlemi aynı mekanizmaya göre oluşur ve adsorplanmış kompleksler aynı yapıya sahiptir [33].

Katı-sıvı adsorpsiyon sistemleri için Langmuir izoterm modeli aşağıdaki denklem ile gösterilir [34]:

$$q_e = \frac{Q_0 * b * C_e}{1 + b * C_e} \quad (1.4)$$

$q_e$ : birim miktar adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı (mg/g),

$C_e$ : adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L),

$Q_0$ : adsorbanın tek tabakada adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

$b$ : Langmuir sabitidir.

Langmuir eşitliği lineerleştirilebilir ve aşağıdaki halini alır:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b * Q_0} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (1.5)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0} + \left( \frac{1}{b * Q_0} \right) * \left( \frac{1}{C_e} \right) \quad (1.6)$$

Deneysel verilerden yararlanılarak  $1/q_e - 1/C_e$  veya  $C_e/q_e - C_e$  grafikleri çizilir. Elde edilen grafikler yorumlanarak adsorpsiyon sürecinin Langmuir izotermine uygun olup olmadığı belirlenir [12].

### 2.3.3. Temkin İzotermi

Temkin izotermine göre, tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısındaki azalış, doğrusal bir düzende meydana gelir. Bu da bağlanma enerjisinin homojen olduğunu gösterir [35].

Bu izotermi ifade eden eşitlik aşağıdaki gibidir [36]:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T C_e \quad (1.7)$$

$$q_e = \frac{RT}{bt} \ln K_T + \frac{RT}{bt} \ln C_e \quad (1.8)$$

$$q_e = B_T \ln K_T + B_T \ln C_e \quad (1.9)$$

Yukarıdaki denklemlerde ;

$q_e$ : Denge anında birim ağırlıktaki adsorbanın adsorpladığı madde miktarı (mg/g)

R: İdeal gaz sabiti (8,314 J/mol K)

$b_t$  : Temkin izoterm sabiti (J/mol)

T: Ortam sıcaklığı (K)

$K_T$  : Denge bağlanma sabitidir. (L/g)

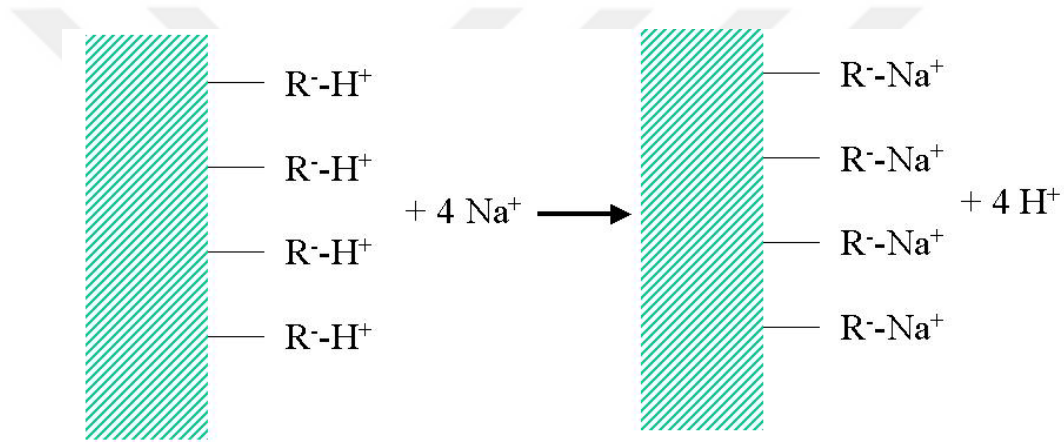
$B_T$  :  $RT/b$  olarak ifade edilir.

Deneysel verilerden yararlanılarak  $q_e - \ln C_e$  grafiği çizilir ve bu grafikten yararlanılarak  $K_T$  ve  $b_t$  izoterm sabitleri hesaplanır.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

#### 3.1. İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELER

İyon değişimi, adsorpsiyon mekanizması elektrostatik olan bir adsorpsiyon türüdür, değişim adsorpsiyonu olarak da isimlendirilir. Katı maddeye bağlanmış bir iyon çözeltide bulunan bir iyonun değiştirildiği tersinir bir kimyasal reaksiyondur. Çözeltide bulunan artı veya eksi yüklü iyonların o sıvıdan alınarak, tutulan iyon karşılık ekivalent miktarda katı maddeye bağlı olan diğer iyonların sıvıya verilmesi esasına dayanan bir olaydır [38].



Şekil 3.1 : İyon değişimi [38].

İyon değiştirici reçineler atomik boyutlarda arıtma özelliklerinden dolayı suların ileri saflıkta arıtılmalarında büyük önem taşımaktadırlar. Ayrıca iyon değiştirici reçinelerin günümüzde çok ve çeşitli kullanım alanları vardır. Endüstrinin çeşitli dalları, kimya, eczacılık, tıp, biyoloji ve özellikle nükleer sahada çok önemli rol oynarlar [37].

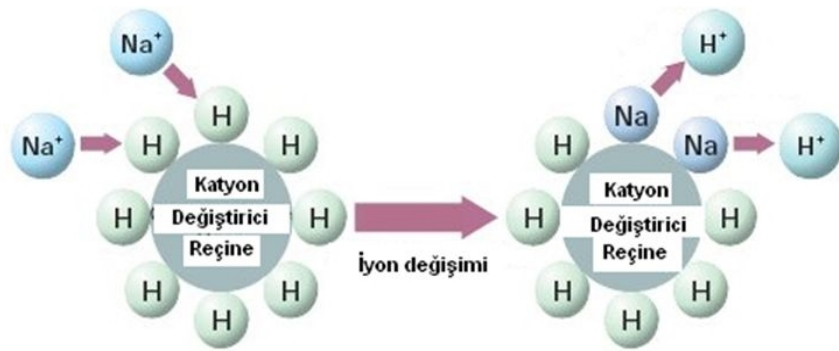
İyon değiştirici reçineler, iyonlaşmayan ya da iyonlaşabilen grupları içeren ağ yapısında yüksek derecede polimerize hidrokarbonlardır. Reçine iskeletine, bağlı iyonik grup, iyon değiştiricinin tabiatını belirler. Reçineye bazik fonksiyonel gruplar katıldığında anyon değiştiriciler meydana gelir. Reçine pozitif yüklerle yüklenir.

Şekil 3.2 : İyon değiştiricilerin sınıflandırılması.

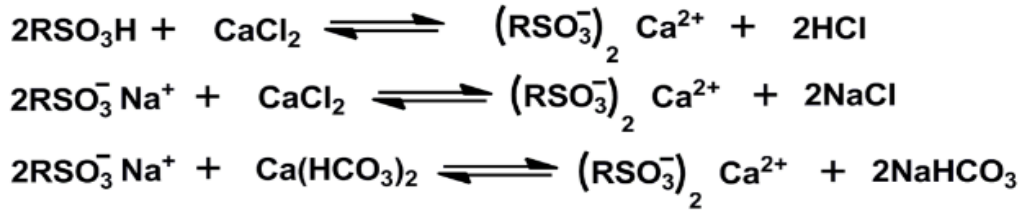
### 3.1.1. Katyon İyon Değiştiriciler

Katyon iyon değiştirici reçineler, kovalent olarak bağlanmış negatif yüklü fonksiyonel grupları ve pozitif yüklü iyonları değiştirir [42].

Kuvvetli asidik iyon değiştiriciler, sülfonik asit fonksiyonel gruplarına sahiptirler. Katyon iyon değiştiriciler sodyum iyon değiştiriciler ve hidrojen iyon değiştiriciler olarak sınıflandırılabilir [43].



Şekil 3.3: Katyon iyon değiştiricide iyon değişimi [41].

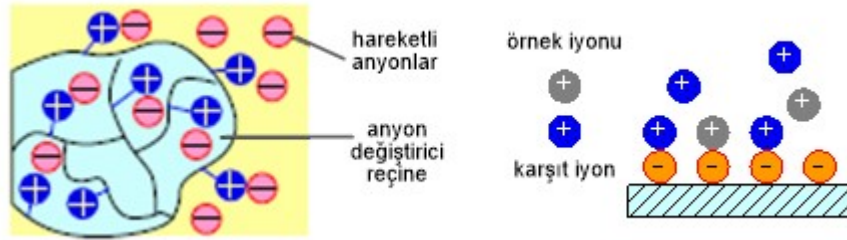


Şekil 3.4: Üç genel kuvvetli kation değiştirici reaksiyonu [43].

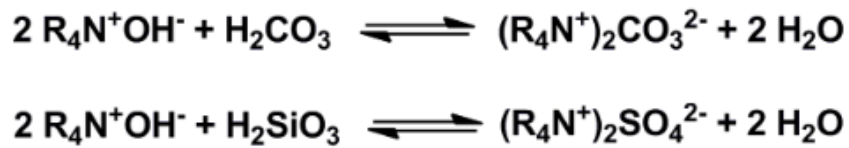
### 3.1.2. Anyon İyon Değiştiriciler

Anyon değiştirici reĉineler pozitif yüklü fonksiyonel grup içerirler ve negatif yüklü iyonlarla iyon değişimi gerçekleşir [42].

Kuvvetli bazik anyon değiştiriciler sulu çözeltilerdeki  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  gibi kuvvetli asit anyonlarını ve  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{SiO}_3^{2-}$  gibi zayıf asit anyonlarını bünyelerinde tutarlar [43].



Şekil 3.5: Anyon iyon değiştiricide iyon değişimi [44].



Şekil 3.6 :Üç genel kuvvetli anyon değiştirici reaksiyonu [43].

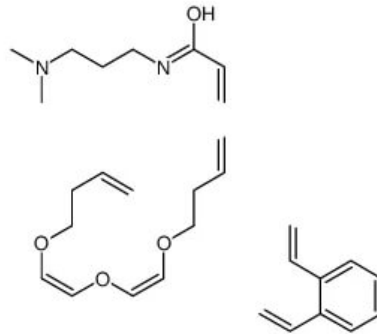
Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan değiştirici gruplar görülmektedir:

**Tablo 3.1:** Katyon ve anyon değiştirici gruplar.

Katyon Değiştiriciler	Anyon Değiştiriciler
- SO <sub>3</sub> H	- NH <sub>2</sub>
- COOH	- NHR
- OH	- NR <sub>2</sub>
- SH	- N <sup>+</sup> R <sub>3</sub>

- Anyon değiştiricilerin kimyasal stabiliteleri, katyon değiştiricilerden daha azdır. Yüksek sıcaklıklarda aminler hemen hidrojenlenir ve iyon değiştiricinin kapasitesini azaltır. Çözeltinin çözünebilen organik maddelerle buharlaşmasına neden olur.
- İyon değiştiriciler yüksek oranda polar gruplar ihtiva ettiklerinden reçineler kuvvetli hidrofilik olup su çekerler. Şişip büzülürler ve higroskopik jel gibi hareket ederler.
- Hafif gözenekli katılar olan iyon değiştirici reçineler; küre, boncuk ya da levhalar halinde hazırlanırlar.
- Bunlar endüstride sulardaki Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> ve Mn<sup>2+</sup> iyonlarının uzaklaştırılması (suyun yumuşatılması) işleminde kullanılırlar [40].

### 3.1.3. Amberlite IRA-67

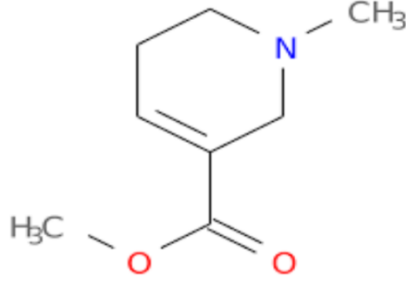
**Şekil 3.7:** Amberlite IRA-67 kimyasal yapısı.

Amberlite IRA-67, üçüncül amin fonksiyonel grubuna sahip olan zayıf bazik jel tipi anyon değiştiricidir [45]. Amberlite IRA-67 yüksek kapasitede adsorplamaya sahip bir reğinedir. Bu özelliğinden dolayı tercih edilir ve çeşitli kullanım alanlarına sahiptir. pH 10'un altında nötr ve asidik aminoasitlerin ayrılmasında ve asidik doğal ürünlerin izolasyonunda kullanılmaktadır [46]. Ayrıca endüstriyel su arıtımında, yüksek stabilite ve organik kirlenme direnci arasında iyi bir denge sunar. Zayıf baz anyon reçineleri, bir demineralizasyon sisteminin genel verimliliğini ve verimini arttırmak için güçlü baz anyon reçineleri ile kullanım için çok uygundur. Bunun yanı sıra Amberlite IRA-67 yüksek fiziksel stabiliteye ve organik kirlenme direncine sahiptir [47].

**Tablo 3.2:** Amberlite IRA-67 'nin özellikleri [46,48,49].

<b>Molekül Formülü</b>	$C_{30}H_{44}N_2O_4$
<b>Fonksiyonel Grup</b>	Tersiyer amin
<b>Renk</b>	Beyaz ile açık sarı
<b>Görünüm</b>	Küresel boncuklu
<b>Molekül Ağırlığı</b>	496,68100
<b>Alevlenme Noktası</b>	86.7 °C
<b>Kaynama Noktası</b>	263.4 °C (1atm)
<b>Boyut (mm)</b>	0.50-075

### 3.1.4. Amberlite IRA- 96



Şekil 3.8: Amberlite IRA- 96 kimyasal yapısı [52].

Amberlite IRA-96 zayıf baz anyon değişim reçinesidir. Bu reçinenin yüksek gözeneklilik derecesi bulunmaktadır. Bu durum da büyük organik moleküllerin verimli adsorpsiyonunu ve rejenerasyon sırasında desorpsiyonunu sağlar, böylece organik kirlenmeye karşı mükemmel koruma sağlamaktadır [50,51].

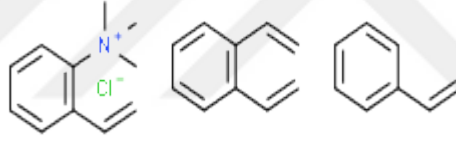


Şekil 3.9: Amberlite IRA-96 görünüşü.

**Tablo 3.3:** Amberlite IRA-96 'nın önemli özellikleri [50,51].

<b>Matris Yapı</b>	Stiren divinil benzen kopolimer
<b>Fonksiyonel Grup</b>	Tersiyer amin
<b>Renk</b>	Amber,opak
<b>Görünüm</b>	Küresel boncuklu
<b>Boyut (mm)</b>	0.55-075

### 3.1.5. Amberlite IRA-400

**Şekil 3.10:** Amberlite IRA- 400 kimyasal yapısı [55].

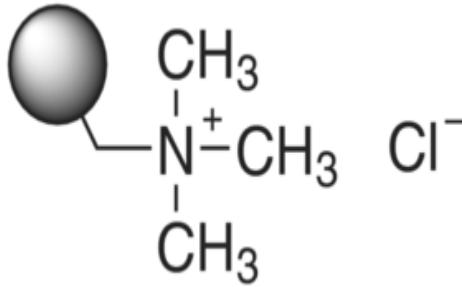
Amberlite IRA-400, makro gözeneklere sahip güçlü bazik anyon değişim reçinesidir. Yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğundan çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Örneğin; organik madde içermeyen suların arıtılmasında, TLC, kağıt ve LPL kromatografisi için ayırma ortamlarında kullanılmaktadır [53].

**Şekil 3.11 :** Amberlite IRA-400 görünüşü.

**Tablo 3.4 :** Amberlite IRA-400 'ün özellikleri [53,55,56].

<b>Molekül Formülü</b>	C <sub>29</sub> H <sub>34</sub> ClN
<b>Fonksiyonel Grup</b>	Kuaterner amonyum
<b>Renk</b>	Sarı, turuncu
<b>Görünüm</b>	Boncuklu, granüllü
<b>Molekül Ağırlığı</b>	432.03996
<b>Ph Aralığı</b>	0-14
<b>Matris Yapı</b>	Stiren divinil benzen kopolimer
<b>Boyut (mm)</b>	0.60-070

### 3.1.6. Amberlite IRA-958

**Şekil 3.12 :** Amberlite IRA- 958 kimyasal yapısı [58].

Amberlite IRA-958, kuvvetli bazik anyon değişim reçinesidir. Akrilik polimer yapısı vardır ve bu durum rejenerasyon sırasında organiklerin desorpsiyonuna katkıda bulunur. Ayrıca bu reçinenin organik maddenin yüzey sularından adsorpsiyonu için organik temizleyici olarak yararı da bulunmaktadır [57].



**Şekil 3.13** : Amberlite IRA-958 görünüşü.

**Tablo 3.5:** Amberlite IRA-958 'in özellikleri [57].

<b>Matris Yapı</b>	Çapraz bağlı akrilik kopolimer
<b>Fonksiyonel Grup</b>	Kuarter amonyum
<b>Renk</b>	Beyaz, opak
<b>Görünüm</b>	Küresel boncuklar
<b>pH Aralığı</b>	0-14
<b>Boyut (mm)</b>	0.63-0.85

### 3.2. İLAÇ

İlaç, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından "Fizyolojik sistemleri ve patolojik durumları alanın yararı için değiştirmek veya incelemek amacıyla kullanılan bir maddedir." şeklinde tanımlanmıştır.

İlaçların çeşitli işlevleri bulunmaktadır. Bunlar;

- Vücut fonksiyonları ve zihinsel fonksiyonlar üzerinde etki oluştururlar.

- İnsan vücudunda üretilen veya dışarıdan alınması gereken ve eksikliği sonucu hastalık oluşturan aktif maddeleri yerine koyarlar.
- Vücuda girerek hastalık yapan patojen mikrop, parazit veya bazı zararlı maddeleri dışarı atar veya yok edilmelerini sağlarlar [59].

İlaçların genel olarak sınıflandırılmasında farmakolojik özellikleri, kimyasal yapıları, hedef sistemler, etki ettiği bölge etkili olmaktadır [60].

### 3.2.1. İlaçların Sınıflandırılması

İlaçların fizyolojik olarak sınıflandırılması aşağıdaki gibi yapılır [59]:

#### A. Merkezi Sinir Sistemini Etkileyen İlaçlar

1. Anestezik İlaçlar
2. Hipnotif ve Sedatif İlaçlar
3. Aneljezik İlaçlar

#### B. Kalp ve Damar Sistemini Etkileyen İlaçlar

#### C. Sindirim Sistemini ve Metabolizmayı Etkileyen İlaçlar

#### D. Solunum Sistemini Etkileyen İlaçlar

#### E. Kemoterapötik Etki Gösteren İlaçlar

#### F. Vitaminler ve Hormonlar

#### 3.2.1.1. Sindirim Sistemi ve Metabolizmayı Etkileyen İlaçlar

Sindirim sistemi, vücuda alınan besin maddelerinin parçalanmasını, sindirilmesini, emilimini ve emilime uğramayanların atılmasını sağlar. Sindirime çeşitli enzimler ve hidroklorik asit (HCl) yardımcı olur. Sindirime yardımcı enzimlerin ve HCl eksikliğinde sindirim bozuklukları oluşur ve bu durum metabolizmayı etkiler [61].

Sindirim ve metabolizmaya etki eden ilaçların alt kategorisinde diyabet ilaçları incelenmektedir.

Diyabet, insan vücudunda insülin yokluğu, eksikliği sonucu ortaya çıkan karbohidrat, yağ ve protein metabolizmasında bozukluklar ile seyreden kronik bir metabolizma hastalığıdır. Zamanla oluşturduğu komplikasyonlar nedeni ile önemli bir hastalıktır [62].

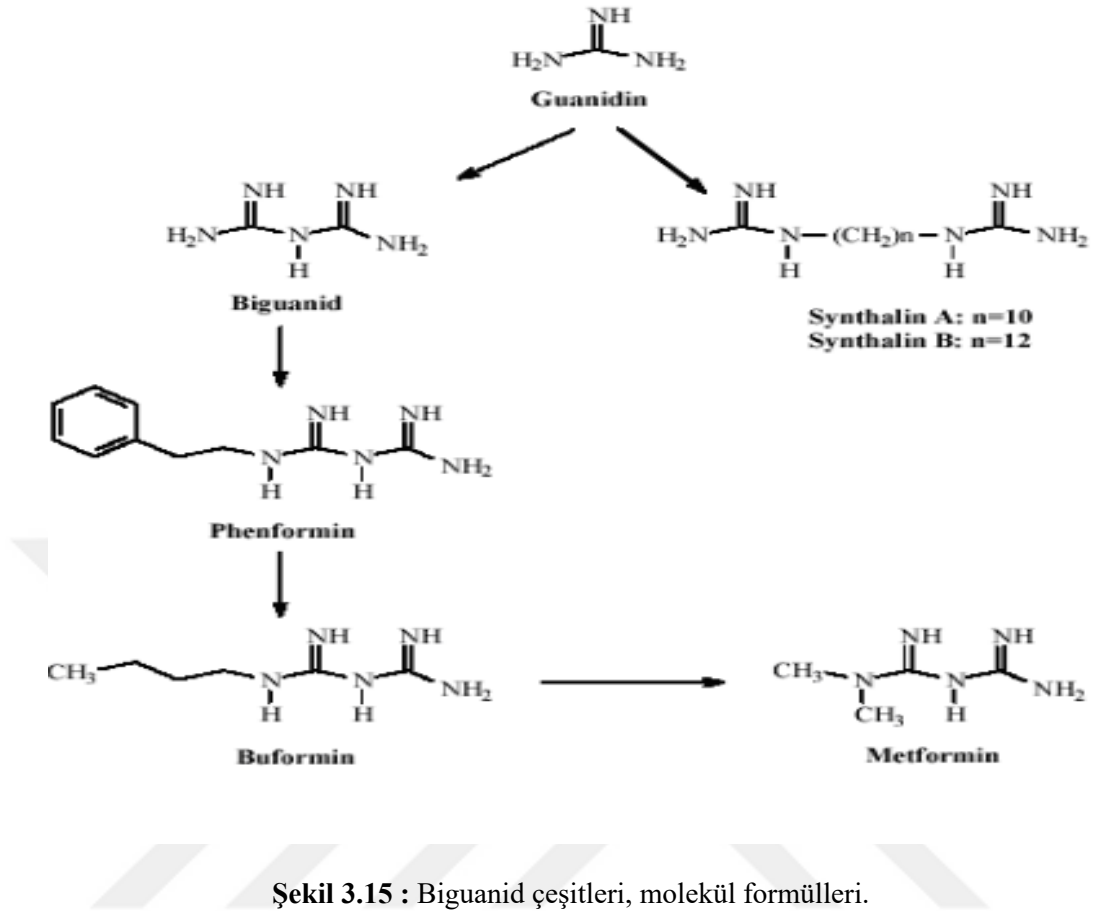
Oral diyabetik ilaçlar etki mekanizmalarına göre kendi içinde 4 alt grupta incelenebilir [63]:



**Şekil 3.14** : Oral diyabetik ilaçların sınıflandırılması.

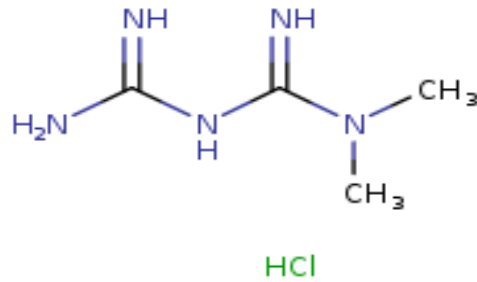
### 3.3. BİGUANİDLER

Biguanidler, guanid türevleridir. Guanidin hayvanlarda kanda glikoz seviyesini düşürdüğü 1918'de bulunmuştur. Ancak diyabet için geliştirilen Sintalin A ve Sintalin B'nin uzun süreli kullanımında böbrek ve karaciğer hasarına yol açması nedeniyle kullanımına son verilmiştir. Tip 2 diyabetli hastaların tedavisinde 1950'li yıllarda, antidiyabetik ajan olarak 3 biguanid türevi kullanılmıştır. Bunlar; Fenformin, Buformin ve Metformin'dir. Fenformin ve Buformin kullanımının vücutta laktik asidoza( vücutun çok fazla laktik asit üretmesi ve onu yeterince hızlı metabolize edilmemesi durumudur.) sebep olmasından dolayı kullanımları azalarak durmuştur [62].



Şekil 3.15 : Biguanid çeşitleri, molekül formülleri.

### 3.3.1. Metformin HCL



Şekil 3.16 : Metformin HCl molekül formülü [67].

1922 yılında Emil Werner ve James Bell tarafından keşfedilen Metformin, 35 yıl boyunca araştırma amaçlı kullanılmıştır. 1950 yılında Filipinlerde Eusebio Y. Garcia tarafından influenza tedavisi için kullanılırken ilacın kan şekeri düşürücü etkisi gözlemlenmiştir. Sonrasında Fransa'da Dr. Jean Sterne 1957 yılındaki laboratuvar çalışmalarında şeker düşürücü etkisini araştırmış ve sonrasında ilk defa diyabet tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır. İlaça 1958'de İngiltere'de, 1972'de Kanada'da izin verilmiş ve 1994 yılında

FDA( Amerika İlaç Düzenleme Dairesi) izin vermiş, 1995 yılından itibaren ABD ve tüm dünyada yaygın olarak diyabet tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır [64].

Metforminin sentezi ekimolar miktarda dimetilamin ve 2-siyanoguanidinin 130-150 °C sıcaklıkta, 2 saat boyunca reaksiyonuyla elde edilir. [69]



Şekil 3.17 : Metforminin sentez mekanizması [65].

Sonrasında eşdeğer miktarda hidrojen klorür karışımıyla buluşturularak Metformin HCl karışımında çökerek yüksek verimle elde edilir [64].

Tablo 3.6 'da Metformin HCl 'e ilişkin özellikler sunulmuştur [65,66] :

**Tablo 3.6 : Metformin HCl 'in özellikleri.**

<b>Formül</b>	C <sub>4</sub> H <sub>11</sub> N <sub>5</sub> HCl
<b>Mol Ağırlığı (g/mol)</b>	165.63
<b>Erime Noktası</b>	223-226 °C
<b>Kimyasal İsimlendirilmesi</b>	N,N dimetilimidodikarbonimidik diamid hidroklorür (1:1)
<b>Renk</b>	Beyaz
<b>Koku</b>	Kokusuz
<b>Görünüm</b>	Kristal toz
<b>pKa</b>	12.4
<b>pH</b>	6.68 (%1'lik sulu çözeltide)

Beyaz renkli, molekül ağırlığı 165,63 g/mol olan bir bileşiktir. Suda tamamen çözünebilirken etanolde az çözünür. Aseton, eter ve kloroformda neredeyse hiç çözünmez [70].

Metformin HCl, Tip2 diyabet tedavisinde kullanılan oral hipoglisemik bir ajandır. Metformin, insülin duyarlılığını arttırarak ve glikozun bağırsak emilimini azaltarak glisemik kontrolü sağlar [68]. İştahı baskılamasından dolayı kilo kaybına neden olmaktadır ve uzun süre

kullanımlarında B12 vitamini eksikliğine yol açmaktadır. Aynı zamanda Metformin HCl plazma proteinlerine bağlanmaz ve karaciğerde metabolize olmaz, emilen kısmı idrarla atılır [71].

### 3.3.1.1. Metformin HCl Adsorpsiyonunda Kullanılan UV Metod

Adsorpsiyon denemelerine başlamadan önce uygun adsorban/adsorbat oranının bulunabilmesi için ön denemeler yapılmıştır.

Yapılan tüm çalışmalar Agilent-8453 marka UV cihazında gerçekleştirilmiştir. Absorbans okumaları için 1 cm'lik kuvarz küvet kullanılmıştır. Ölçümler Metformin Hidroklorür için uygun olan 235 nm'de yapılmıştır.



Şekil 3.18 : Agilent 8453 UV cihazı.



Şekil 3.19 : 1 cm'lik kuvarz küvet.

## 3.4. DENEYSEL YÖNTEM

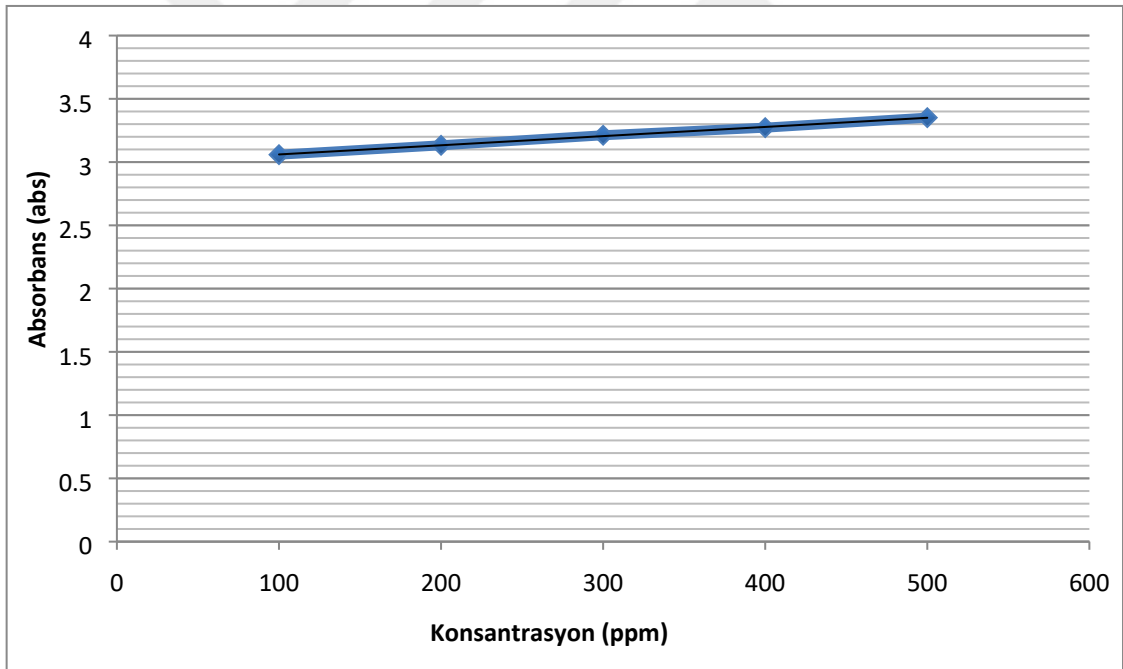
### 3.4.1. Metformin HCl için Doğrusallık Çalışması

İlk çalışma olarak 235 nm dalga boyunda farklı konsantrasyonlar kullanılarak doğrusallık çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı absorbans- konsantrasyon arasındaki lineariteyi hesaplamaktır. Çalışma sonunda, amaçlanan çalışma konsantrasyon aralıklarında doğrusallığın ispatı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, Metformin Hidroklorür'ün su ile 100 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm'deki çözeltileri hazırlanmıştır. Blank olarak su kullanılarak 235 nm de okumalar gerçekleştirilerek absorbans değerleri elde edilmiştir.

**Tablo 3.7 :** Metformin HCL in 235 nm'de konsantrasyon ve absorbans değerleri.

Konsantrasyon(ppm)	Absorbans (abs)
100	3.0586
200	3.1326
300	3.2120
400	3.2721
500	3.3512

**Şekil 3.20 :** Metformin HCL konsantrasyonuna bağlı doğrusallık grafiği.

## 4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında metformin hidroklorürün sulu çözeltilerinden Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400 ve Amberlite IRA-958 reçineleri kullanılarak adsorpsiyon yöntemiyle ayrılması incelenmiştir.

### 4.1. ADSORPSİYON ÇALIŞMALARI

Adsorpsiyon denemelerine metformin hidroklorür için yaptığımız doğrusallık denemesinin ışığında 500 ppm konsantrasyonu ile çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Çalışmalar UV spektrofotometrede 235 nm dalga boyunda 1cm'lik kuvarz küvetlerle yapılmıştır. İlk olarak Amberlite IRA-67, Amberlite IRA- 96, Amberlite IRA-400, Amberlite IRA 958 kullanılarak 500 ppm konsantrasyonda hazırlanan metformin hidroklorür sulu çözeltisinin dengeye gelme, optimum süre çalışmaları yapılmıştır. Ardından başlangıç konsantrasyonları, sıcaklık, pH, adsorban miktarı parametreleri değiştirilerek adsorpsiyon üzerindeki etkiler incelenmiştir.

#### 4.1.1. Metformin Hidroklorürün Amberlite IRA-67 ile Adsorpsiyonu

##### 4.1.1.1. Optimum Sürenin Belirlenmesi

Metformin HCl'in dengeye gelme süresini belirlemek için optimum süre çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için 500 ppm konsantrasyonunda metformin hidroklorürün sulu çözeltilerinden 8 adet hazırlanmıştır ve bu hazırlanan çözeltilerin her birinin içine 0.05 gram Amberlite IRA-67 reçinesinden hassas terazide tartılarak ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 25 °C'de 990 rpm'de manyetik karıştırıcıya konarak karışması sağlanmıştır. 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240. dakikalarda örnekler alınarak 0.45 µm'lik filtreden geçirilerek süzülmüştür. Ardından absorbanları UV spektrofotometrede kör çözelti su kullanılarak 235 nm dalga boyunda okutularak kaydedilmiştir.

Sulu fazda kalan metformin HCl miktarı (1.1) ve adsorpsiyon kapasitesi (1.2) nolu formülle hesaplanmıştır.

$$\frac{C_o}{C_e} = \frac{A_o}{A_e} \quad (1.1)$$

$C_0$  : Başlangıçtaki metformin hidroklorür çözelti konsantrasyonu ( mg/L)

$C_e$  : Dengedeki metformin hidroklorür çözelti konsantrasyonu ( mg/L)

$A_0$  : Başlangıçtaki metformin hidroklorür çözelti absorbansı (235 nm'de)

$A_e$  : Dengedeki metformin hidroklorür çözelti absorbansı (235 nm'de)

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (1.2)$$

$Q (q_e)$  : Adsorpsiyon kapasitesi ( mg metformin HCl / g adsorban)

$C_0$  : Başlangıçtaki metformin HCl çözelti konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$  : Denedeki metformin HCl çözelti konsantrasyonu (mg/L)

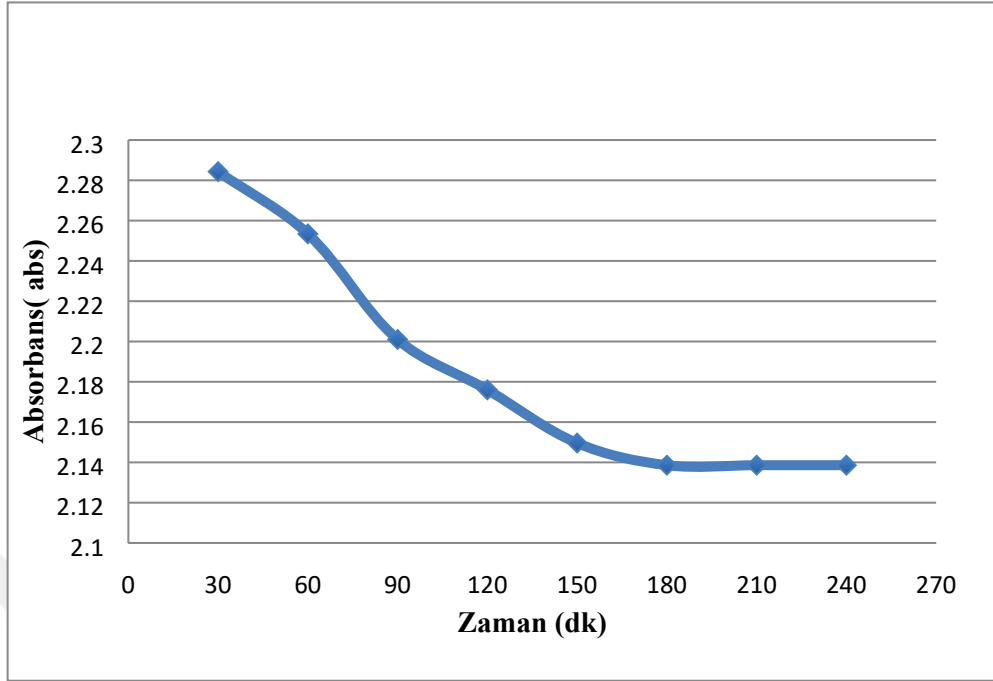
$V$  : Çözelti hacmi (L)

$m$  : Adsorban miktarı (g)

Metformin HCl' in optimum süre çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.1** :Meformin HCl' in Amberlite IRA-67 adsorbsiyonunda zaman-absorbans değerleri.

t (dk)	Absorbans (abs)
30	2.2843
60	2.2534
90	2.2010
120	2.1760
150	2.1496
180	2.1386
210	2.1386
240	2.1386

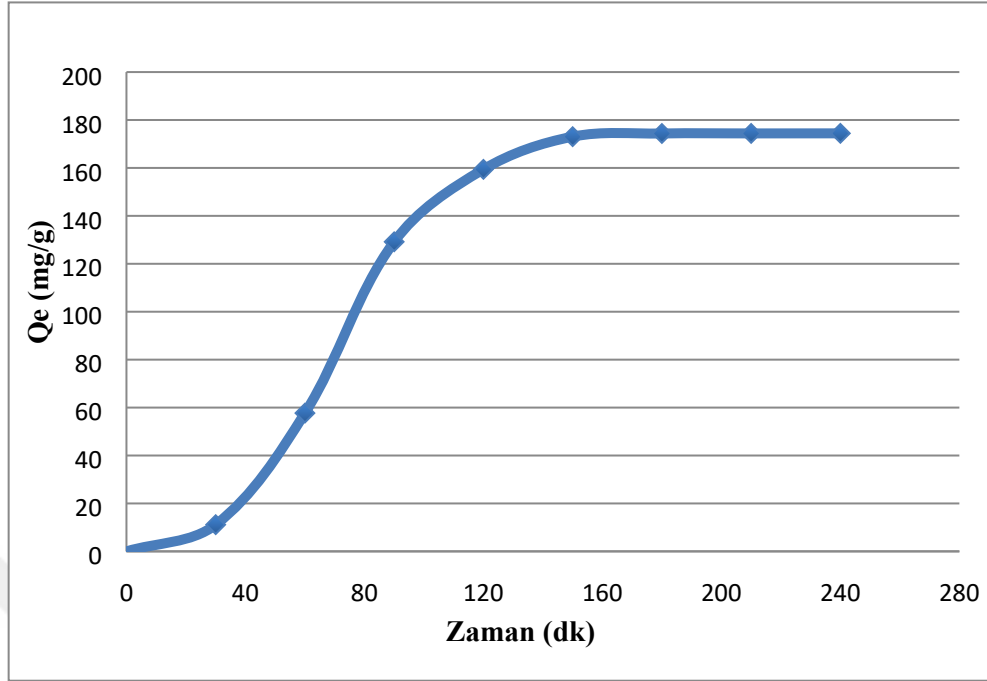


Şekil 4.1: Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesine ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunun optimum süre çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.2 'deki gibidir.

Tablo 4.2 : Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonunun optimum süre hesaplama verileri

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
30	2.28430	340.82	3.3512	500	159.182
60	2.25340	336.21	3.3512	500	163.792
90	2.20100	328.39	3.3512	500	171.610
120	2.17600	324.66	3.3512	500	175.340
150	2.14960	320.72	3.3512	500	179.279
180	2.13860	319.08	3.3512	500	180.920
210	2.13860	319.08	3.3512	500	180.920
240	2.13860	319.08	3.3512	500	180.920



Şekil 4.2 : Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi.

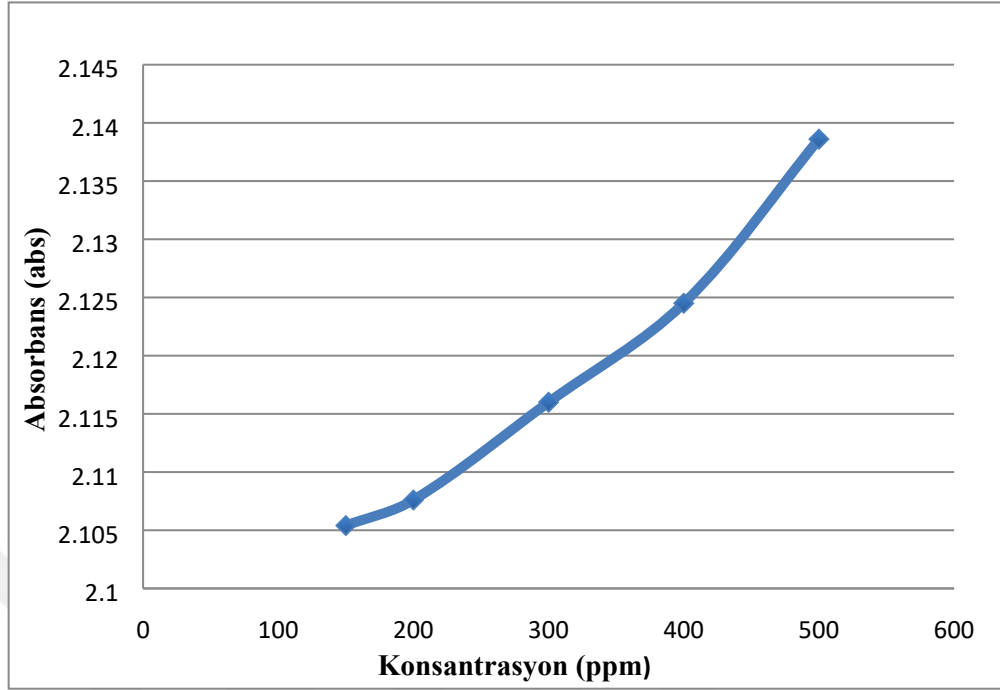
#### 4.1.1.2. Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi

Metformin HCl'in başlangıç konsantrasyonunun değişimini incelemek için 150 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.05 g Amberlite IRA-67 tartılarak ilave edilmiştir ve 25 °C'de optimum süre çalışmalarında elde edilen bilgiye göre 180 dk adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in başlangıç konsantrasyonu çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.3: Metformin HCl -Amberlite IRA-67 konsantrasyon absorbands değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (abs)
150	2.1054
200	2.1076
300	2.1160
400	2.1245
500	2.1386

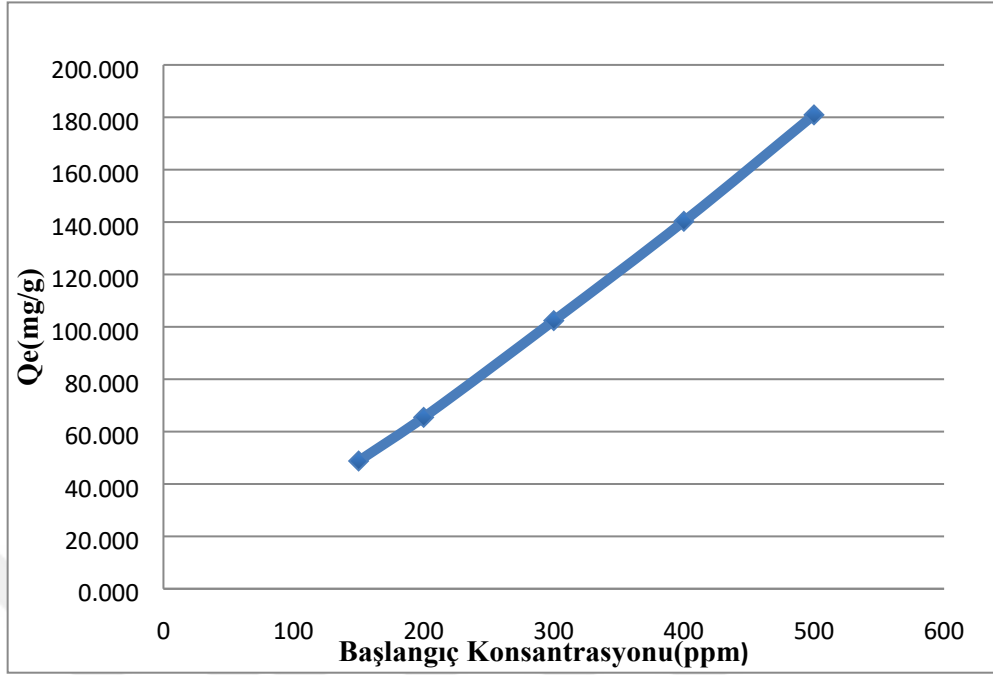


**Şekil 4.3:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesine ile adsorpsiyonunun konsantrasyon absorbans değişimi

Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunun başlangıç konsantrasyonu değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.4'deki gibidir.

**Tablo 4.4:** Metformin HCl-Amberlite IRA-67 başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
180	2.1054	101.22	3.1200	150	48.779
180	2.1076	134.56	3.1326	200	65.441
180	2.1160	197.63	3.2120	300	102.366
180	2.1245	259.71	3.2721	400	140.289
180	2.1386	319.08	3.3512	500	180.920



**Şekil 4.4:** Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişimin adsorpsiyona etkisi.

Tablo 4.4 ve metformin HCl- Amberlite IRA-67 reçinesine ait başlangıç konsantrasyonu-adsorpsiyon kapasitesi grafiğinden anlaşılacağı üzere başlangıç metformin HCl konsantrasyonu arttıkça adsorbe olan metformin HCl miktarının arttığı ,böylelikle adsorpsiyon kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### **4.1.1.3. Adsorban Miktarının Etkisi**

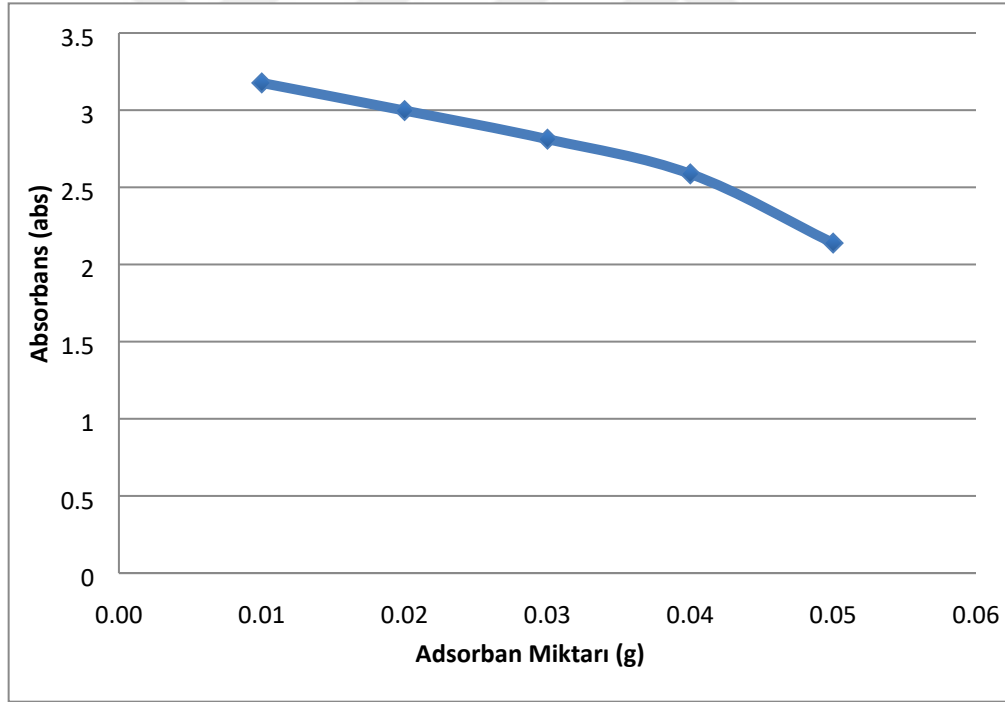
Adsorban miktarının metformin HCl- Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonundaki etkisini araştırmak için 500 ppm konsantrasyonunda metforminin sulu çözeltisinden 5 adet hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g ,0.04 g ve 0.05 g Amberlite IRA-67 reçinesinden tartılarak eklenmiştir. Numunelerin 25 °C'de ve optimum süre olan 180 dk'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

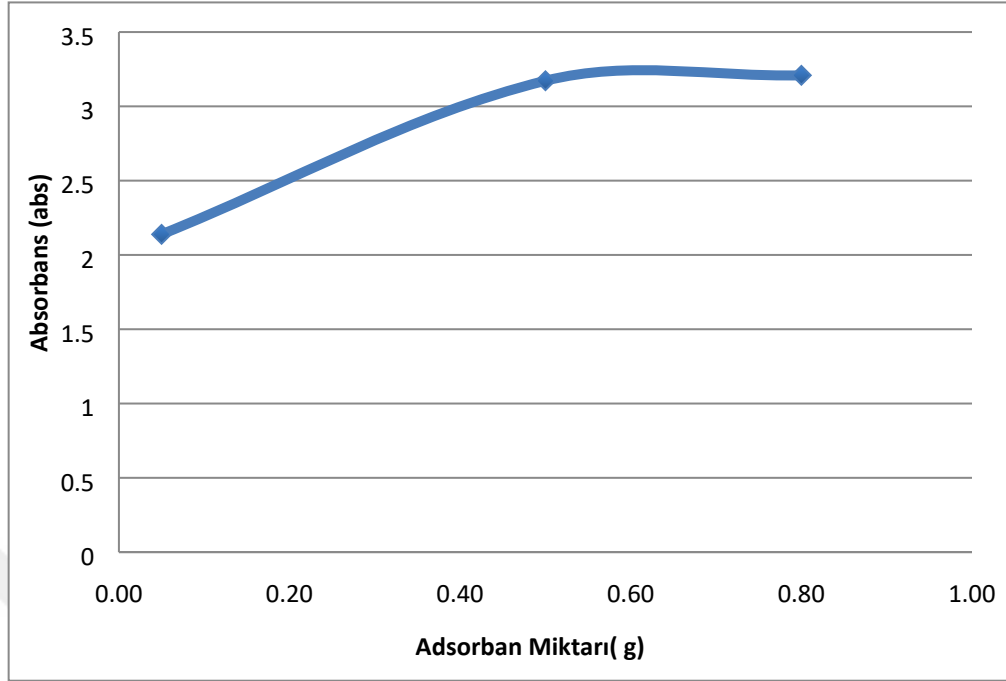
Bu çalışmalara ek olarak 0.5 g ve 0.8 g Amberlite IRA-67 tartılarak 2 ayrı numune daha hazırlanmıştır ve aynı işlemlerden bu çözeltilerde geçirilerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in adsorban miktarı çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.5:** Metformin HCl -Amberlite IRA-67 adsorban miktarı ve absorbans değerleri

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)
0.01	3.1765
0.02	2.9973
0.03	2.8119
0.04	2.5869
0.05	2.1386
0.5	3.1722
0.8	3.2088

**Şekil 4.5:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesine ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişimi.

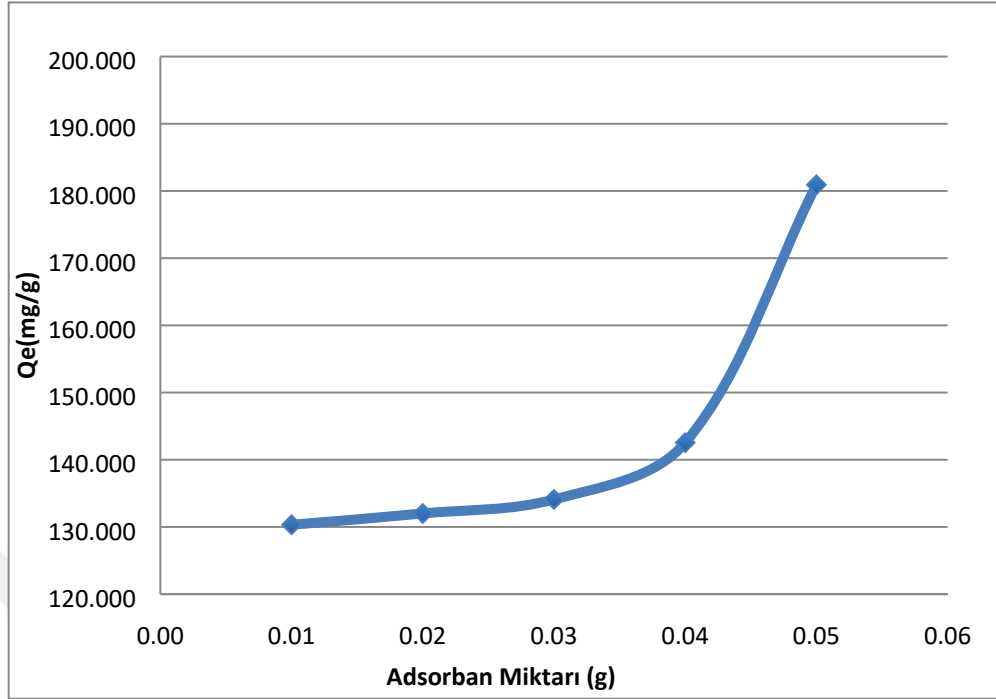


**Şekil 4.6:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesine ile adsorpsiyonunun 0.05 g-0.8 g adsorban miktarı değişimi.

Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunda adsorban miktarının değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.6.'daki gibidir.

**Tablo 4.6:** Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorban miktarı değişimine ait hesaplama verileri.

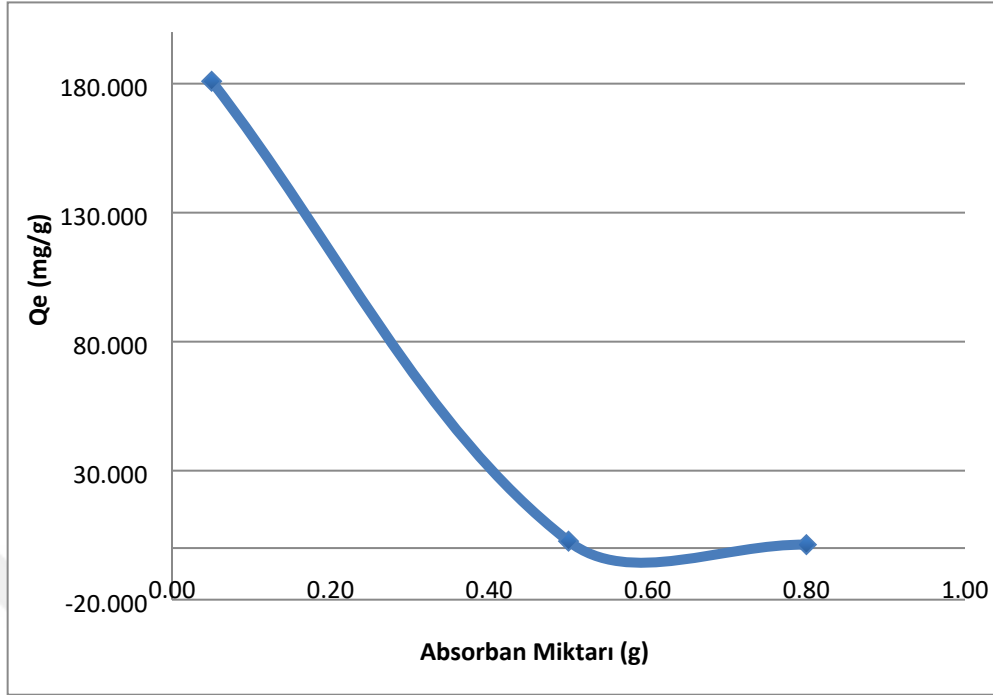
Adsorbant Miktarı (g)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
0.01	3.1765	473.93	3.3512	500	130.326
0.02	2.9973	447.20	3.3512	500	132.005
0.03	2.8119	419.54	3.3512	500	134.096
0.04	2.5869	385.97	3.3512	500	142.542
0.05	2.1386	319.08	3.3512	500	180.920



Şekil 4.7: Amberlite IRA-67 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Tablo 4.7: Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorban miktarı değişimi hesaplama verileri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)	C <sub>e</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Q <sub>e</sub> (mg/g)
0.05	2.1386	319.08	3.3512	500	180.920
0.50	3.1722	473.29	3.3512	500	2.671
0.80	3.2088	478.75	3.3512	500	1.328



**Şekil 4.8:** Amberlite IRA-67 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Yapılan deneyler neticesinde, Amberlite IRA-67 'nin adsorpsiyon için 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g, 0.05 g kullanımlarında adsorpsiyon kapasitesinin arttığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının arttığı sonucunu elde ettik. Ancak adsorban miktarı büyük ölçüde arttırıldığında 0.5 g ve 0.8 g gibi adsorbe edilen metformin HCl miktarında azaldığı, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü sonuçlar elde edilmiştir.

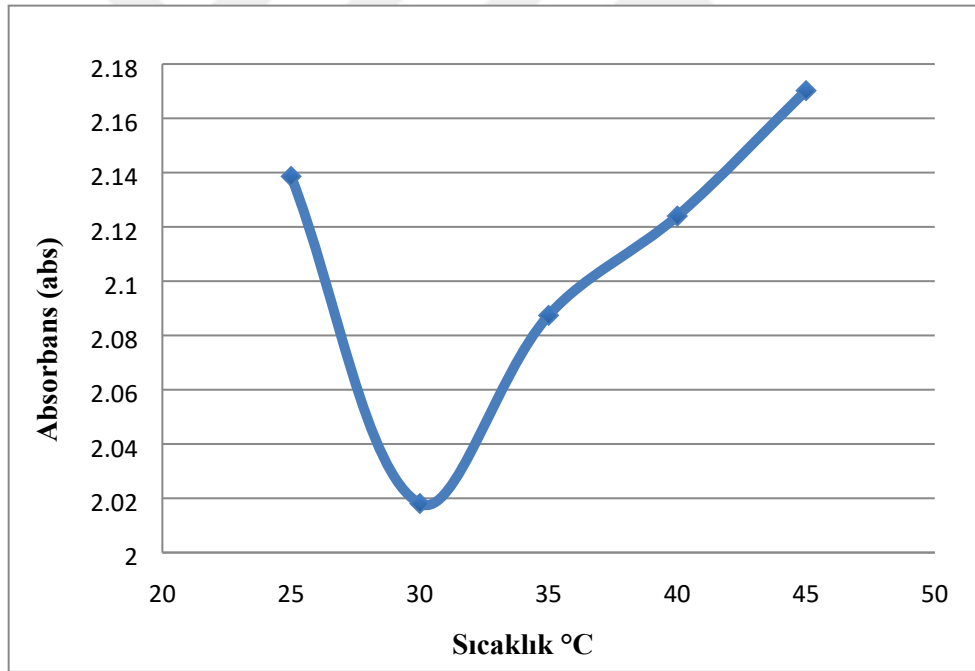
#### **4.1.1.4. Sıcaklık Değişiminin Etkisi**

Sıcaklık değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla metformin HCl 'in sulu çözeltilerinden 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere adsorban olarak 0.05 g Amberlite IRA-67 reçinesi tartılarak ilave edilmiştir. 5 çözeltiliye sırasıyla 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C 'de daha önce yapılan çalışmalarda belirlemiş olduğumuz optimum süre olan 180 dk 'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.8 ve Şekil 4.9 ' da verilmiştir. Bu çalışmaya göre adsorpsiyon kapasitesinin 30 °C'de maksimuma ulaştığını ve sonrasında sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Metformin HCl' in sıcaklık çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir :

**Tablo 4.8:** Metformin HCl -Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu sıcaklık-absorbans değerleri.

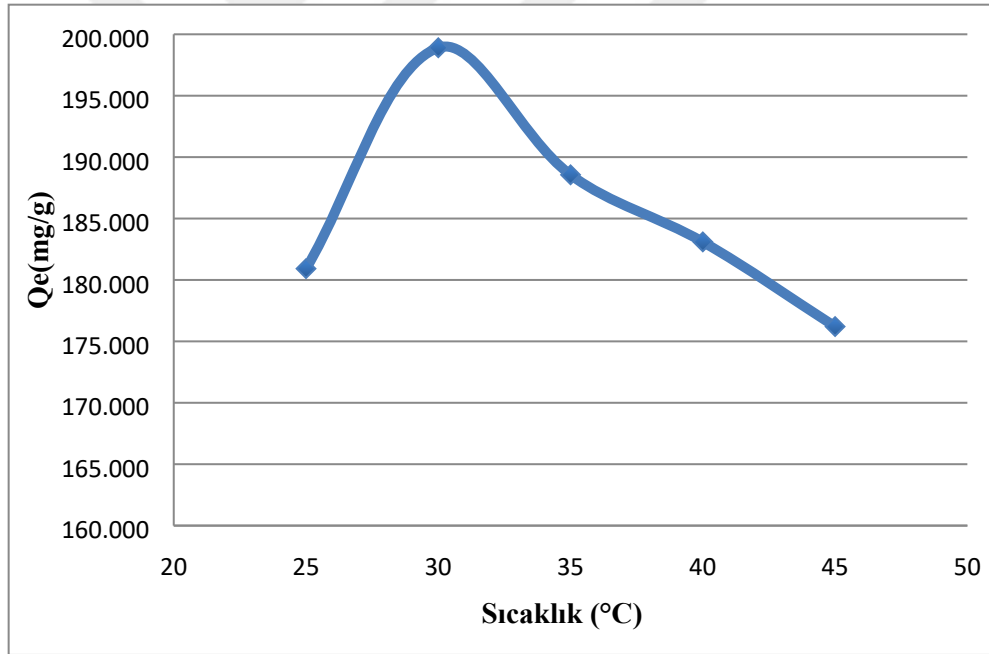
Sıcaklık °C	Absorbans (abs)
25	2.1386
30	2.0181
35	2.0874
40	2.1240
45	2.1702

**Şekil 4.9:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesi ile adsorpsiyonunun sıcaklık absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunun sıcaklık etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.9'daki gibidir.

**Tablo 4.9:** Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu sıcaklık etkisi hesaplama verileri.

Sıcaklık (°C)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
25	2.1386	319.08	3.3512	500	180.920
30	2.0181	301.10	3.3512	500	198.905
35	2.0874	311.44	3.3512	500	188.559
40	2.1240	316.90	3.3512	500	183.099
45	2.1702	323.79	3.3512	500	176.206

**Şekil 4.10:** Amberlite IRA-67 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi.

#### 4.1.1.5. pH Değişiminin Etkisi

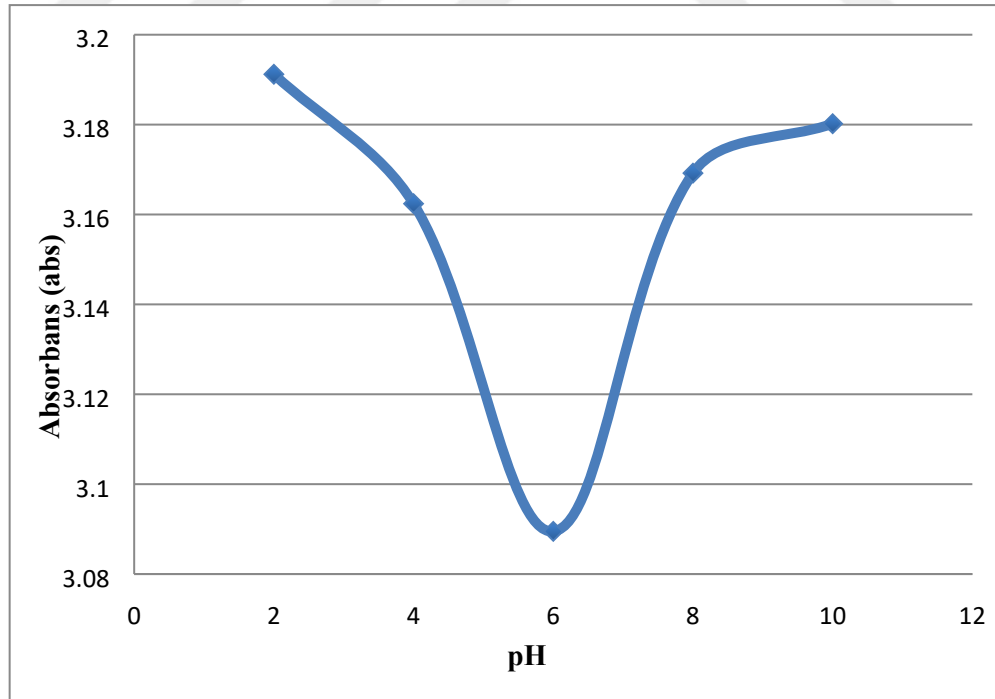
pH değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, metformin HCl'in 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin pH'ları 2, 4, 6, 8, 10 olacak şekilde 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH ile ayarlanmıştır. Ardından 0.05 g Amberlite IRA-67 reçinesi ilave edilerek, optimum süre olan 180 dk

adsorpsiyon işlemi yapılarak UV'de okumaları yapılarak kaydedilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda adsorpsiyon kapasitesinin pH 6 'da maksimum olduğunu ve 8, 10 pH'larda adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.10:** Metformin HCl -Amberlite IRA-67 adsorpsiyonu pH ve absorbans değerleri.

pH	Absorbans (abs)
2	3.1912
4	3.1624
6	3.0895
8	3.1692
10	3.1802

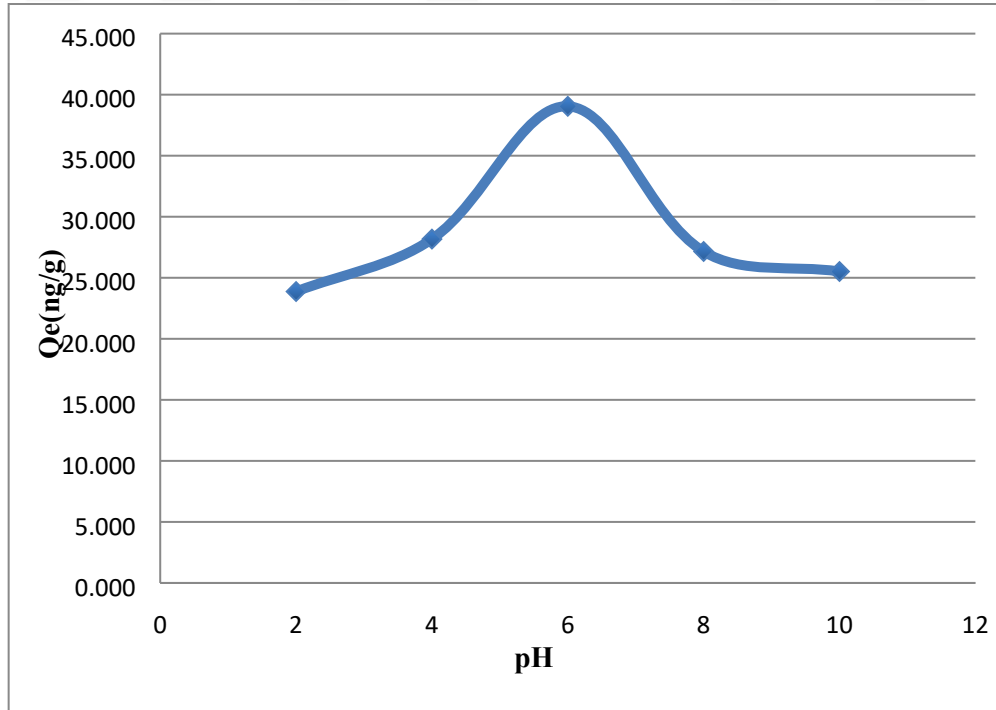


**Şekil 4.11:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesi ile adsorpsiyonunun pH absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 reçinesiyle adsorpsiyonunun pH etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.11 'deki gibidir.

**Tablo 4.11:** Metformin HCl-Amberlite IRA-67 adsorpsiyonunda pH etkisi hesaplama verileri.

pH	Absorbans (abs)	C <sub>e</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Q <sub>e</sub> (mg/g)
2	3.1912	476.13	3.3512	500	23.872
4	3.1624	471.83	3.3512	500	28.169
6	3.0895	460.95	3.3512	500	39.046
8	3.1692	472.85	3.3512	500	27.154
10	3.1802	474.49	3.3512	500	25.513



**Şekil 4.12:** Amberlite IRA-67 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi.

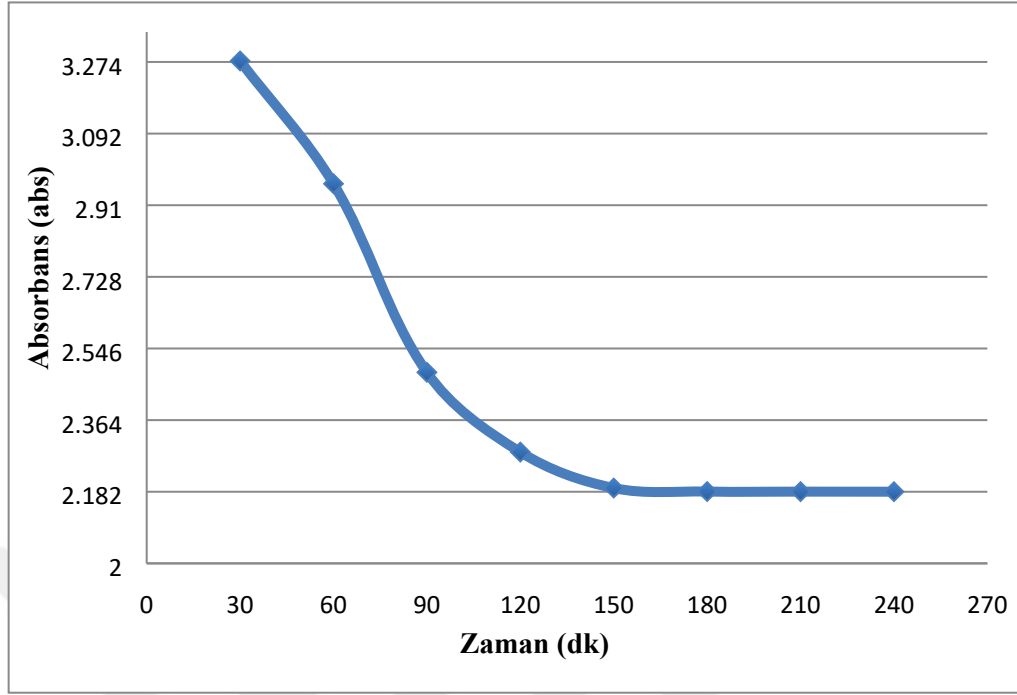
#### 4.1.2. Metformin Hidroklorürün Amberlite IRA-96 ile Adsorpsiyonu

##### 4.1.2.1. Optimum Sürenin Belirlenmesi

Metformin HCl 'in dengeye gelme süresini belirlemek için optimum süre çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için 500 ppm konsantrasyonunda metformin hidroklorürün sulu çözeltilerinden 8 adet hazırlanmıştır ve bu hazırlanan çözeltilerin her birinin içine 0.05 gram Amberlite IRA-96 reçinesinden hassas terazide tartılarak ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 25 °C'de 990 rpm'de manyetik karıştırıcıya konarak karışması sağlanmıştır. 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240. dakikalarda örnekler alınarak 0.45 µm'lik filtreden geçirilerek süzülmüştür. Ardından absorbansları UV spektrofotometrede kör çözeltili su kullanılarak 235 nm dalga boyunda okutularak kaydedilmiştir.

**Tablo 4.12:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.

t (dk)	Absorbans (abs)
30	3.2765
60	2.9645
90	2.4854
120	2.2828
150	2.1914
180	2.1825
210	2.1823
240	2.1821

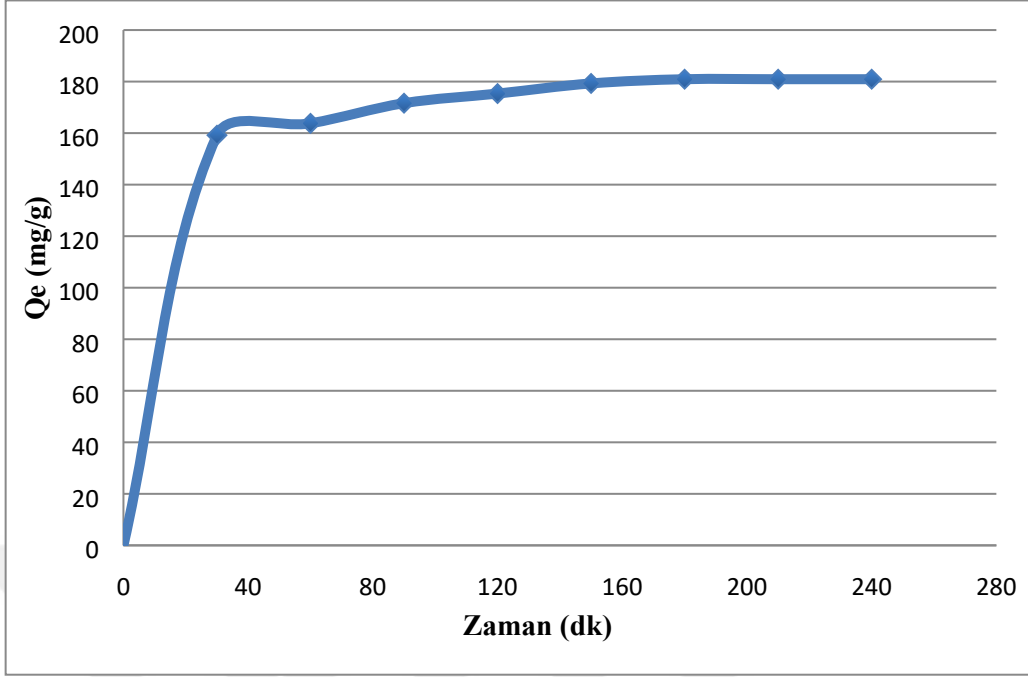


**Şekil 4.13:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği

Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun optimum süre çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.13'deki gibidir.

**Tablo 4.13:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda optimum süre hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
30	3.27650	488.85	3.3512	500	11.145
60	2.96450	442.30	3.3512	500	57.696
90	2.48540	370.82	3.3512	500	129.178
120	2.28280	340.59	3.3512	500	159.406
150	2.19140	326.96	3.3512	500	173.042
180	2.18250	325.63	3.3512	500	174.370
210	2.18230	325.60	3.3512	500	174.400
240	2.18210	325.57	3.3512	500	174.430



Şekil 4.14: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği.

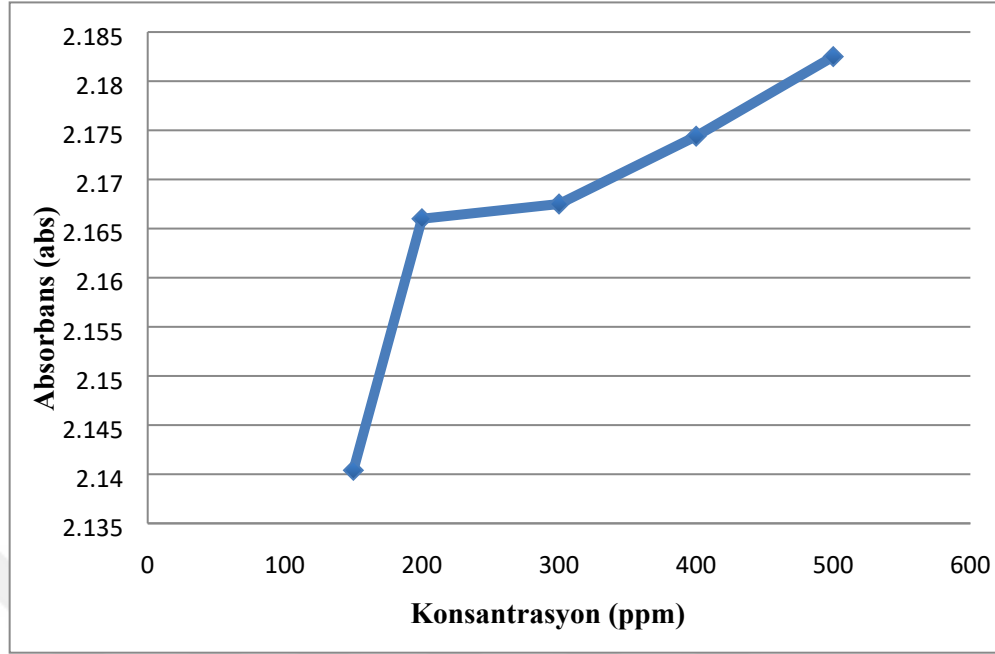
#### 4.1.2.2. Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi

Metformin HCl'in başlangıç konsantrasyonunun değişimini incelemek için 150 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.05 g Amberlite IRA-96 tartılarak ilave edilmiştir ve 25 °C'de optimum süre çalışmalarında elde edilen bilgiye göre 180 dk adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in başlangıç konsantrasyonu çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.14: Metformin HCl -Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu konsantrasyon absorban değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (abs)
150	2.1404
200	2.1660
300	2.1675
400	2.1744
500	2.1825

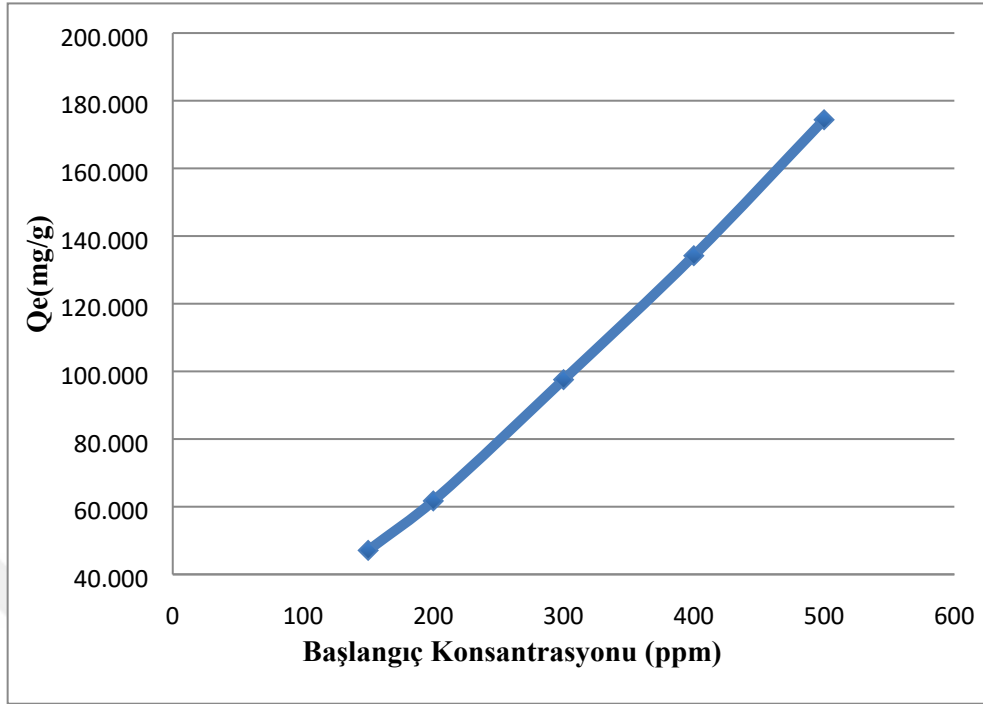


**Şekil 4.15:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile adsorpsiyonunun konsantrasyon absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 reçinesiyle adsorpsiyonunun başlangıç konsantrasyonu değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.15 'deki gibidir.

**Tablo 4.15:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
180	2.1404	102.90	3.1200	150	47.096
180	2.1660	138.29	3.1326	200	61.712
180	2.1675	202.44	3.2120	300	97.556
180	2.1744	265.81	3.2721	400	134.189
180	2.1825	325.63	3.3512	500	174.370



Şekil 4.16: Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Tablo 4.15 ve metformin HCl- Amberlite IRA-96 reçinesine ait başlangıç konsantrasyonu-adsorpsiyon kapasitesi grafiklerinden anlaşılacağı üzere başlangıç metformin HCl konsantrasyonu arttıkça adsorbe olan metformin HCl miktarının arttığı ,böylelikle adsorpsiyon kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.1.2.3. Adsorban Miktarının Etkisi

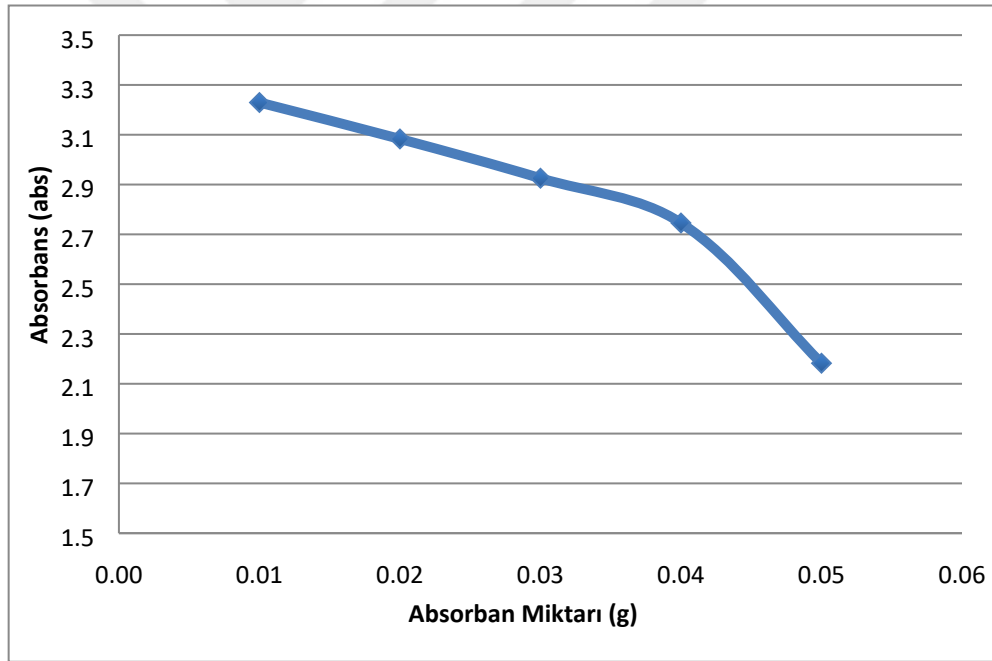
Adsorban miktarının metformin HCl- Amberlite IRA-96 reçinesiyle adsorpsiyonundaki etkisini araştırmak için 500 ppm konsantrasyonunda metforminin sulu çözeltisinden 5 adet hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g ve 0.05 g Amberlite IRA-96 reçinesinden tartılarak eklenmiştir. Numunelerin 25 °C'de ve optimum süre olan 180 dk'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

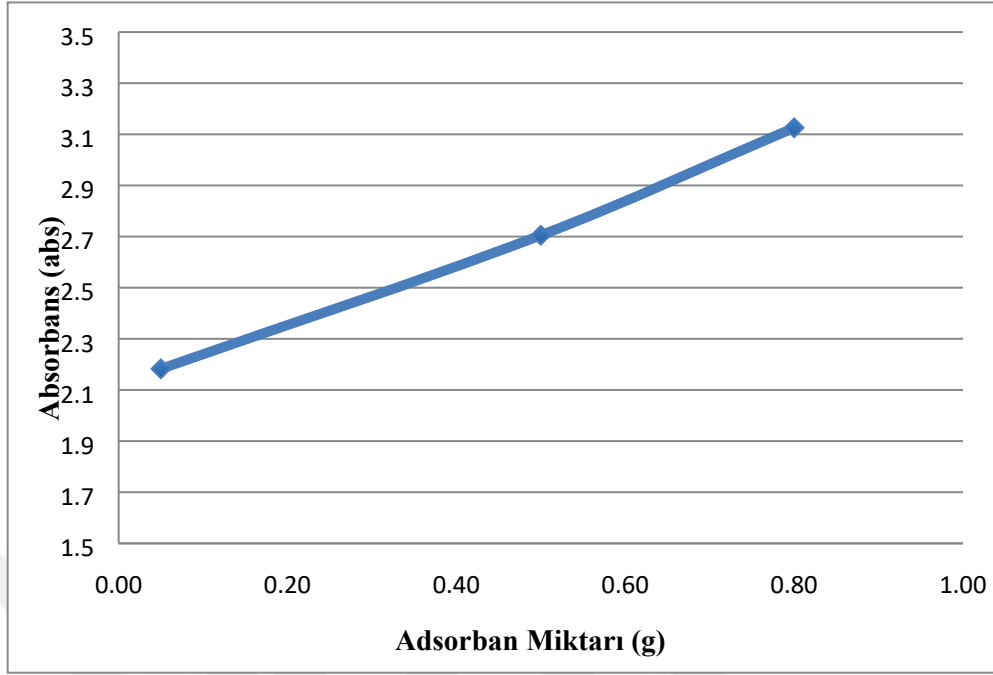
Bu çalışmalara ek olarak 0.5 g ve 0.8 g Amberlite IRA-96 tartılarak 2 ayrı numune daha hazırlanmıştır ve aynı işlemlerden bu çözeltilerde geçirilerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in adsorban miktarı çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.16:** Metformin HCl -Amberlite IRA-96 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)
0.01	3.2294
0.02	3.0831
0.03	2.9254
0.04	2.7456
0.05	2.1825
0.5	2.7052
0.8	3.1256

**Şekil 4.17:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişim grafiği.

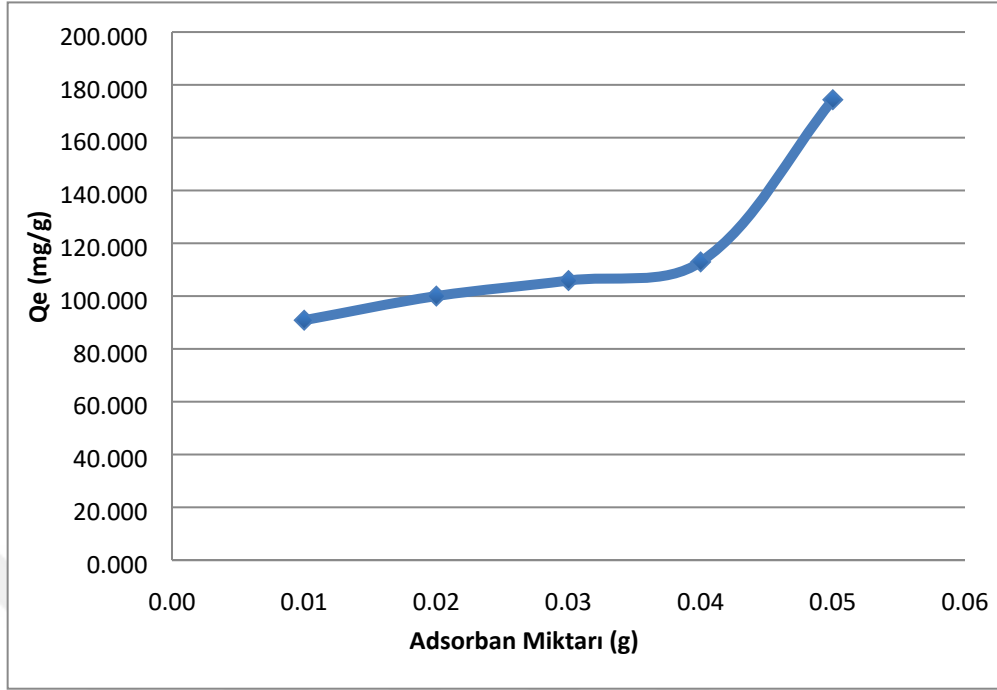


**Şekil 4.18:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorbant miktarı değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 reçinesiyle adsorpsiyonunda adsorbant miktarının değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.17'deki gibidir.

**Tablo 4.17:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda adsorbant miktarı değişiminin hesaplama verileri.

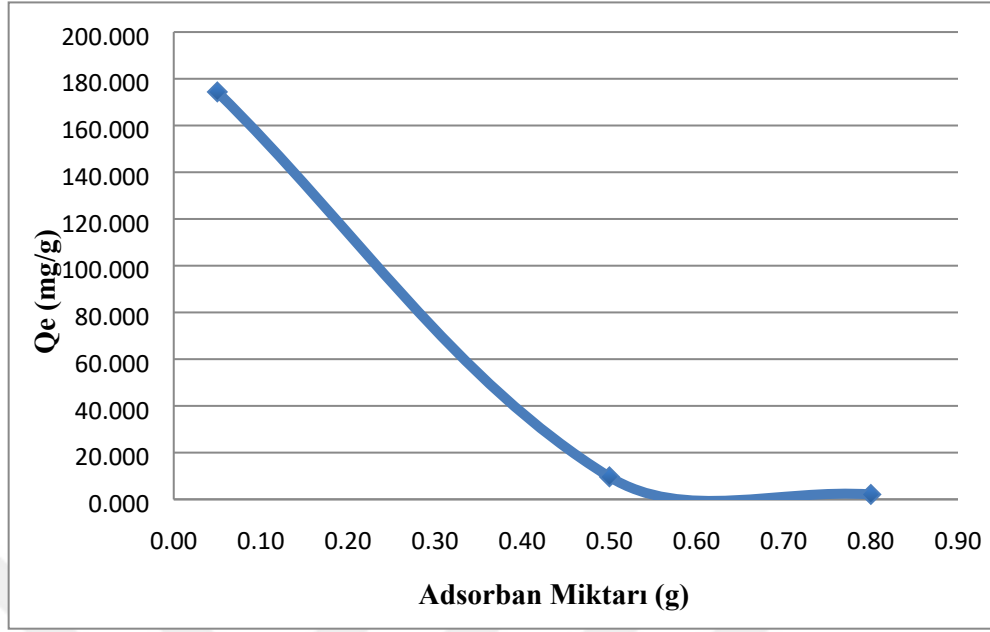
Adsorbant Miktarı (g)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
0.01	3.2294	481.83	3.3512	500	90.863
0.02	3.0831	460.00	3.3512	500	100.001
0.03	2.9254	436.47	3.3512	500	105.882
0.04	2.7456	409.64	3.3512	500	112.945
0.05	2.1825	325.63	3.3512	500	174.370



**Şekil 4.19:** Amberlite IRA-96 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

**Tablo 4.18:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonunda adsorbant miktarı değişiminin hesaplama verileri.

Adsorbant Miktarı (g)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
0.05	2.1825	325.63	3.3512	500	174.370
0.50	2.7052	403.62	3.3512	500	9.638
0.80	3.1256	466.34	3.3512	500	2.104



**Şekil 4.20:** Amberlite IRA-96 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Yapılan deneyler neticesinde, Amberlite IRA-96 'nın adsorpsiyon için 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g, 0.05 g kullanımlarında adsorpsiyon kapasitesinin arttığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının arttığı sonucunu elde ettik. Ancak adsorban miktarı büyük ölçüde arttırıldığında 0.5 g ve 0.8 g gibi adsorbe edilen metformin HCl miktarında azaldığı, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü sonuçlar elde edilmiştir.

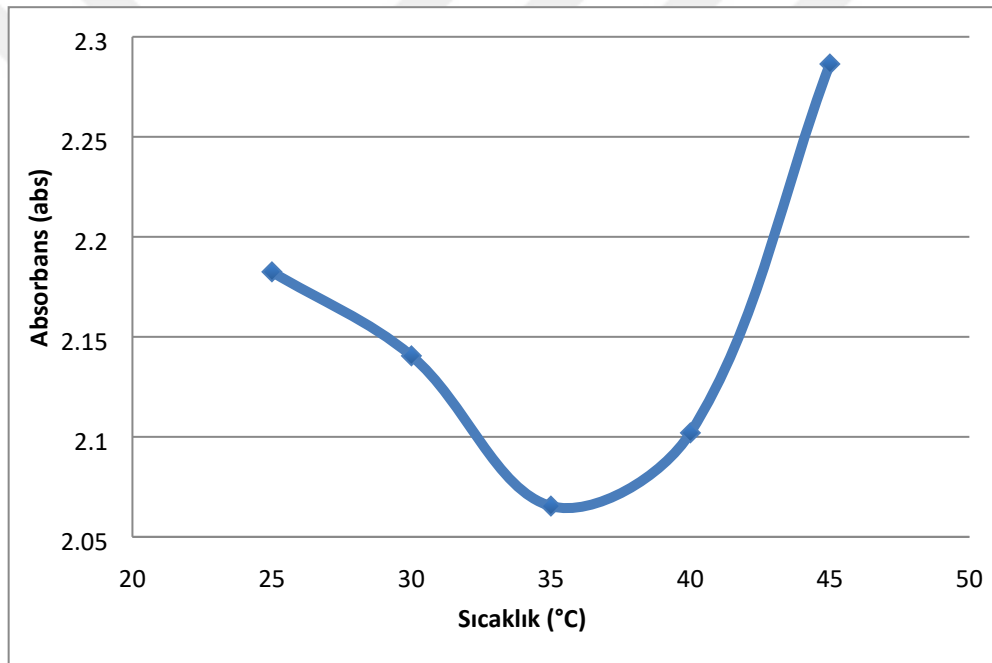
#### 4.1.2.4. Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Sıcaklık değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla metformin HCl 'in sulu çözeltilerinden 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere adsorban olarak 0.05 g Amberlite IRA-96 reçinesi tartılarak ilave edilmiştir. 5 çözeltiliye sırasıyla 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C 'de daha önce yapılan çalışmalarda belirlemiş olduğumuz optimum süre olan 180 dk 'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.19 ve Şekil 4.21 ' de verilmiştir. Bu çalışmaya göre adsorpsiyon kapasitesinin 35 °C'de maksimuma ulaştığını ve sonrasında sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Metformin HCl' in sıcaklık çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.19:** Metformin HCl -Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu sıcaklık- absorbans değerleri.

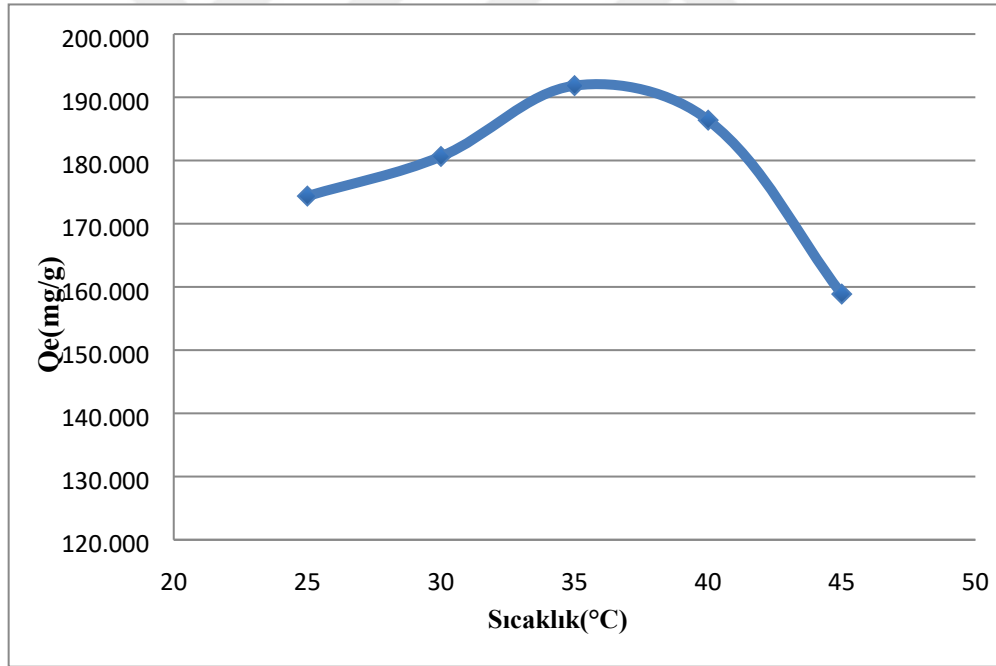
Sıcaklık °C	Absorbans (abs)
25	2.0425
30	2.0403
35	2.0994
40	2.8484
45	2.2419

**Şekil 4.21 :** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile adsorpsiyonunun sıcaklık- absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 reçinesiyle adsorpsiyonunun sıcaklık etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.20 'deki gibidir.

Sıcaklık (°C)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
25	2.1825	325.63	3.3512	500	174.370
30	2.1405	319.36	3.3512	500	180.637
35	2.0654	308.16	3.3512	500	191.842
40	2.1020	313.62	3.3512	500	186.381
45	2.2864	341.13	3.3512	500	158.868

**Tablo 4.20:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyon sıcaklık etkisi hesaplama verileri.



**Şekil 4.22:** Amberlite IRA-96 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi.

#### 4.1.2.5. pH Değişiminin Etkisi

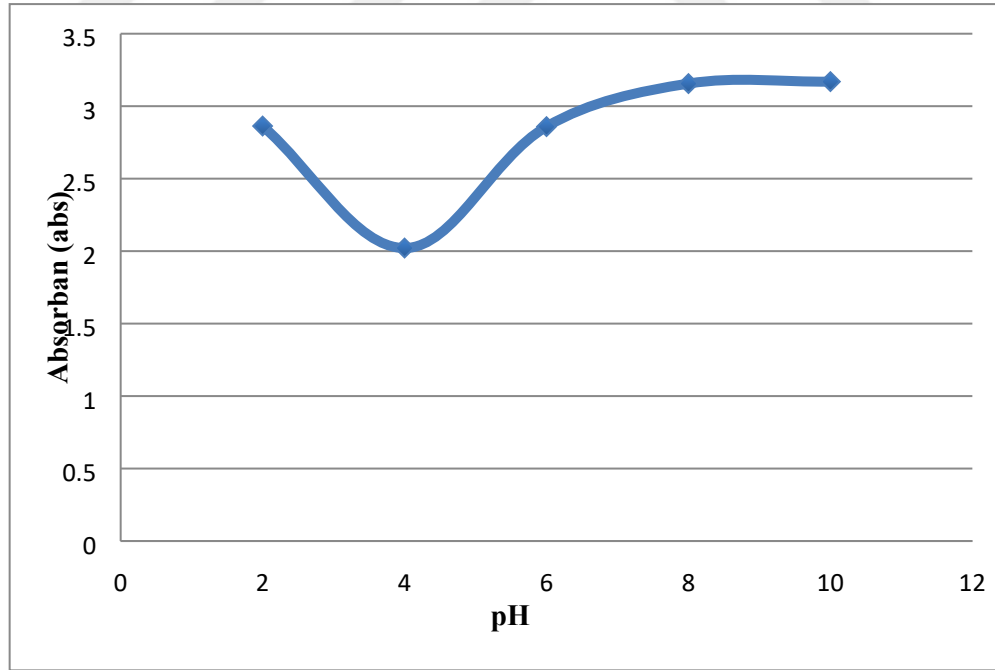
pH değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, metformin HCl'in 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin pH'ları 2, 4, 6, 8, 10 olacak şekilde 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH ile ayarlanmıştır. Ardından 0.05 g Amberlite IRA-96 reçinesi ilave edilerek, optimum süre olan 180 dk

adsorpsiyon işlemi yapılarak UV'de okumaları yapılarak kaydedilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.21 ve Şekil 4.23 'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda adsorpsiyon kapasitesinin pH 4 'de maksimum olduğunu ve 6, 8, 10 pH' larda adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.21:** Metformin HCl -Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu pH- absorbans değerleri.

pH	Absorbans (abs)
2	2.8630
4	2.0213
6	2.8589
8	3.1558
10	3.1695

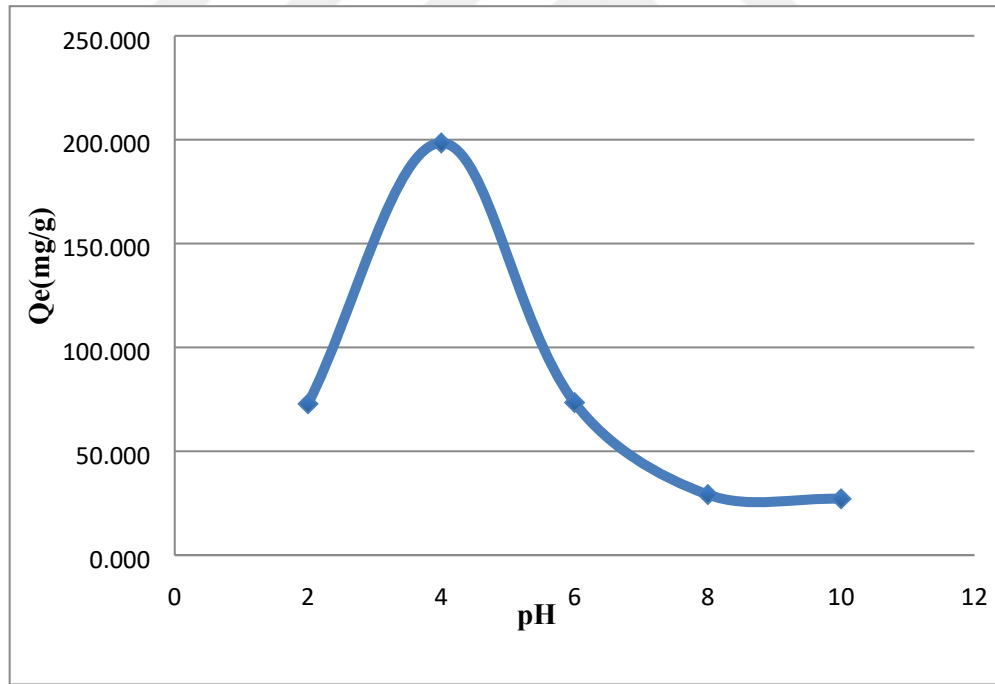


**Şekil 4.23:** Metformin HCl 'in IRA-96 ile adsorpsiyonunun pH- absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 reçinesiyle adsorpsiyonunun pH etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.22 'deki gibidir.

pH	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
2	2.8630	427.16	3.3512	500	72.840
4	2.0213	301.58	3.3512	500	198.421
6	2.8589	426.55	3.3512	500	73.451
8	3.1558	470.85	3.3512	500	29.154
10	3.1695	472.89	3.3512	500	27.110

**Tablo 4.22:** Metformin HCl-Amberlite IRA-96 adsorpsiyonu pH etkisi hesaplama verileri.



**Şekil 4.24:** Amberlite IRA-96 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi.

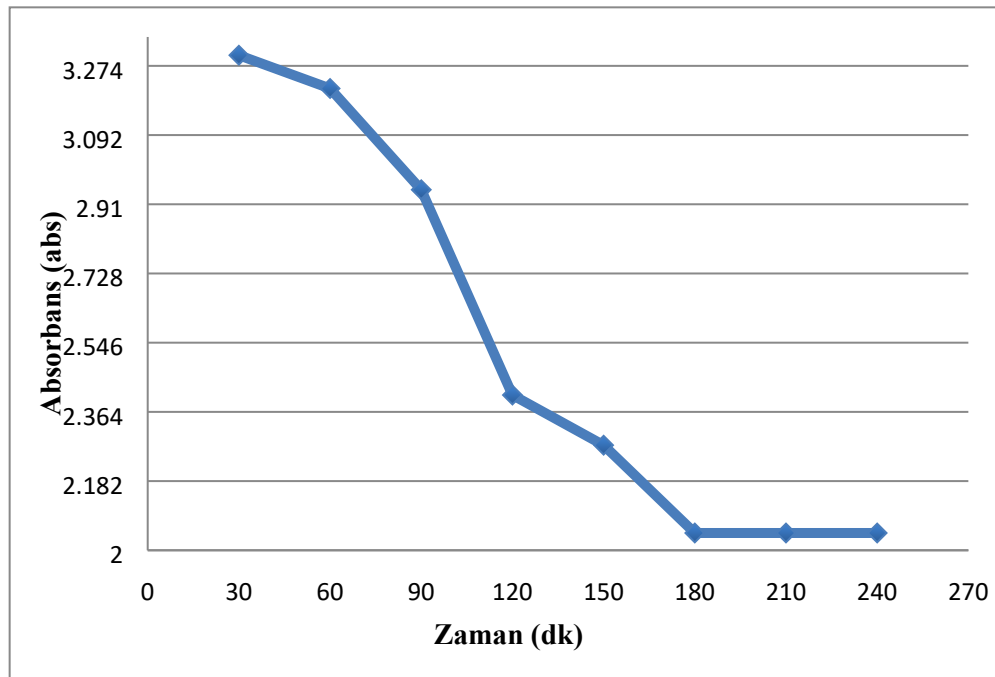
### 4.1.3. Metformin Hidroklorürün Amberlite IRA-400 ile Adsorpsiyonu

#### 4.1.3.1. Optimum Sürenin Belirlenmesi

Metformin HCl'in dengeye gelme süresini belirlemek için optimum süre çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için 500 ppm konsantrasyonunda metformin hidroklorürün sulu çözeltilerinden 8 adet hazırlanmıştır ve bu hazırlanan çözeltilerin her birinin içine 0.05 gram Amberlite IRA-400 reçinesinden hassas terazide tartılarak ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 25 °C'de 990 rpm'de manyetik karıştırıcıya konarak karışması sağlanmıştır. 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240. dakikalarda örnekler alınarak 0.45 µm'lik filtreden geçirilerek süzülmüştür. Ardından absorbansları UV spektrofotometrede kör çözeltili su kullanılarak 235 nm dalga boyunda okutulmuş ve kaydedilmiştir.

**Tablo 4.23:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.

t (dk)	Absorbans (abs)
30	3.3020
60	3.2145
90	2.9482
120	2.4083
150	2.2764
180	2.0455
210	2.0455
240	2.0455

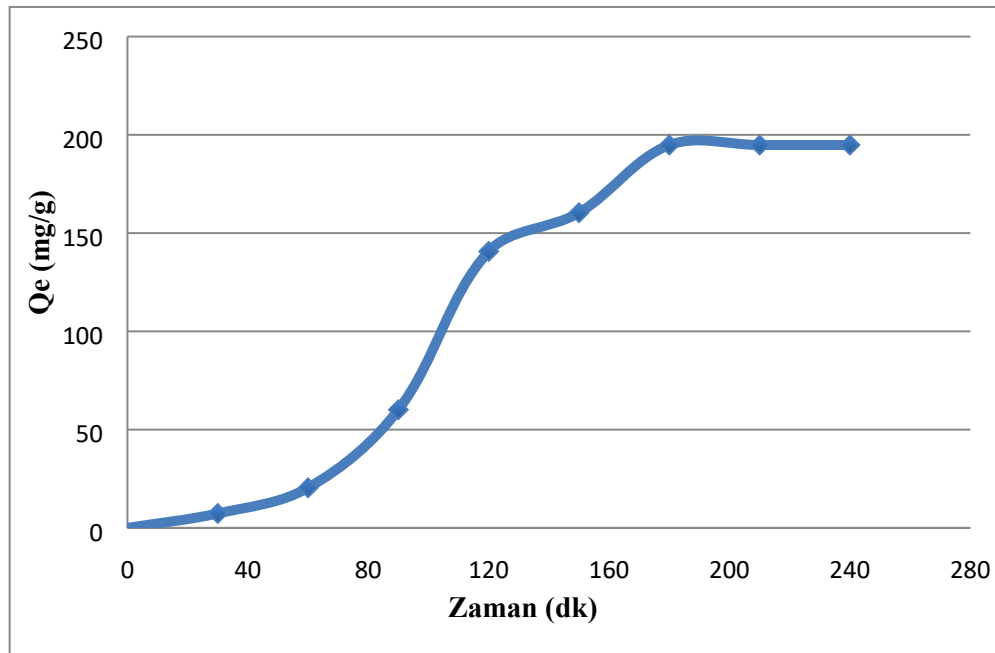


**Şekil 4.25:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonunun optimum süre çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.24 'deki gibidir.

**Tablo 4.24:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu optimum süre hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
30	3.30200	492.66	3.3512	500	7.341
60	3.21450	479.60	3.3512	500	20.396
90	2.94820	439.87	3.3512	500	60.128
120	2.40830	359.32	3.3512	500	140.681
150	2.27640	339.64	3.3512	500	160.360
180	2.04550	305.19	3.3512	500	194.811
210	2.04550	305.19	3.3512	500	194.811
240	2.04550	305.19	3.3512	500	194.811



**Şekil 4.26:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği.

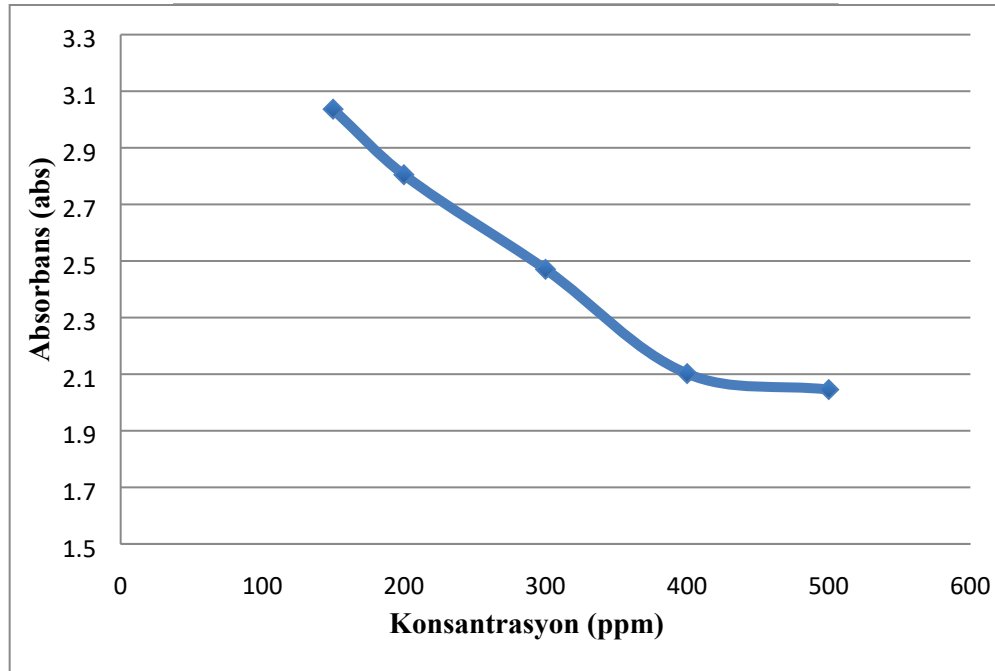
#### 4.1.3.2. Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi

Metformin HCl'in başlangıç konsantrasyonunun değişimini incelemek için 150 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.05 g Amberlite IRA-400 tartılarak ilave edilmiştir ve 25 °C'de optimum süre çalışmalarında elde edilen bilgiye göre 180 dk adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl'in başlangıç konsantrasyonu çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.25:** Metformin HCl -Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu konsantrasyon absorbands değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (abs)
150	3.0365
200	2.8048
300	2.4706
400	2.1020
500	2.0455

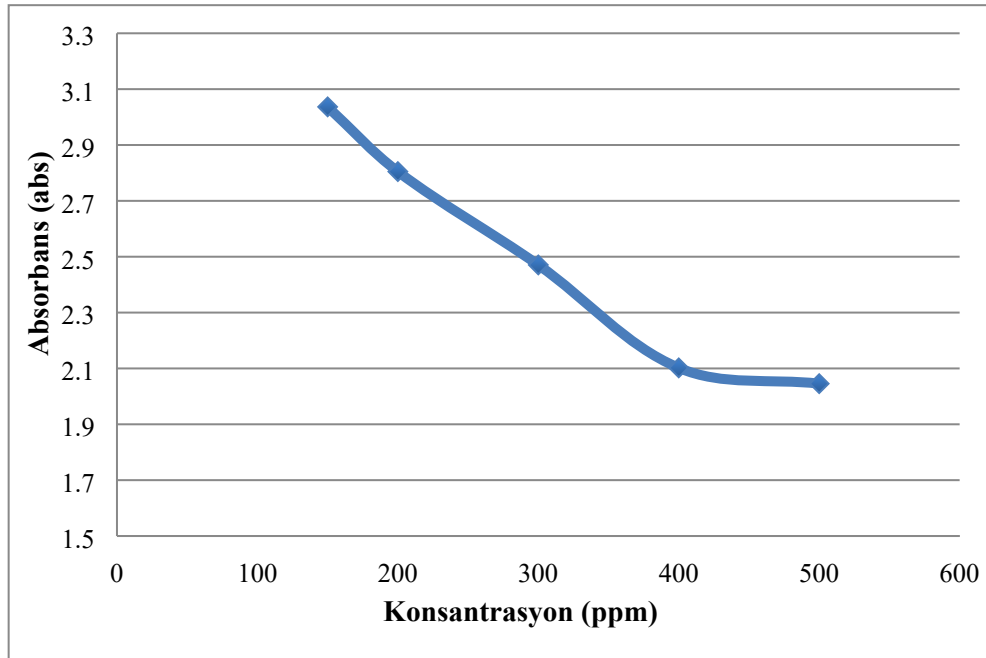


**Şekil 4.27:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-400 reçinesi ile adsorpsiyonunun konsantrasyon absorpsiyon değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonunun başlangıç konsantrasyonu değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.26 'daki gibidir.

**Tablo 4.26:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
180	3.0365	135.91	3.1200	150	14.086
180	2.8048	167.39	3.1326	200	32.609
180	2.4706	221.17	3.2120	300	78.831
180	2.1020	250.90	3.2721	400	149.105
180	2.0455	305.19	3.3512	500	194.811



**Şekil 4.28:** Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Tablo... ve metformin HCl- Amberlite IRA-400 reçinesine ait başlangıç konsantrasyonu-adsorpsiyon kapasitesi grafiklerinden anlaşılacağı üzere başlangıç metformin HCl

konsantrasyonu arttıkça adsorbe olan metformin HCl miktarının arttığı ,böylelikle adsorpsiyon kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.1.3.3. Adsorban Miktarının Etkisi

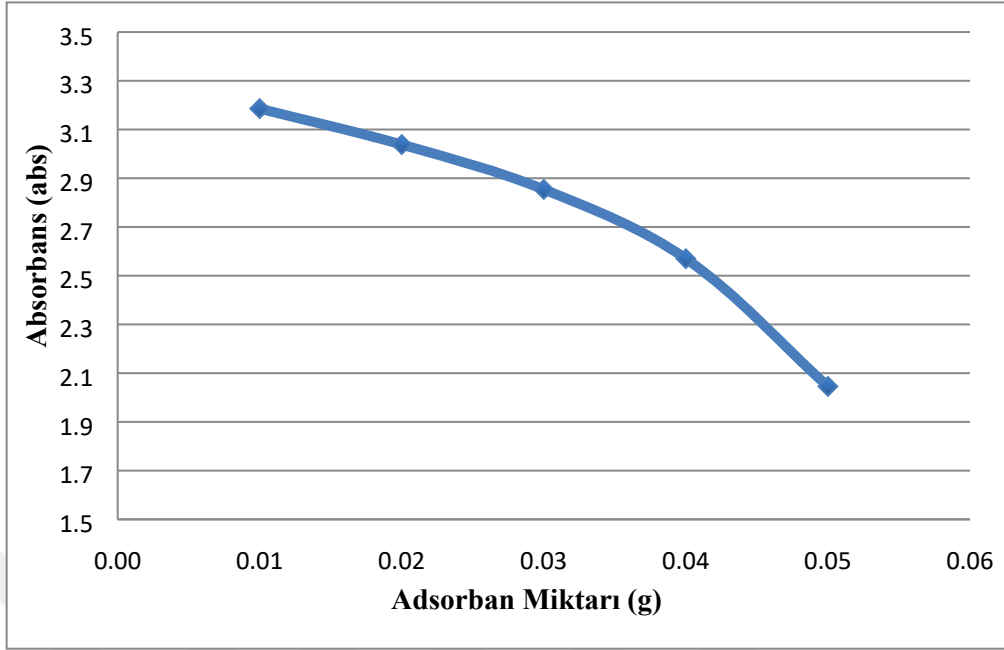
Adsorban miktarının metformin HCl- Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonundaki etkisini araştırmak için 500 ppm konsantrasyonunda metforminin sulu çözeltisinden 5 adet hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g ,0.04 g ve 0.05 g Amberlite IRA-400 reçinesinden tartılarak eklenmiştir. Numunelerin 25 °C'de ve optimum süre olan 180 dk'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalara ek olarak 0.5 g ve 0.8 g Amberlite IRA-400 tartılarak 2 ayrı numune daha hazırlanmıştır ve aynı işlemlerden bu çözeltilerde geçirilerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

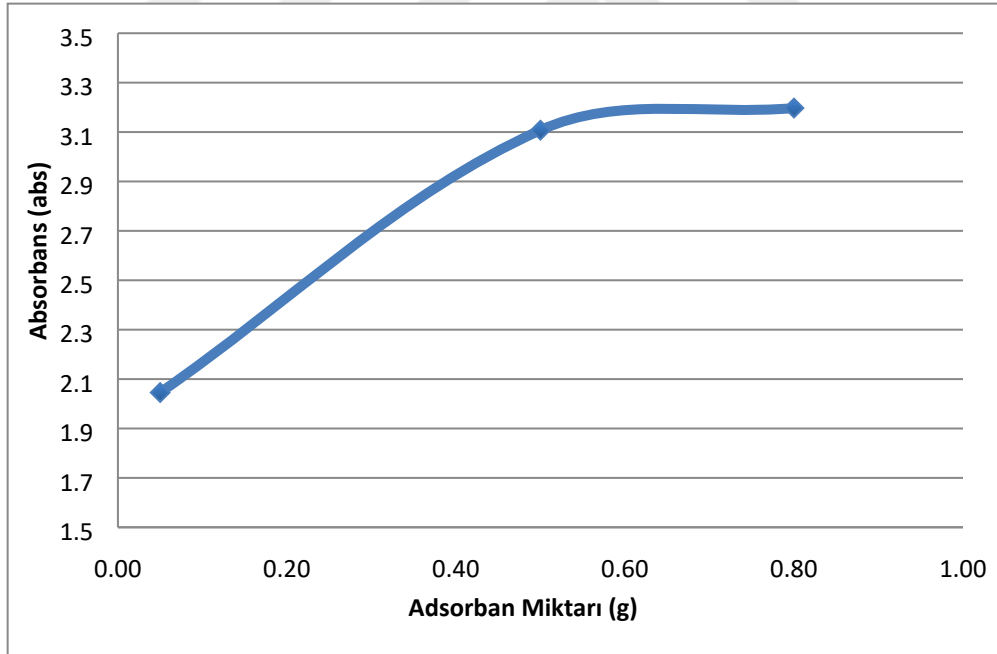
Metformin HCl' in adsorban miktarı çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.27:** Metformin HCl -Amberlite IRA-400 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)
0.01	3.1857
0.02	3.0380
0.03	2.8540
0.04	2.5697
0.05	2.0455
0.5	3.1076
0.8	3.1921



**Şekil 4.29:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesine ile adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorbant miktarı değişim grafiği.

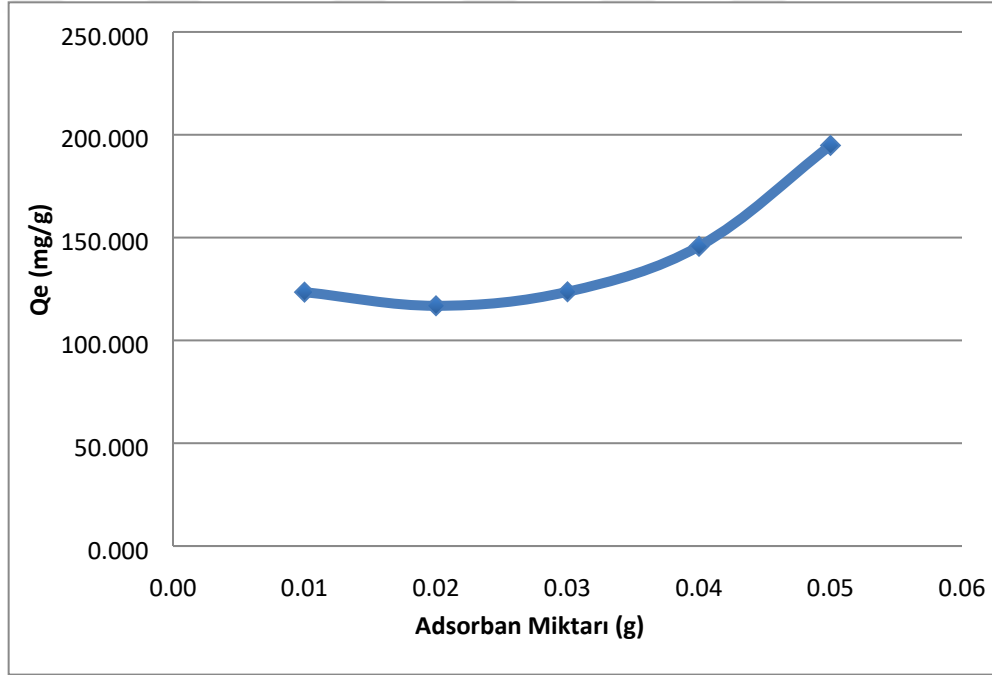


**Şekil 4.30:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesine ile adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorbant miktarı değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonunda adsorbant miktarının değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.28 'deki gibidir.

**Tablo 4.28:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda adsorban miktarının değişiminin hesaplama verileri.

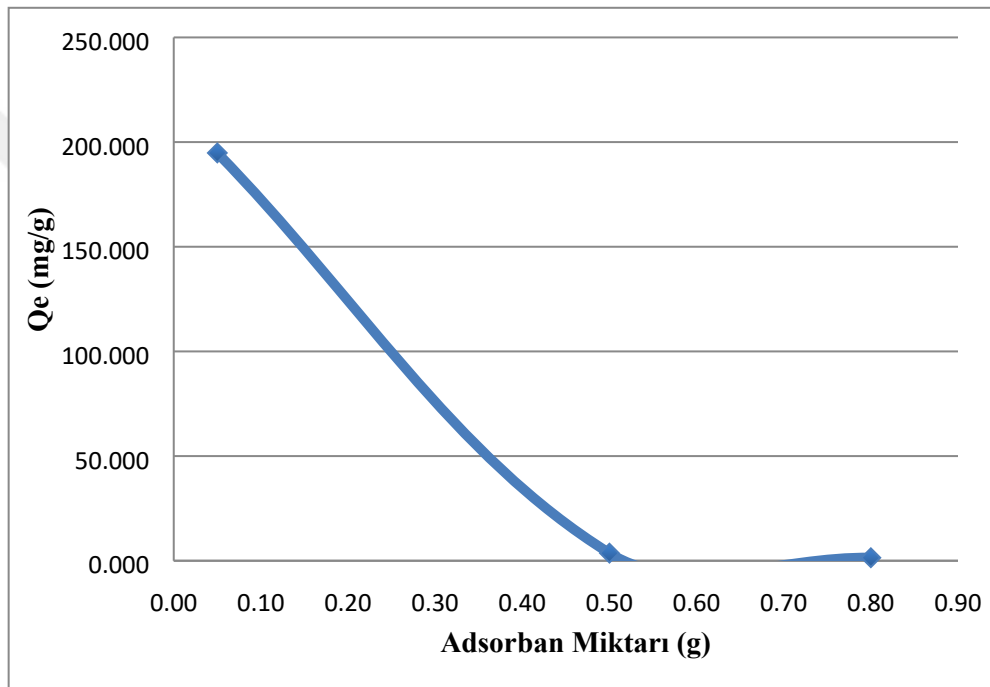
Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
0.01	3.1857	475.31	3.3512	500	123.463
0.02	3.0380	453.27	3.3512	500	116.824
0.03	2.8540	425.82	3.3512	500	123.637
0.04	2.5697	383.40	3.3512	500	145.750
0.05	2.0455	305.19	3.3512	500	194.811



**Şekil 4.31:** Amberlite IRA-400 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

**Tablo 4.29:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonunda adsorban miktarının değişiminin hesaplama verileri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)	C <sub>e</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Q <sub>e</sub> (mg/g)
0.05	2.0455	305.19	3.3512	500	194.811
0.50	3.1076	463.65	3.3512	500	3.635
0.80	3.1971	477.01	3.3512	500	1.437



**Şekil 4.32:** Amberlite IRA-400 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Yapılan deneyler neticesinde, Amberlite IRA-400 'ün adsorpsiyon için 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g, 0.05 g kullanımlarında adsorpsiyon kapasitesinin arttığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının arttığı sonucunu elde ettik. Ancak adsorban miktarı büyük ölçüde arttırıldığında 0.5 g ve 0.8 g gibi adsorbe edilen metformin HCl miktarında azaldığı, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü sonuçlar elde edilmiştir.

#### 4.1.3.4. Sıcaklık Değişiminin Etkisi

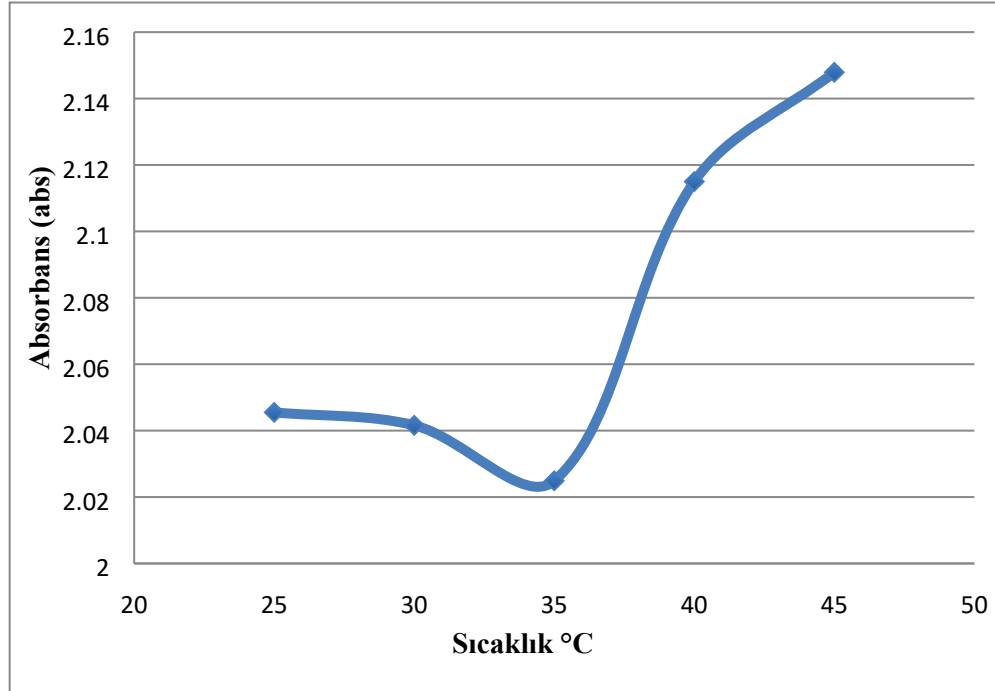
Sıcaklık değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla metformin HCl 'in sulu çözeltilerinden 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere adsorban olarak 0.05 g Amberlite IRA-400 reçinesi tartılarak

ilave edilmiştir. 5 çözeltiliye sırasıyla 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C 'de daha önce yapılan çalışmalarda belirlemiş olduğumuz optimum süre olan 180 dk 'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.30 ve Şekil 4.33 ' de verilmiştir. Bu çalışmaya göre adsorpsiyon kapasitesinin 35 °C'de maksimuma ulaştığını ve sonrasında sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Metformin HCl' in sıcaklık çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.30:** Metformin HCl -Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu sıcaklık- absorbans değerleri.

Sıcaklık (°C)	Absorbans (abs)
25	2.0455
30	2.0416
35	2.0249
40	2.1150
45	2.1479

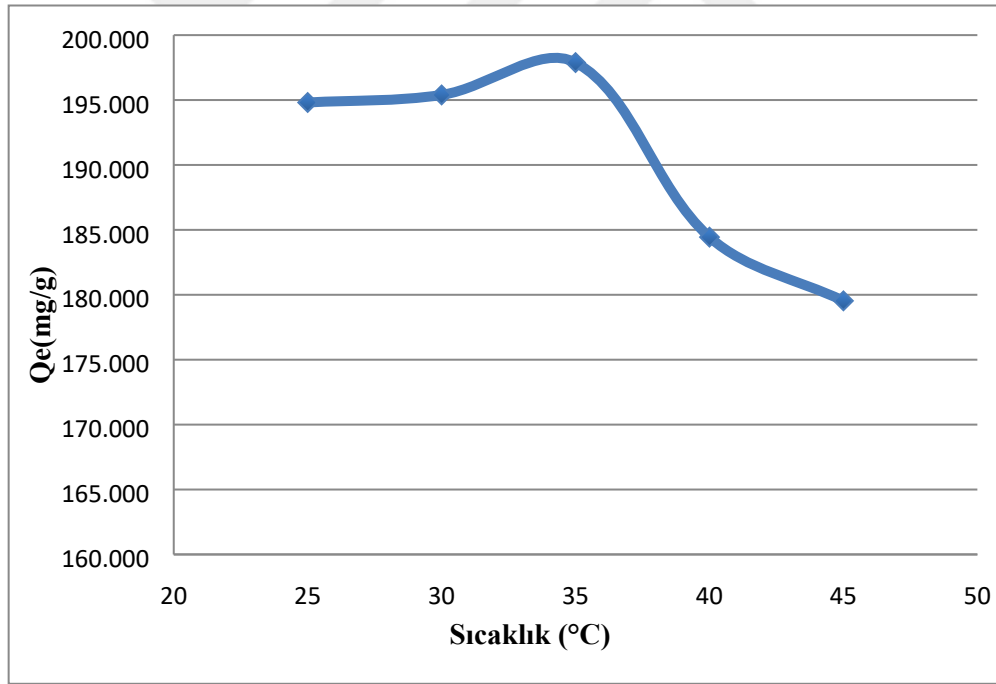


**Şekil 4.33:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-400 reçinesi ile adsorpsiyonunun sıcaklık absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonunun sıcaklık etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.31'deki gibidir.

**Tablo 4.31:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyon sıcaklık etkisi hesaplama verileri.

Sıcaklık (°C)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
25	2.0455	305.19	3.3512	500	194.811
30	2.0416	304.61	3.3512	500	195.393
35	2.0249	302.12	3.3512	500	197.884
40	2.1150	315.56	3.3512	500	184.441
45	2.1479	320.47	3.3512	500	179.533



**Şekil 4.34:** Amberlite IRA-400 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi.

#### 4.1.3.5. pH Değişiminin Etkisi

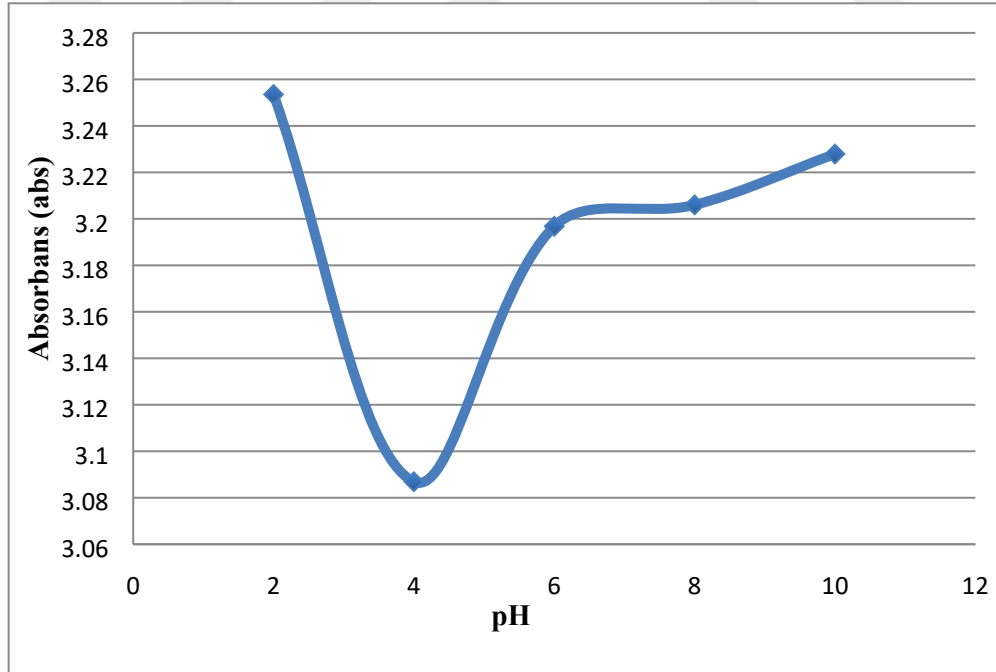
pH değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, metformin HCl'in 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin pH'ları 2, 4, 6, 8, 10 olacak şekilde 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH ile ayarlanmıştır. Ardından 0.05 g Amberlite IRA-400 reçinesi ilave edilerek, optimum süre olan 180 dk

adsorpsiyon işlemi yapılarak UV'de okumaları yapılarak kaydedilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.32 ve Şekil 4.35 'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda adsorpsiyon kapasitesinin pH 4 'de maksimum olduğunu ve 6, 8, 10 pH'larda adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.32:** Metformin HCl -Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu pH-absorbans değerleri.

pH	Absorbans (abs)
2	3.2535
4	3.0869
6	3.1968
8	3.2060
10	3.2279

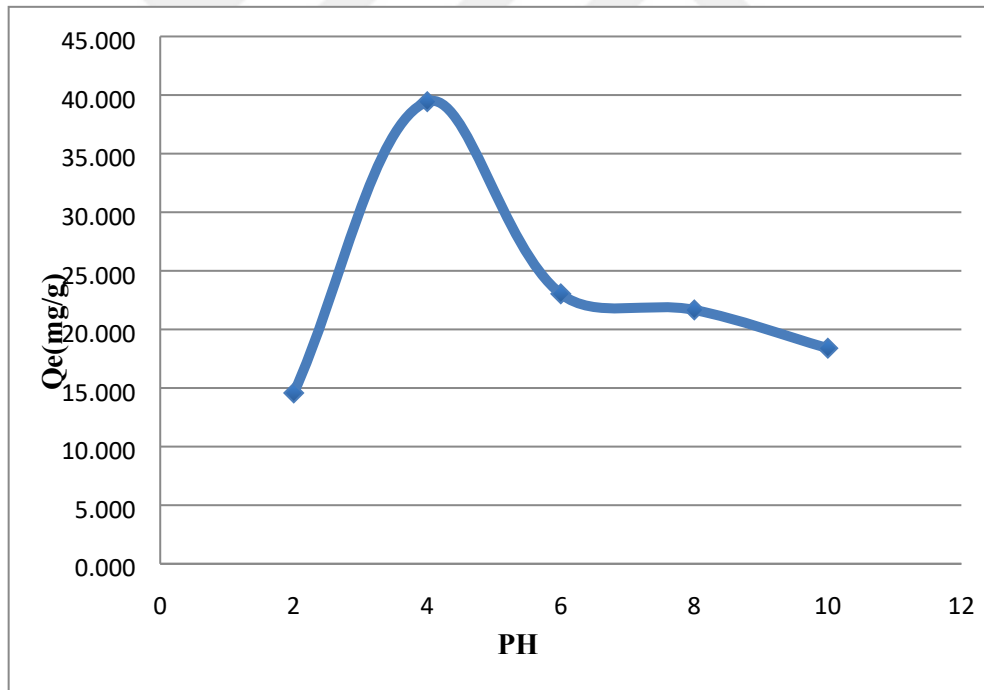


**Şekil 4.35:** Metformin HCl'in IRA-400 reçinesi ile adsorpsiyonunun pH- absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 reçinesiyle adsorpsiyonunun pH etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.33 'deki gibidir.

**Tablo 4.33:** Metformin HCl-Amberlite IRA-400 adsorpsiyonu pH etkisi hesaplama verileri.

pH	Absorbans (abs)	C <sub>e</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Q <sub>e</sub> (mg/g)
2	3.2535	485.42	3.3512	500	14.577
4	3.0869	460.57	3.3512	500	39.434
6	3.1968	476.96	3.3512	500	23.037
8	3.2060	478.34	3.3512	500	21.664
10	3.2279	481.60	3.3512	500	18.396



**Şekil 4.36:** Amberlite IRA-400 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi.

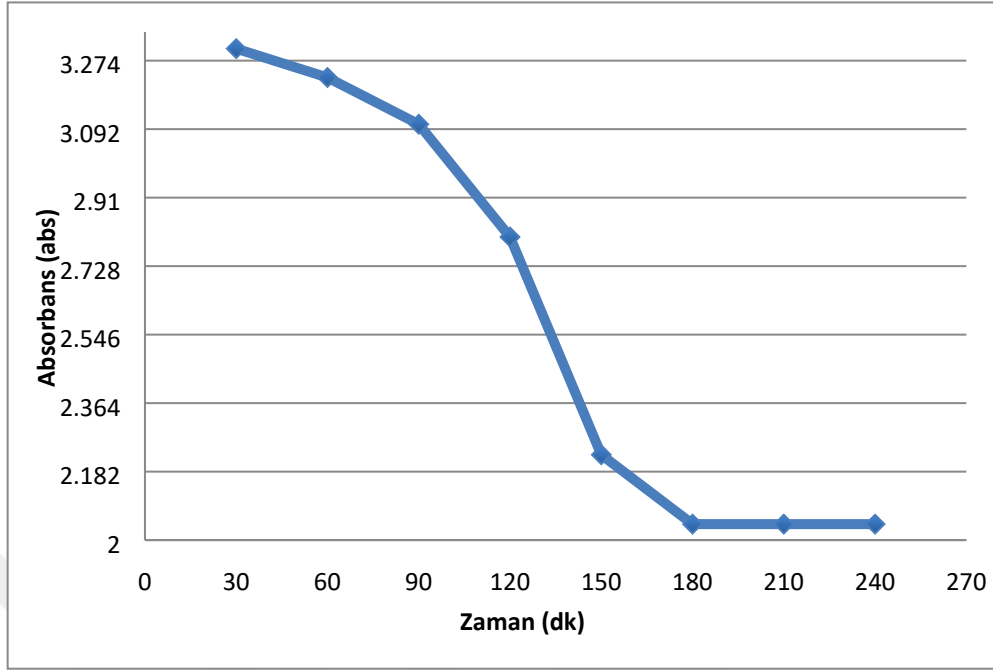
#### 4.1.4. Metformin Hidroklorürün Amberlite IRA-958 ile Adsorpsiyonu

##### 4.1.4.1. Optimum Sürenin Belirlenmesi

Metformin HCl'in dengeye gelme süresini belirlemek için optimum süre çalışması yapılmıştır. Bu çalışma için 500 ppm konsantrasyonunda metformin hidroklorürün sulu çözeltilerinden 8 adet hazırlanmıştır ve bu hazırlanan çözeltilerin her birinin içine 0.05 gram Amberlite IRA-958 reçinesinden hassas terazide tartılarak ilave edilmiştir. Hazırlanan numuneler 25 °C'de 990 rpm'de manyetik karıştırıcıya konarak karışması sağlanmıştır. 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240. dakikalarda örnekler alınarak 0.45 µm'lik filtreden geçirilerek süzölmüştür. Ardından absorbansları UV spektrofotometrede kör çözelti su kullanılarak 235 nm dalga boyunda okutularak kaydedilmiştir.

**Tablo 4.34:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda zaman-absorbans değerleri.

t (dk)	Absorbans (abs)
30	3.3059
60	3.2292
90	3.1050
120	2.8054
150	2.2268
180	2.0425
210	2.0425
240	2.0425

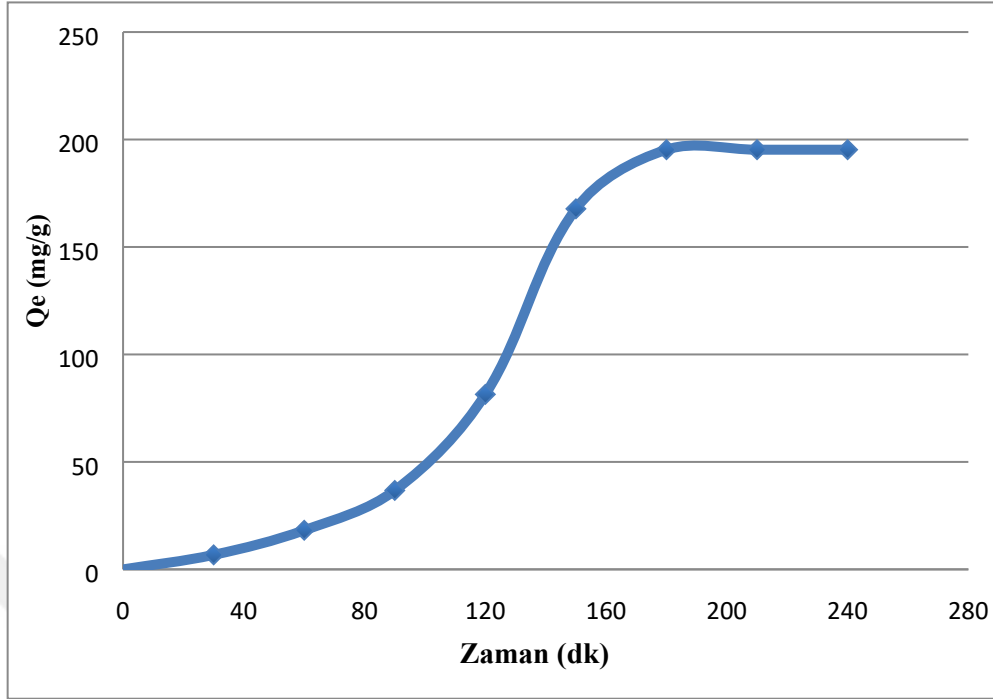


Şekil 4.37: Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesi ile adsorpsiyonunun zamanla değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun optimum süre çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.35 'deki gibidir.

Tablo 4.35: Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu optimum süre hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
30	3.30590	493.24	3.3512	500	6.759
60	3.22920	481.80	3.3512	500	18.202
90	3.10500	463.27	3.3512	500	36.733
120	2.80540	418.57	3.3512	500	81.434
150	2.22680	332.24	3.3512	500	167.761
180	2.04250	304.74	3.3512	500	195.258
210	2.04250	304.74	3.3512	500	195.258
240	2.04250	304.74	3.3512	500	195.258



Şekil 4.38: Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonunun zamana karşı adsorpsiyon kapasitesi grafiği.

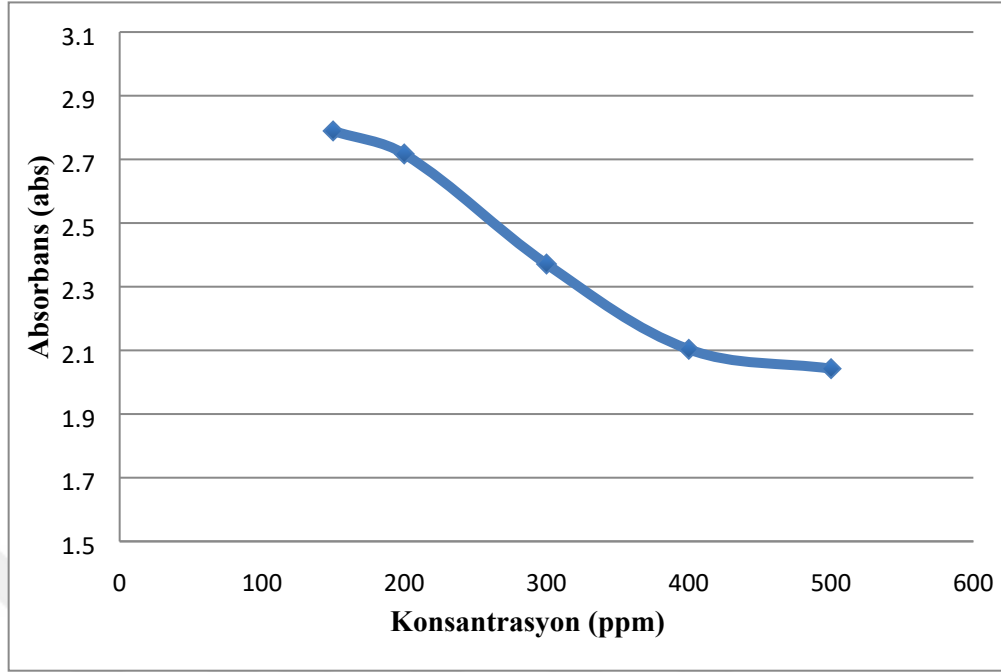
#### 4.1.4.2. Başlangıç Konsantrasyonu Etkisi

Metformin HCl'in başlangıç konsantrasyonunun değişimini incelemek için 150 ppm, 200 ppm, 300 ppm, 400 ppm ve 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.05 g Amberlite IRA-958 tartılarak ilave edilmiştir ve 25 °C'de optimum süre çalışmalarında elde edilen bilgiye göre 180 dk adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in başlangıç konsantrasyonu çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.36: Metformin HCl -Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu konsantrasyon- absorbans değerleri.

Konsantrasyon (ppm)	Absorbans (abs)
150	2.7893
200	2.7170
300	2.3712
400	2.1033
500	2.0425

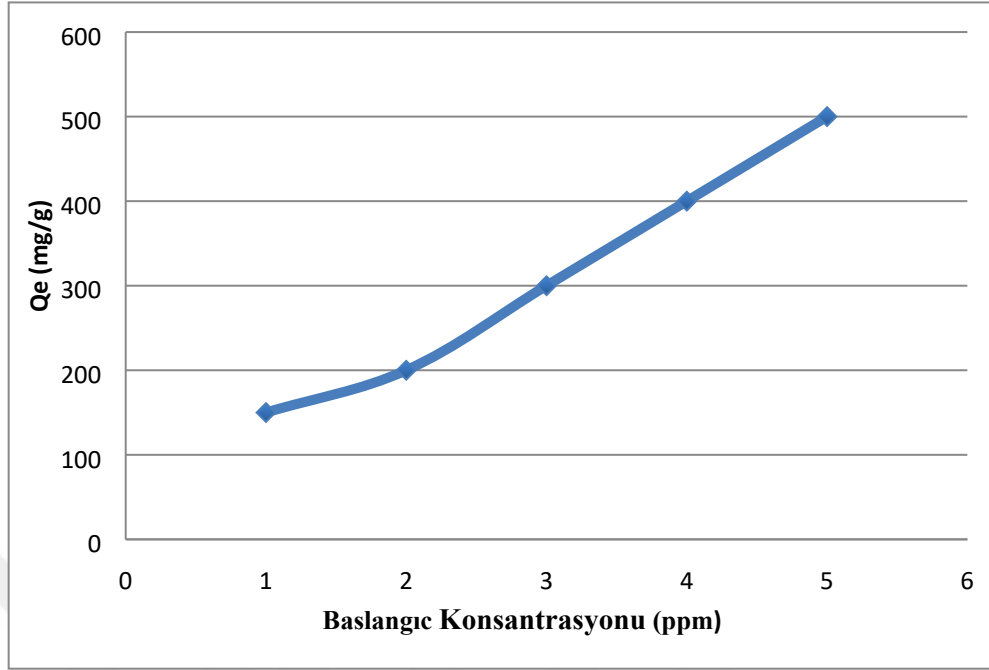


**Şekil 4.39:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesi ile adsorpsiyonunun konsantrasyon absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-6958 reçinesiyle adsorpsiyonunun başlangıç konsantrasyonu değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.37 'deki gibidir.

**Tablo 4.37:** Metformin HCl-Amberlite IRA-958 başlangıç konsantrasyonu hesaplama verileri.

Zaman (dk)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
180	2.7893	124.85	3.1200	150	25.151
180	2.7170	162.15	3.1326	200	37.849
180	2.3712	212.27	3.2120	300	87.730
180	2.1033	251.05	3.2721	400	148.950
180	2.0425	304.74	3.3512	500	195.258



**Şekil 4.40:** Başlangıç metformin HCl konsantrasyonu değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Tablo 4.37 ve metformin HCl- Amberlite IRA-958 reçinesine ait başlangıç konsantrasyonu-adsorpsiyon kapasitesi grafiklerinden anlaşılacağı üzere başlangıç metformin HCl konsantrasyonu arttıkça adsorbe olan metformin HCl miktarının arttığı ,böylelikle adsorpsiyon kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### **4.1.4.3. Adsorban Miktarının Etkisi**

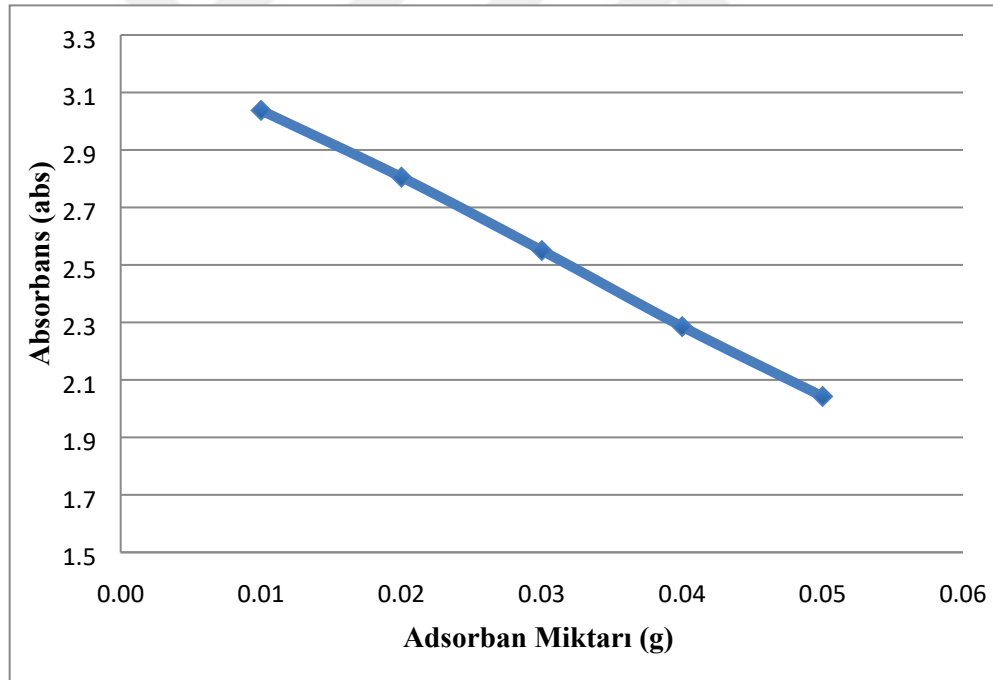
Adsorban miktarının metformin HCl- Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonundaki etkisini araştırmak için 500 ppm konsantrasyonunda metforminin sulu çözeltisinden 5 adet hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltilere 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g ,0.04 g ve 0.05 g Amberlite IRA-958 reçinesinden tartılarak eklenmiştir. Numunelerin 25 °C'de ve optimum süre olan 180 dk'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

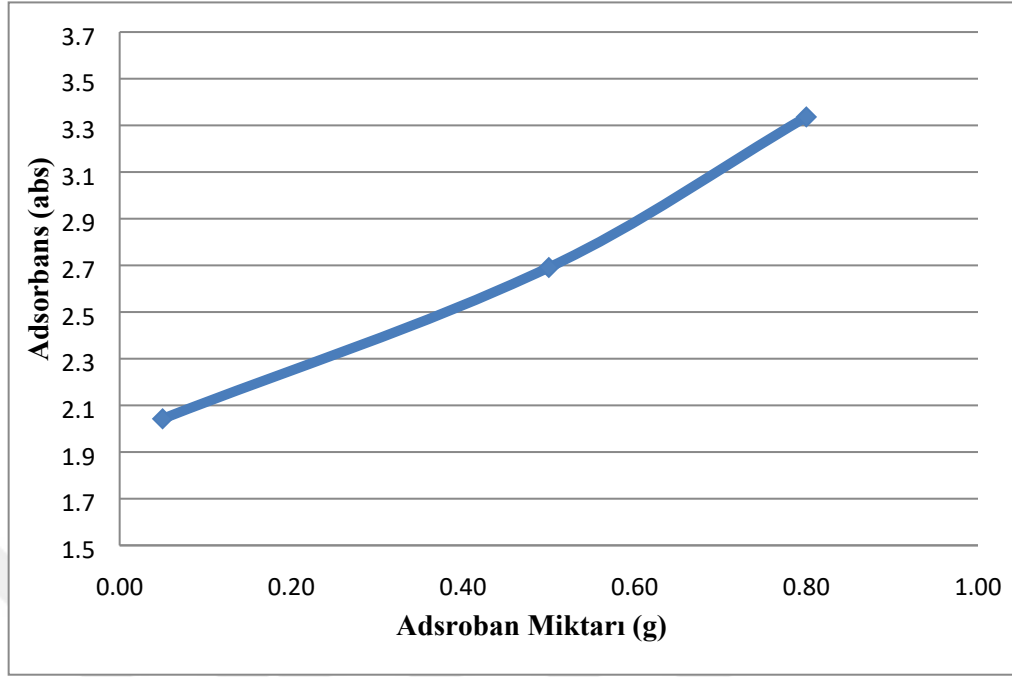
Bu çalışmalara ek olarak 0.5 g ve 0.8 g Amberlite IRA-958 tartılarak 2 ayrı numune daha hazırlanmıştır ve aynı işlemlerden bu çözeltilerde geçirilerek adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Metformin HCl' in adsorban miktarı çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.38:** Metformin HCl -Amberlite IRA-958 adsorban miktarı ve absorbans değerleri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)
0.01	3.0378
0.02	2.8054
0.03	2.5502
0.04	2.2854
0.05	2.0425
0.5	2.6909
0.8	3.3362

**Şekil 4.41:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun 0.01g-0.05g adsorban miktarı değişim grafiği.

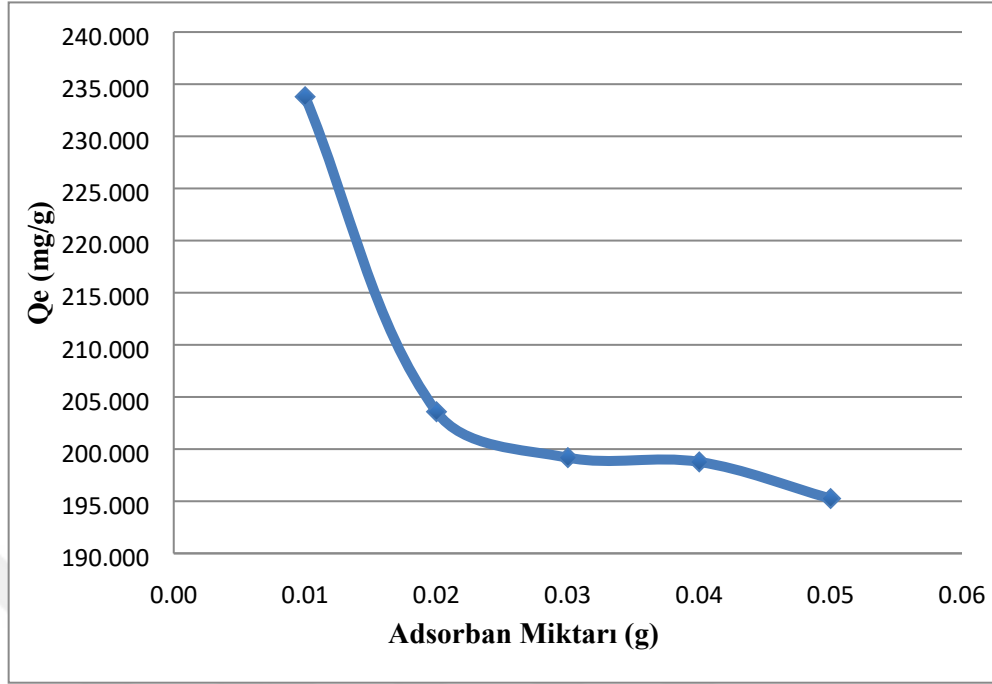


**Şekil 4.42:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun 0.05g-0.8g adsorbant miktarı değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunda adsorbant miktarının değişimine ait hesaplama verileri Tablo 4.39 'daki gibidir.

**Tablo 4.39:** Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda adsorbant miktarı değişiminin hesaplama verileri.

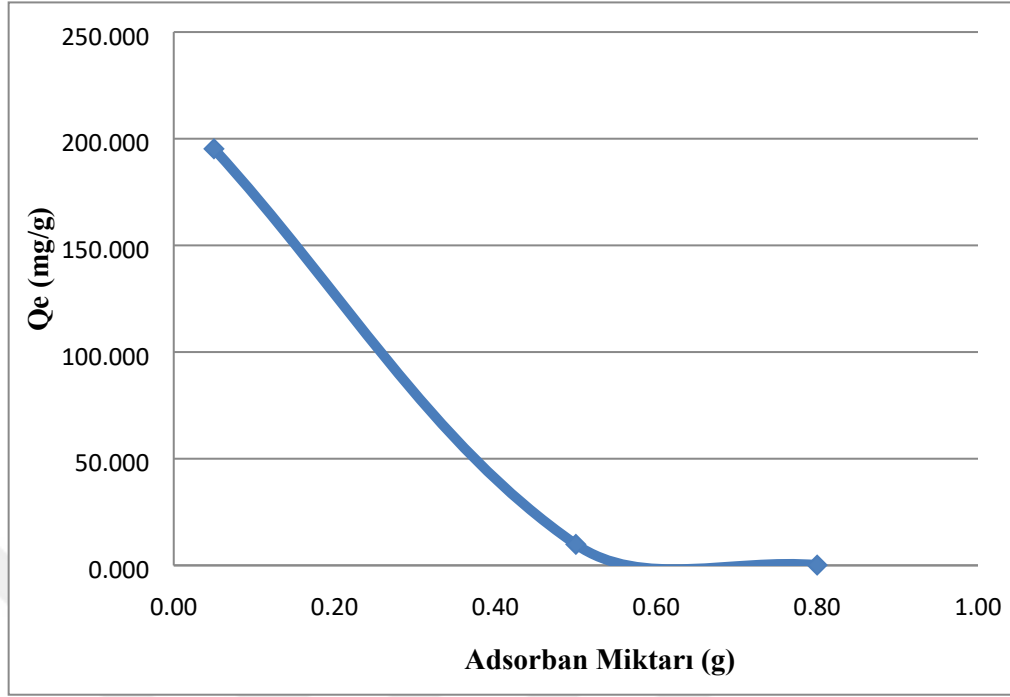
Adsorbant Miktarı (g)	Absorbans (abs)	C <sub>e</sub> (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Q <sub>e</sub> (mg/g)
0.01	3.0378	453.24	3.3512	500	233.797
0.02	2.8054	418.57	3.3512	500	203.584
0.03	2.5502	380.49	3.3512	500	199.182
0.04	2.2854	340.98	3.3512	500	198.772
0.05	2.0425	304.74	3.3512	500	195.258



Şekil 4.43: Amberlite IRA-958 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Tablo 4.40: Metformin HCl-Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda adsorban miktarının değişiminin hesaplama verileri.

Adsorban Miktarı (g)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
0.05	2.0425	304.74	3.3512	500	195.258
0.50	2.6909	401.48	3.3512	500	9.852
0.80	3.3362	497.76	3.3512	500	0.140



Şekil 4.44 : Amberlite IRA-958 reçine miktarı değişiminin adsorpsiyona etkisi.

Yapılan deneyler neticesinde, Amberlite IRA-958 'nin adsorpsiyon için 0.01 g, 0.02 g, 0.03 g, 0.04 g, 0.05 g kullanımlarında adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı ve adsorbe edilen metformin HCl miktarının azaldığı sonucunu elde ettik. Aynı zamanda adsorban miktarı büyük ölçüde arttırıldığında 0.5 g ve 0.8 g gibi adsorbe edilen metformin HCl miktarında azaldığı, dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü sonuçlar elde edilmiştir.

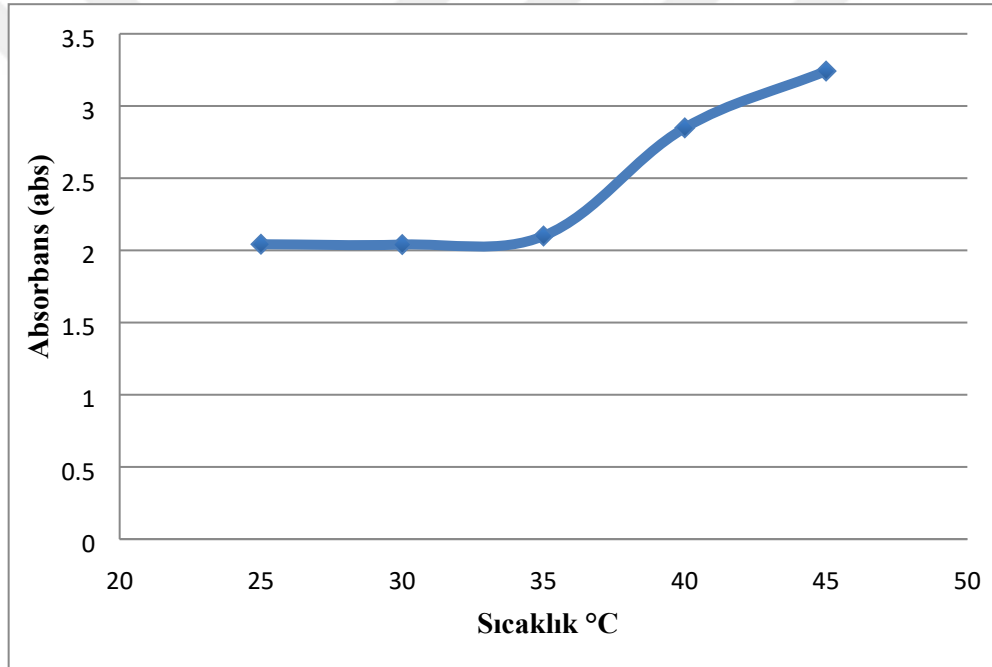
#### 4.1.4.4. Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Sıcaklık değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla metformin HCl 'in sulu çözeltilerinden 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet numune hazırlanmıştır. Bu numunelere adsorban olarak 0.05 g Amberlite IRA-958 reçinesi tartılarak ilave edilmiştir. 5 çözeltiliye sırasıyla 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C 'de daha önce yapılan çalışmalarda belirlemiş olduğumuz optimum süre olan 180 dk 'da adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.40 ve Şekil 4.45 ' de verilmiştir. Bu çalışmaya göre adsorpsiyon kapasitesinin 35 °C'de maksimuma ulaştığını ve sonrasında sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.

Metformin HCl' in sıcaklık çalışmasına ait bulgular aşağıdaki gibidir:

**Tablo 4.41** : Metformin HCl -Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu sıcaklık absorbans değerleri.

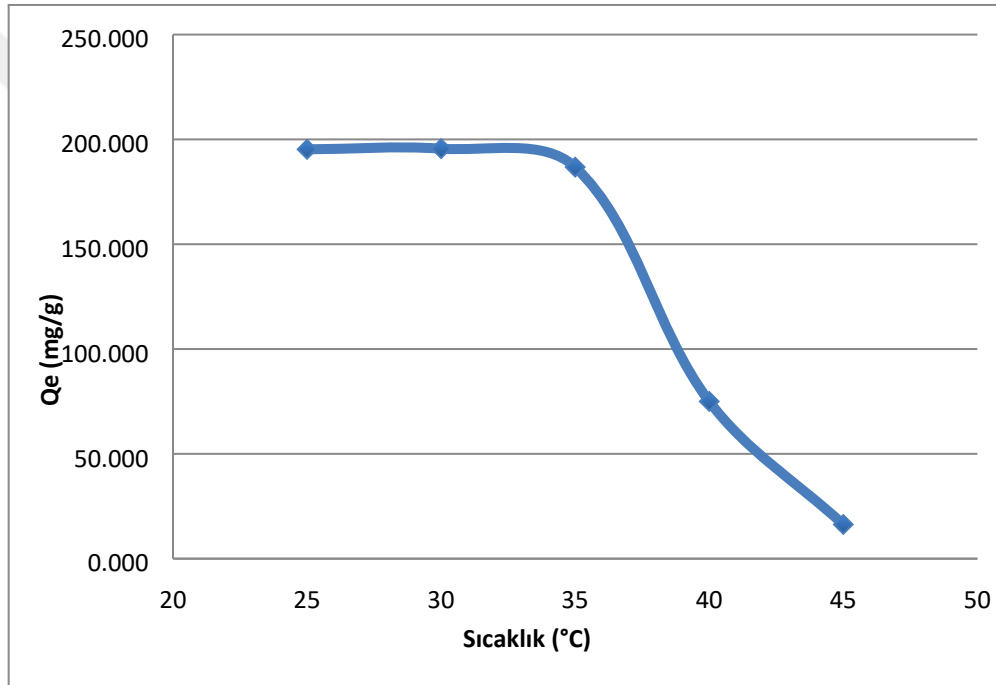
Sıcaklık °C	Absorbans (abs)
25	2.0425
30	2.0403
35	2.0994
40	2.8484
45	2.2419

**Şekil 4.45:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun sıcaklık absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun sıcaklık etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.42 'deki gibidir.

**Tablo 4.42:** Metformin HCl ile Amberlite IRA-958 adsorpsiyonu sıcaklık etkisi verileri.

Sıcaklık (°C)	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
25	2.0425	304.74	3.3512	500	195.258
30	2.0403	304.41	3.3512	500	195.587
35	2.0994	313.23	3.3512	500	186.769
40	2.8484	424.98	3.3512	500	75.018
45	3.2419	483.69	3.3512	500	16.308

**Şekil 4.46:** Amberlite IRA-958 sıcaklık değişiminin adsorpsiyona etkisi.

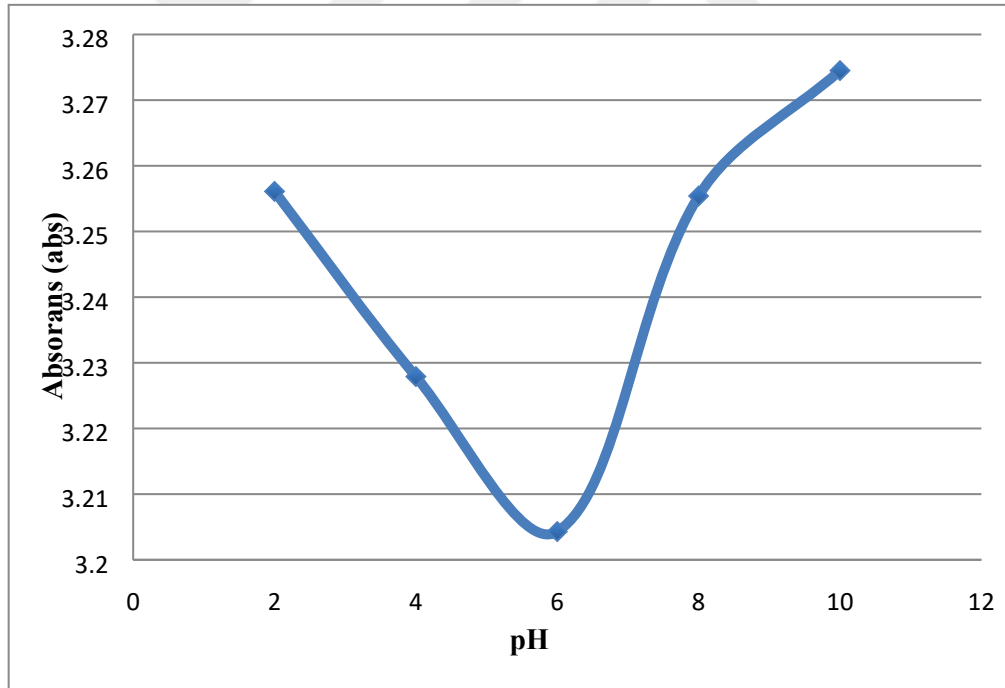
#### 4.1.4.5. pH Değişiminin Etkisi

pH değişiminin metformin HCl adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, metformin HCl'in 500 ppm konsantrasyonlarında 5 adet stok çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltilerin pH'ları 2, 4, 6, 8, 10 olacak şekilde 0.1 N HCl ve 0.1 N NaOH ile ayarlanmıştır. Ardından 0.05 g Amberlite IRA-958 reçinesi ilave edilerek, optimum süre olan 180 dk adsorpsiyon işlemi yapılarak UV'de okumaları yapılarak kaydedilmiştir. Denemelere ait sonuçlar Tablo 4.43 ve Şekil 4.47 'de verilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda adsorpsiyon kapasitesinin pH 6 'da maksimum olduğunu ve 8, 10 pH'larda adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı, adsorbe edilen metformin HCl miktarının azaldığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 4.43:** Metformin HCl -Amberlite IRA-958 adsorpsiyonunda pH-nabsorbans değerleri.

pH	Absorbans (abs)
2	3.2561
4	3.2279
6	3.2043
8	3.2554
10	3.2745

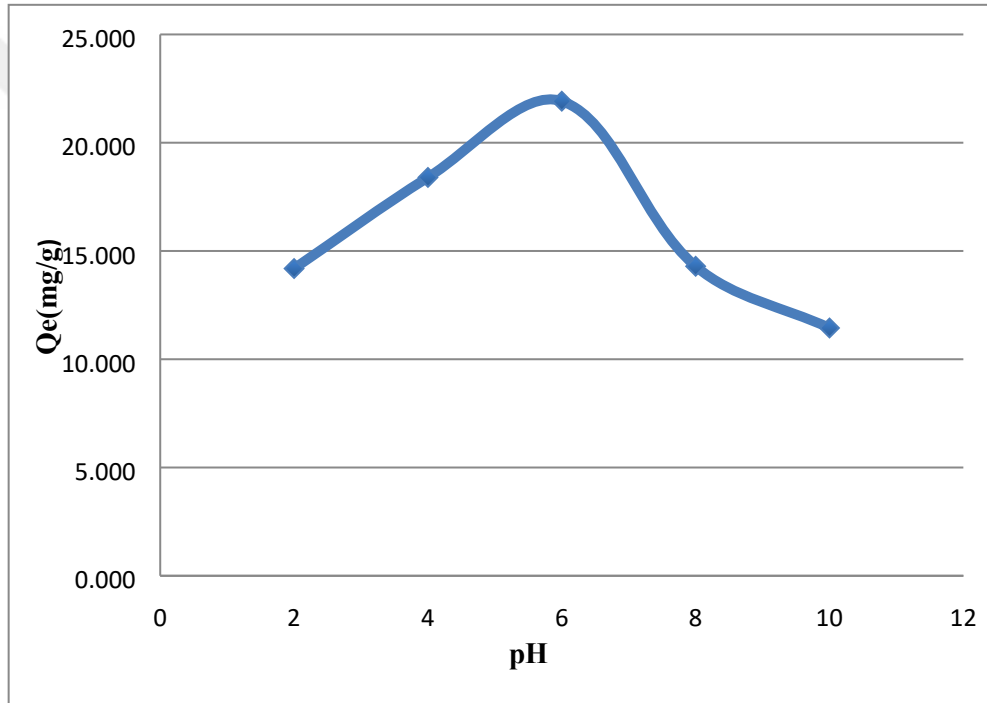


**Şekil 4.47:** Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun pH absorbans değişim grafiği.

Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 reçinesiyle adsorpsiyonunun pH etkisi çalışma verilerine ait hesaplamalar Tablo 4.44 'deki gibidir.

**Tablo 4.44:** Metformin HCl-Amb.IRA-958 adsorpsiyonunda pH etkisi hesaplama verileri.

pH	Absorbans (abs)	Ce (ppm)	C <sub>0</sub> (absorbans)	C <sub>0</sub> (ppm)	Qe (mg/g)
2	3.2561	485.81	3.3512	500	14.189
4	3.2279	481.60	3.3512	500	18.396
6	3.2043	478.08	3.3512	500	21.918
8	3.2554	485.71	3.3512	500	14.293
10	3.2745	488.56	3.3512	500	11.444

**Şekil 4.48:** Amberlite IRA-958 pH değişiminin adsorpsiyona etkisi.

## 4.2. ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

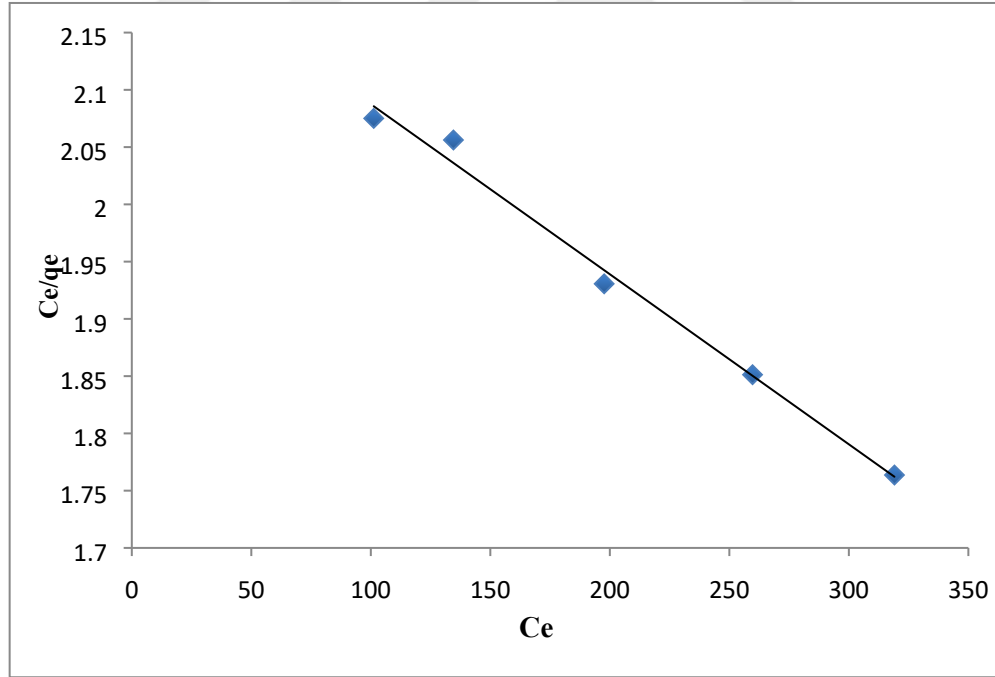
Bu bölümde Metformin HCl'in kullandığımız 4 reçine (Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400, Amberlite IRA-958) ile adsorpsiyon denemeleri sonucunda elde edilen verilerin Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermeleri ile uyumları incelenmiştir.

#### 4.2.1. Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 Adsorpsiyonu İzotermleri

Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesi ile gerçekleştirilen adsorpsiyonuna ait veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. İzotermlere ait veriler ve grafikler aşağıda yer almaktadır.

**Tablo 4.45:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

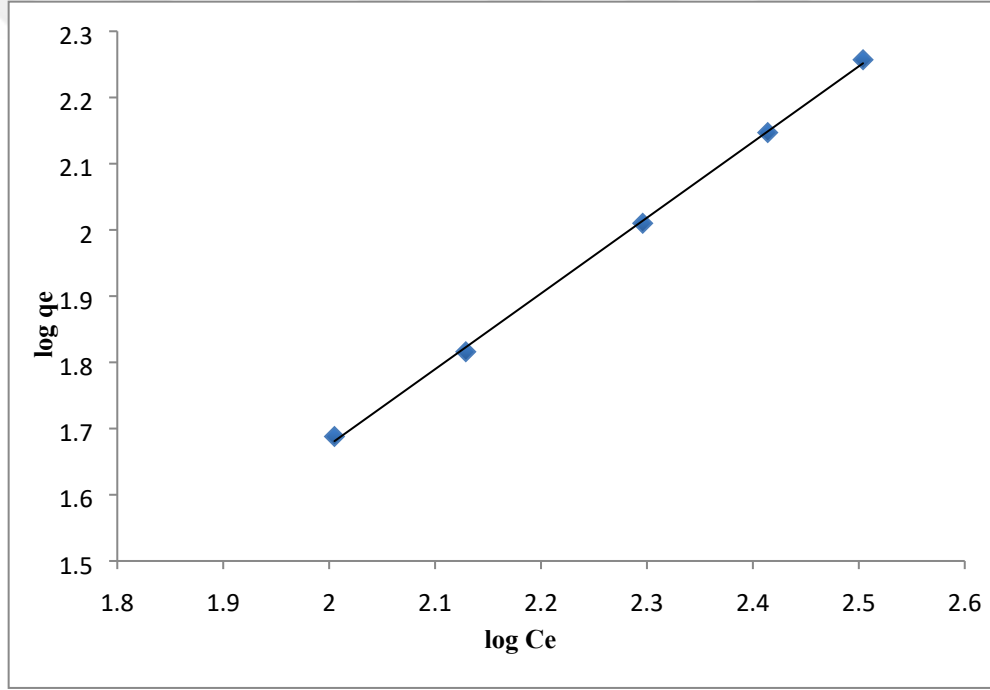
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	Ce / Qe (g/L)
101.22	150	48.779	2.075
134.56	200	65.441	2.056
197.63	300	102.366	1.931
259.71	400	140.289	1.851
319.08	500	180.920	1.764



**Şekil 4.49:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi.

**Tablo 4.46:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

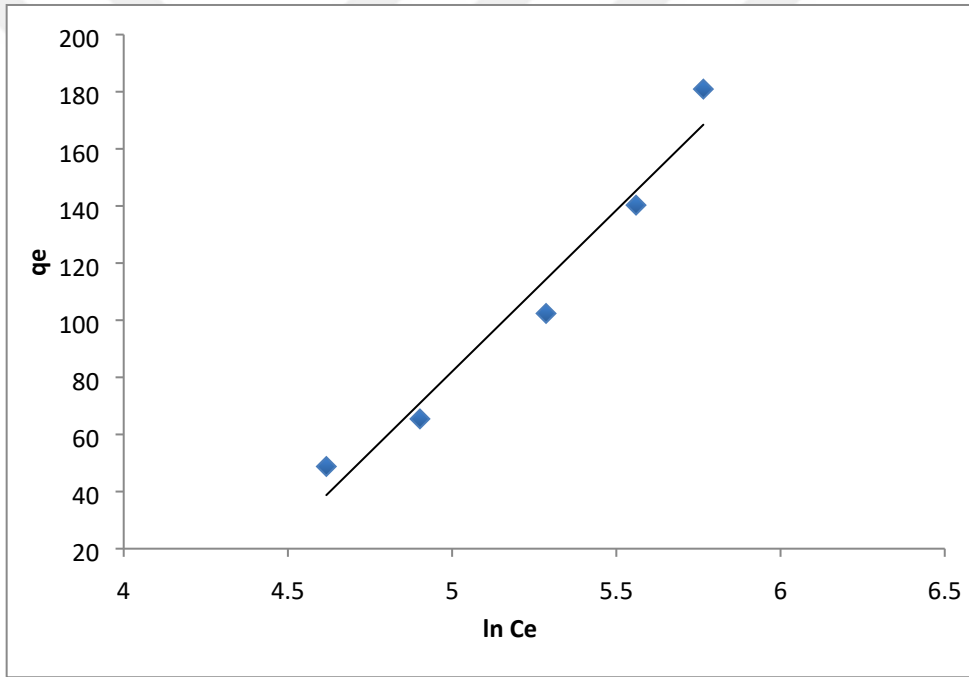
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	log q <sub>e</sub>	log Ce
101.22	150	48.779	1.688	2.005
134.56	200	65.441	1.816	2.129
197.63	300	102.366	2.010	2.296
259.71	400	140.289	2.147	2.414
319.08	500	180.920	2.257	2.504



**Şekil 4.50:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.

**Tablo 4.47:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	ln Ce
101.22	150	48.779	4.617
134.56	200	65.441	4.902
197.63	300	102.366	5.286
259.71	400	140.289	5.560
319.08	500	180.920	5.765

**Şekil 4.51:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.**Tablo 4.48:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R<sup>2</sup> değerleri.

Langmuir İzoterm Sabitleri			Freundlich İzoterm Sabitleri			Temkin İzoterm Sabitleri		
R <sup>2</sup>	Q <sub>0</sub>	b	R <sup>2</sup>	K	n	R <sup>2</sup>	B	K <sub>t</sub>
0.990	-673.854	-6.64.10 <sup>-4</sup>	0.999	0.244	1.144	0.961	112.991	0.0134

Tablo 4.47' deki izoterm sabitleri ve şekil 4.49, şekil 4.50 ve şekil 4.51'den elde edilen verilere göre;

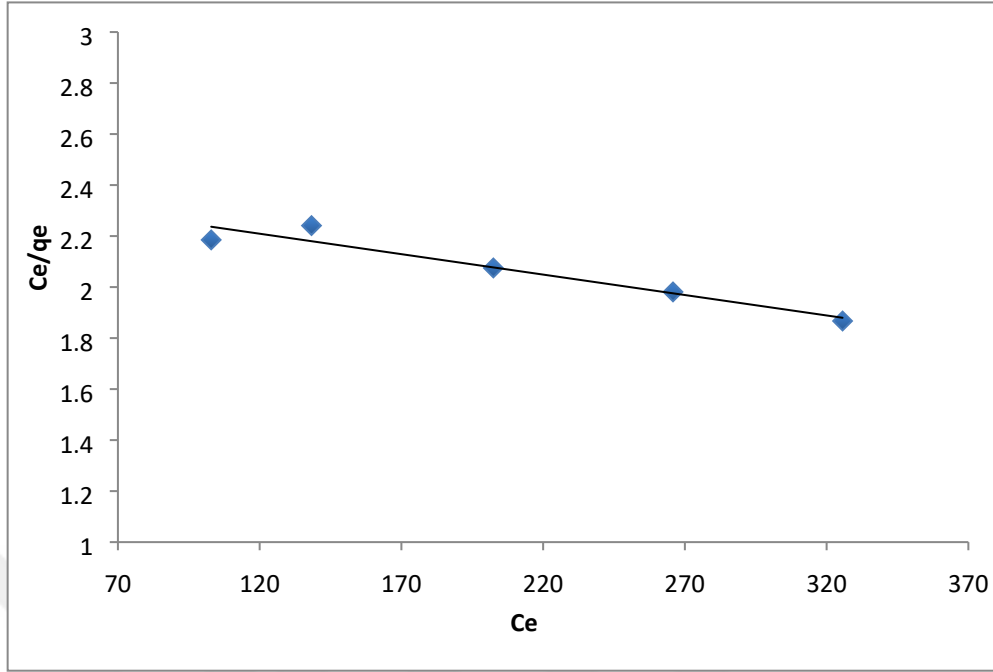
Metformin HCl'in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonu Langmuir izotermine  $R^2$  değerinin yüksek olmasına rağmen  $Q_0$  değerinin eksi çıkması ve grafikte eğimin negatif olmasından dolayı bu adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile açıklanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Freundlich izotermi modelinde  $R^2$  değeri 0.999 , Temkin izoterm modelinde ise 0.961 olarak bulunmuştur. Freundlich izoterm modelinin korelasyon katsayısı 1'e daha yakın olduğundan bu adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline göre Freundlich izotermi ile daha iyi açıklanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.2.2. Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 Adsorpsiyonu İzotermi

Metformin HCl 'in Amberlite IRA-96 reçinesi ile gerçekleştirilen adsorpsiyonuna ait veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. İzotermelere ait veriler ve grafikler aşağıda yer almaktadır.

**Tablo 4.49 :** Metformin HCl' in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

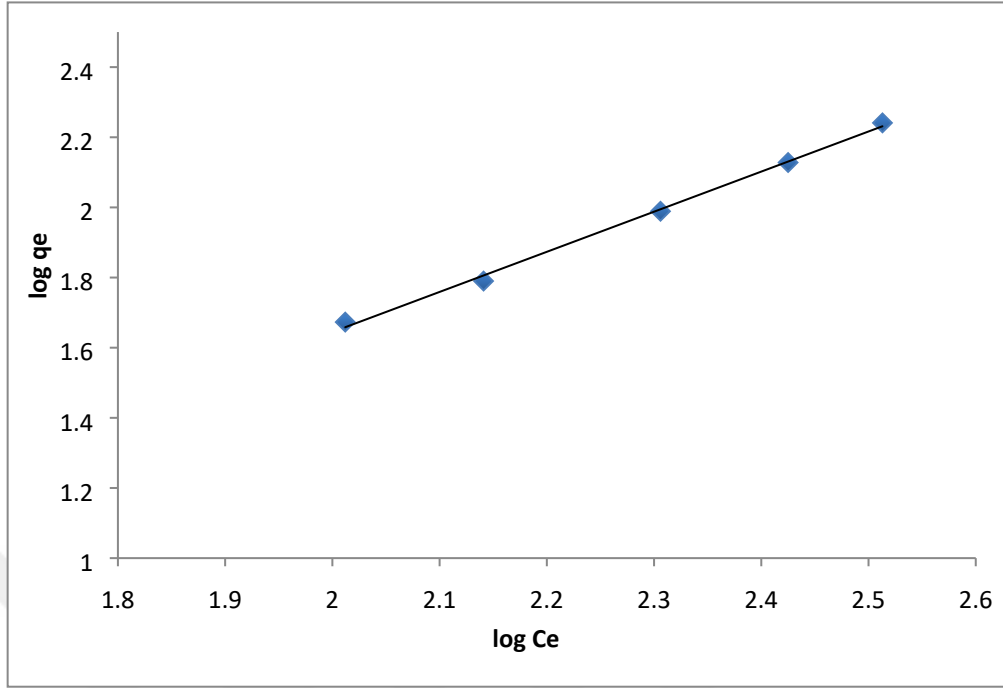
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	Ce / Qe (g/L)
102.90	150	47.096	2.185
138.29	200	61.712	2.241
202.44	300	97.556	2.075
265.81	400	134.189	1.981
325.63	500	174.370	1.867



Şekil 4.52: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi.

Tablo 4.50: Metformin HCl' in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

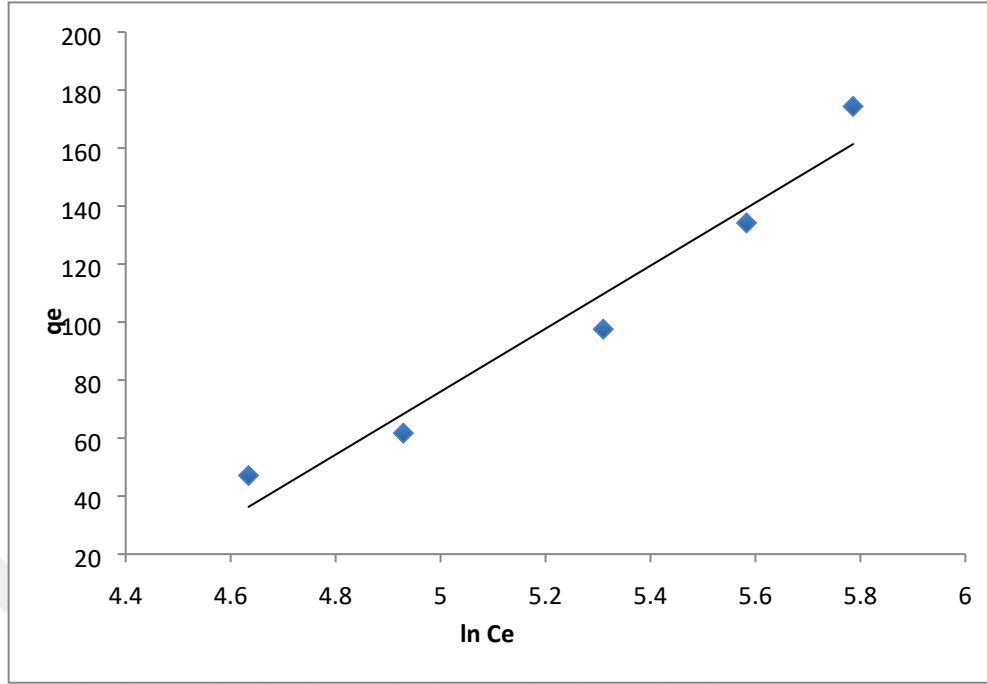
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	log q <sub>e</sub>	log Ce
102.90	150	47.096	1.673	2.012
138.29	200	61.712	1.790	2.141
202.44	300	97.556	1.989	2.306
265.81	400	134.189	2.128	2.425
325.63	500	174.370	2.241	2.513



Şekil 4.53: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.

Tablo 4.51: Metformin HCl' in Amberlite IRA-67 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	ln Ce
102.90	150	47.096	4.634
138.29	200	61.712	4.929
202.44	300	97.556	5.310
265.81	400	134.189	5.583
325.63	500	174.370	5.786



Şekil 4.54: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.

Tablo 4.52: Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve  $R^2$  değerleri.

Langmuir İzoterm Sabitleri			Freundlich İzoterm Sabitleri			Temkin İzoterm Sabitleri		
$R^2$	$Q_0$	b	$R^2$	K	n	$R^2$	B	$K_t$
0.928	-624.025	-6.67.10 <sup>-4</sup>	0.997	0.228	1.144	0.954	108.569	0.0136

Tablo 4.52 'deki izoterm sabitleri ve şekil 4.52, şekil 4.53 ve şekil 4.54'den elde edilen verilere göre;

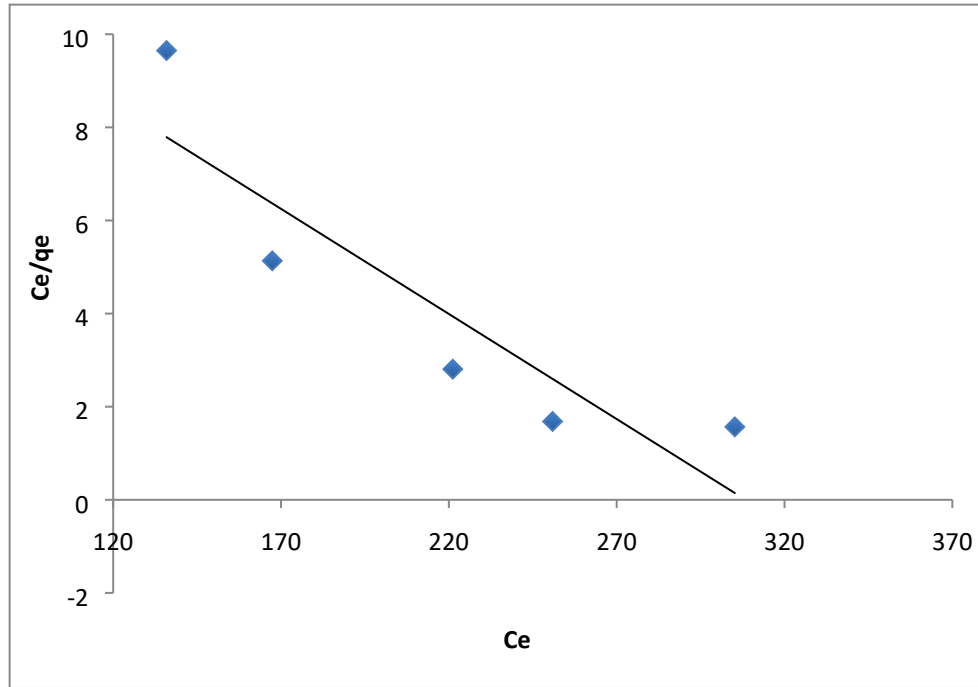
Metformin HCl'in Amberlite IRA-96 ile adsorpsiyonu Langmuir izoterminde  $R^2$  değeri diğer izoterm modellerine göre 1'den daha uzaktadır.  $Q_0$  değerinin eksi çıkması ve grafikte eğimin negatif olmasından dolayı bu adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile açıklanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Freundlich izotermi modelinde  $R^2$  değeri 0.997 , Temkin izoterm modelinde ise 0.954 olarak bulunmuştur. Freundlich izoterm modelinin korelasyon katsayısı 1'e daha yakın olduğundan bu adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline göre Freundlich izotermi ile daha iyi açıklanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.2.3. Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 Adsorpsiyonu İzotermi

Metformin HCl 'in Amberlite IRA-67 reçinesi ile gerçekleştirilen adsorpsiyonuna ait veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. İzotermelere ait veriler ve grafikler aşağıda yer almaktadır.

**Tablo 4.53:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

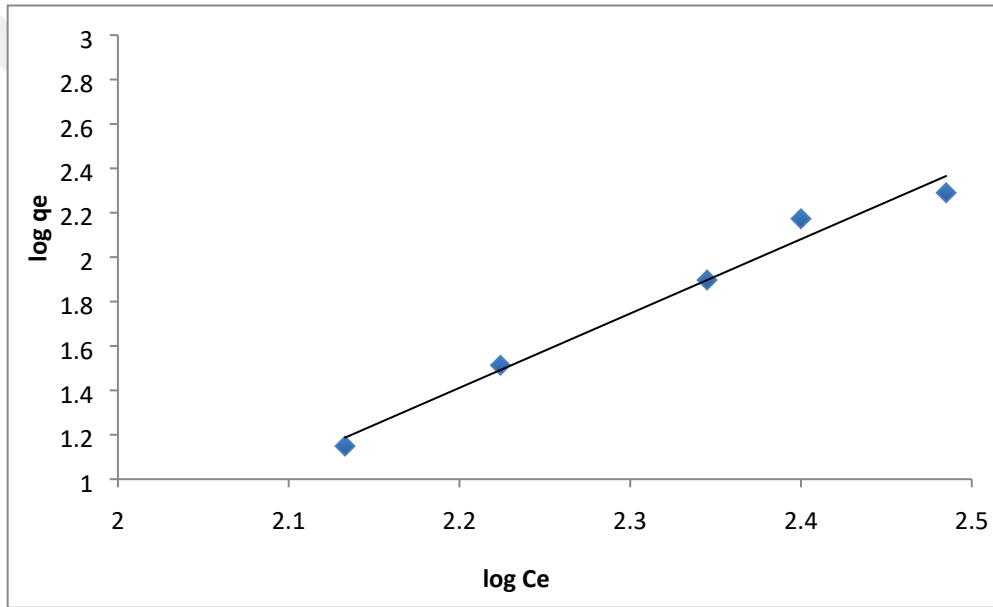
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	Ce / Qe (g/L)
135.91	150	14.086	9.649
167.39	200	32.609	5.133
221.17	300	78.831	2.806
250.90	400	149.105	1.683
305.19	500	194.811	1.567



**Şeki 4.55:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi.

**Tablo 4.54:** Metformin HCL' in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich İzoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

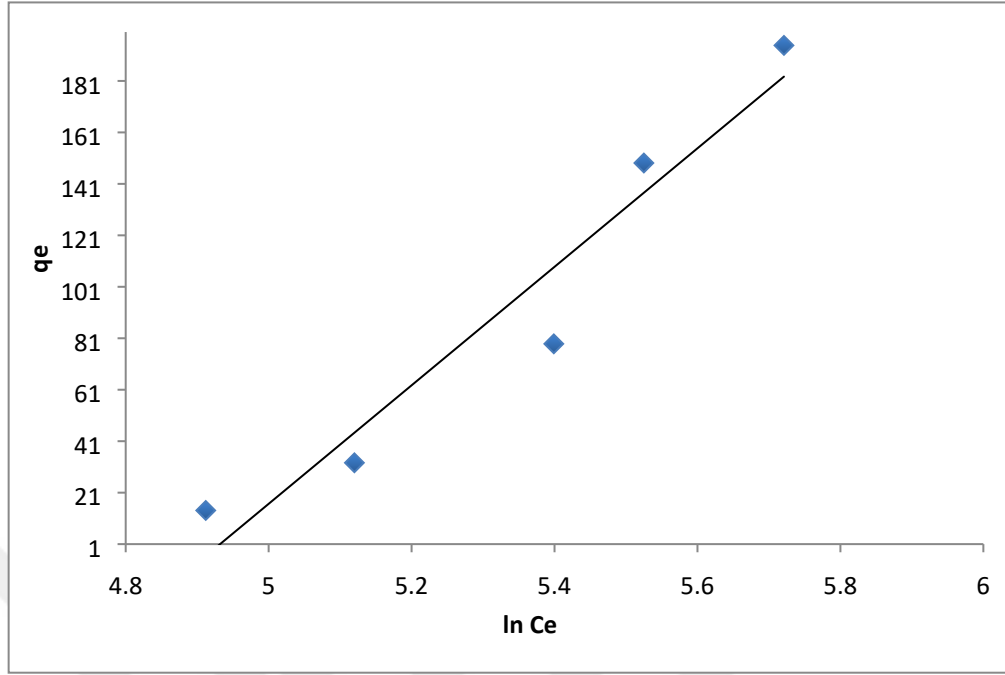
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	log q <sub>e</sub>	log Ce
135.91	150	14.086	1.149	2.133
167.39	200	32.609	1.513	2.224
221.17	300	78.831	1.897	2.345
250.90	400	149.105	2.173	2.400
305.9	500	194.811	2.290	2.486



**Şekil 4.56:** Metformin HCL'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.

**Tablo 4.55:** Metformin HCL' in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	ln Ce
135.91	150	14.086	4.912
167.39	200	32.609	5.120
221.17	300	78.831	5.399
250.90	400	149.105	5.525
305.19	500	194.811	5.721



Şekil 4.57: Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.

Tablo 4.56: Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve  $R^2$  değerleri.

Langmuir İzoterm Sabitleri			Freundlich İzoterm Sabitleri			Temkin İzoterm Sabitleri		
$R^2$	$Q_0$	b	$R^2$	K	n	$R^2$	B	$K_t$
0.800	-22.222	$-3.23 \cdot 10^{-3}$	0.982	$1.11 \cdot 10^{-6}$	3.348	0.931	230.279	$7.24 \cdot 10^{-3}$

Tablo 4.56'daki izoterm sabitleri ve şekil 4.55, şekil 4.56 ve şekil 4.57' den edilen verilere göre;

Metformin HCl'in Amberlite IRA-400 ile adsorpsiyonu Langmuir izoterminde  $R^2$  değeri diğer izoterm modellerine göre 1'den daha uzaktadır.  $Q_0$  değerinin eksi çıkması ve grafikte eğimin negatif olmasından dolayı bu adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile açıklanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Freundlich izotermi modelinde  $R^2$  değeri 0.982 , Temkin izoterm modelinde ise 0.931 olarak bulunmuştur. Freundlich izoterm modelinin korelasyon katsayısı

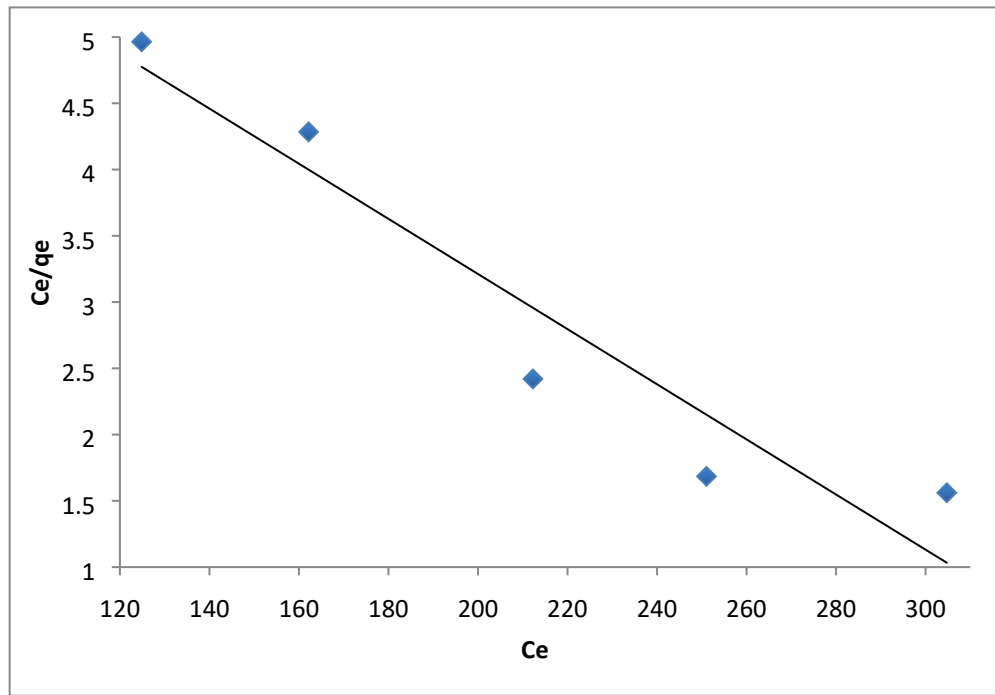
l'e daha yakın olduğundan bu adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline göre Freundlich izotermi ile daha iyi açıklanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.

#### 4.2.4. Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 Adsorpsiyonu İzotermi

Metformin HCl 'in Amberlite IRA-958 reçinesi ile gerçekleştirilen adsorpsiyonuna ait veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. İzotermelere ait veriler ve grafikler aşağıda yer almaktadır.

**Tablo 4.57:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

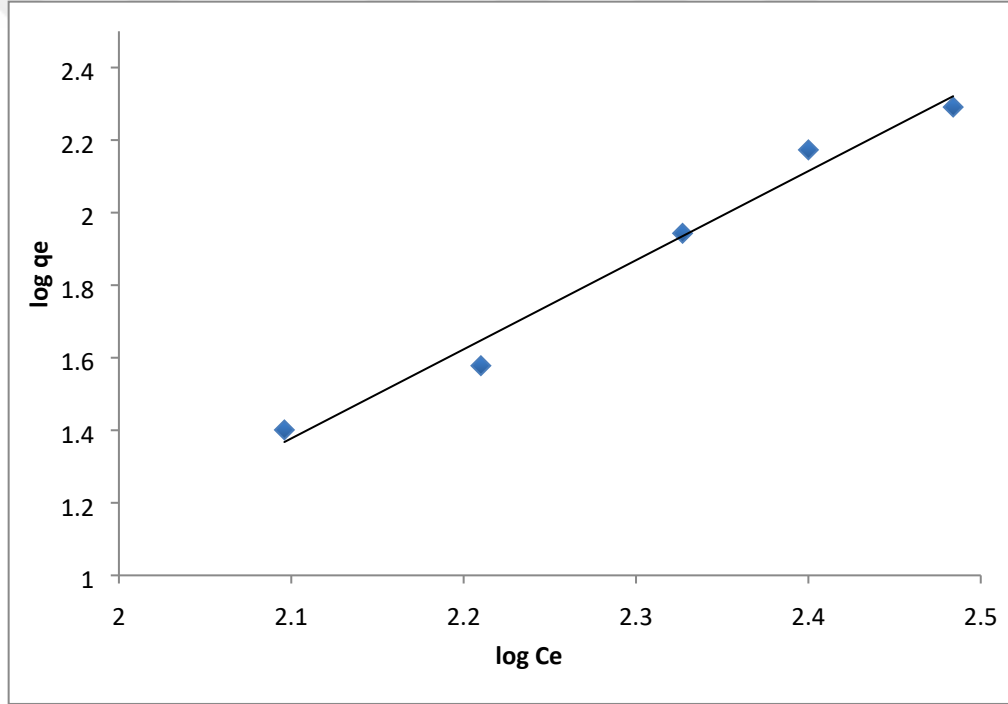
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	Ce / Qe (g/L)
124.85	150	25.151	4.964
162.15	200	37.849	4.284
212.27	300	87.730	2.420
251.05	400	148.950	1.685
304.74	500	195.258	1.561



**Şekil 4.58:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Langmuir izotermi.

**Tablo 4.58:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

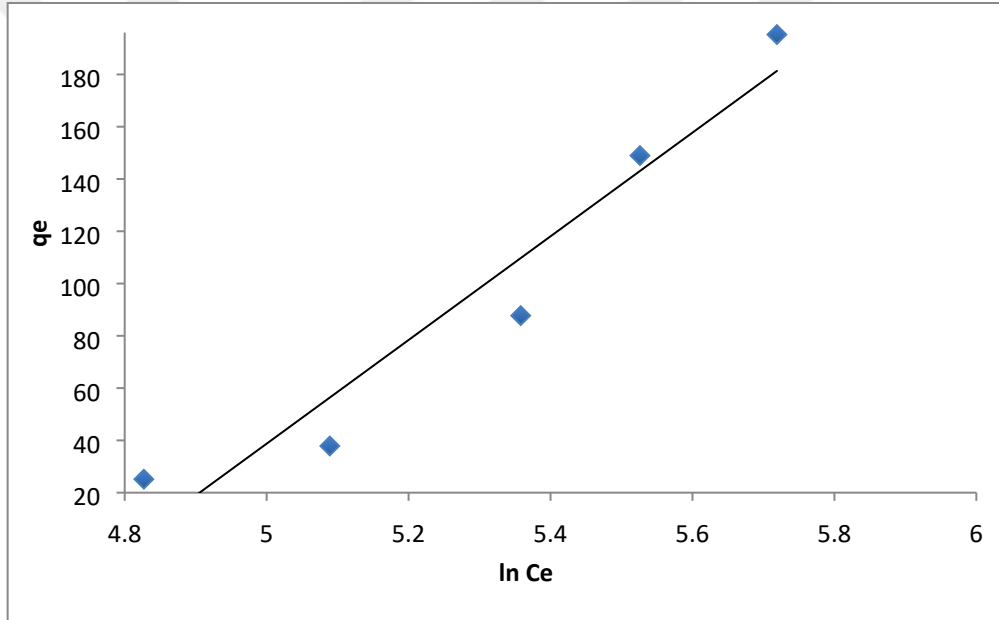
Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Q <sub>e</sub> (mg/g)	log q <sub>e</sub>	log Ce
124.85	150	25.151	1.401	2.096
162.15	200	37.849	1.578	2.210
212.27	300	87.730	1.943	2.327
251.05	400	148.950	2.173	2.400
304.74	500	195.258	2.291	2.484



**Şekil 4.59:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Freundlich izotermi.

**Tablo 4.59:** Metformin HCl' in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izoterm modeline ilişkin deneysel veriler.

Ce (ppm-mg/L)	C <sub>0</sub> (ppm-mg/L)	Qe (mg/g)	ln Ce
124.85	150	25.151	4.827
162.15	200	37.849	5.089
212.27	300	87.730	5.358
251.05	400	148.950	5.526
304.74	500	195.258	5.719

**Şekil 4.60:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonuna ait Temkin izotermi.**Tablo 4.60:** Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonu için hesaplanan Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm sabitleri ve R<sup>2</sup> değerleri.

Langmuir İzoterm Sabitleri			Freundlich İzoterm Sabitleri			Temkin İzoterm Sabitleri		
R <sup>2</sup>	Q <sub>0</sub>	b	R <sup>2</sup>	K	n	R <sup>2</sup>	B	K <sub>t</sub>
0.906	0.992	-8.87.10 <sup>-3</sup>	0.982	1.65.10 <sup>-4</sup>	2.457	0.929	198.324	8.19.10 <sup>-3</sup>

Tablo 4.60 'daki izoterm sabitleri ve şekil 4.58, şekil 4.59 ve şekil 4.59'dan elde edilen verilere göre;

Metformin HCl'in Amberlite IRA-958 ile adsorpsiyonu Langmuir izoterminde  $R^2$  değeri diğer izoterm modellerine göre 1'den daha uzaktadır.  $Q_0$  değerinin eksi çıkması ve grafikte eğimin negatif olmasından dolayı bu adsorpsiyonun Langmuir izotermi ile açıklanamadığı sonucuna ulaşılmıştır. Freundlich izotermi modelinde  $R^2$  değeri 0.982 , Temkin izoterm modelinde ise 0.929 olarak bulunmuştur. Freundlich izoterm modelinin korelasyon katsayısı 1'e daha yakın olduğundan bu adsorpsiyonun Temkin izoterm modeline göre Freundlich izotermi ile daha iyi açıklanabildiği sonucuna ulaşılmıştır.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında ilaç etken maddesi olan metformin hidroklorürün dört farklı iyon değiştirici reçine ( Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400 ve Amberlite IRA- 958 ) kullanılarak adsorpsiyonu incelenmiştir.

Deneysel çalışmaların ilk aşaması olarak doğrusallık yapılmıştır. Bunun için metformin hidroklorürün farklı konsantrasyonlarda sulu çözeltileri hazırlanmıştır ve absorbans değerlerini bulmak için UV spektrofotometre kullanılmıştır. Ardından 500 ppm konsantrasyonunda metformin hidroklorürün ayrı ayrı iyon değiştirici reçinelerle çözeltileri hazırlanarak 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 ve 240 dk boyunca adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Absorbans değerleri incelenerek her bir reçine için optimum süre belirlenmiştir. Daha sonra adsorban miktarı sabit tutularak metformin hidroklorürün başlangıç konsantrasyonları değiştirilerek daha önceki çalışmalarda belirlenen optimum süre kadar adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Diğer bir çalışma olarak da adsorpsiyona adsorban miktarının etkisi incelenmiştir. Bu çalışma için kullanılan iyon değiştirici reçineler farklı miktarlarda alınarak metformin hidroklorür ile adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Ardından sıcaklığın metformin hidroklorürün iyon değiştirici reçinelerle olan adsorpsiyonuna etkisini incelemek amacıyla sabit metformin hidroklorür konsantrasyonu ve adsorban miktarı ile çözeltiler hazırlanarak 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C sıcaklıkta adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece sıcaklığın adsorpsiyon üzerindeki etkisine ait veriler elde edilmiştir. Son olarak da metformin hidroklorürün iyon değiştirici reçinelerle olan adsorpsiyonunda pH etkisinin incelenmesine karar verilmiştir. Bu çalışma için iyon değiştirici reçinelerle ayrı ayrı hazırlanan metformin hidroklorür çözeltileri uygun asit ve baz kullanılarak 2-4-6-8-10 pH 'larına getirilmiştir ve optimum süre boyunca adsorpsiyonu sağlanmıştır. Tüm yapılan bu çalışmalardan elde edilen veriler tablolanıp adsorpsiyona etki eden parametreler ve bunların ne şekilde etki ettikleri grafikler üzerinde belirtilmiştir.

Yapılan bu deneyler sonucu elde edilen verilere dayanarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri çizilmiştir ve metformin hidroklorürün iyon değiştirici reçinelerle olan adsorpsiyonunun izoterm modellerine uyumu gerekli hesaplamalar yapılarak yorumlanmıştır. Bu tez çalışması için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Adsorpsiyon denemeleri sonucunda Amberlite IRA-67, Amberlite IRA-96, Amberlite IRA-400, ve Amberlite IRA-958 için denge süresi 180 dk olarak belirlenmiştir.
- Başlangıç asit konsantrasyonunun artması ile adsorpsiyon kapasitesinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Adsorpsiyona etki eden bir diğer parametre olan adsorban miktarı artışının yapılan çalışmalarda  $q_e$  değerini azalttığı, ancak adsorban miktarının düşük tutulduğunda ise  $q_e$  değerini arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Miktarlar ayrı ayrı ele alınarak iki ayrı çalışma olarak yürütülüp adsorpsiyona etkisi incelenmiştir.
- 25, 30, 35, 40, 45 °C sıcaklıklarda yapılan adsorpsiyon denemelerinde sıcaklığın adsorpsiyona etki eden bir faktör olduğu ve belirtilen çalışma sıcaklığı aralığında  $q_e$  değerlerinin belli bir noktaya kadar arttığı ulaştığı maksimum noktadan sonra ise azaldığı sonucu elde edilmiştir.
- Metformin hidroklorürün iyon değiştirici reçinelerle hazırlanan çözeltilerinin pH değerlerinin 2-4-6-8-10 olarak değiştirilip adsorpsiyona etkisi üzerinde çalışma yürütülmüştür. Elde edilen verilere göre belirtilen aralıktaki pH'nın belli bir pH seviyesine kadar adsorpsiyon kapasitesini arttırdığını sonrasında ise adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı sonuçlarına ulaşılmıştır.
- Dört farklı reçine kullanarak metformin hidroklorürün adsorpsiyonun incelendiği bu çalışmada elde edilen verilere göre korelasyon sayıları hesaplanmış ve izoterm grafikleri çizilmiştir. Bu adsorpsiyon prosesinin negatif eğim ve düşük korelasyon sayısından dolayı Langmuir izotermiyle açıklanamadığı ancak prosesin Freundlich ve Temkin modelleriyle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Freundlich ve Temkin izoterm modelleri karşılaştırıldığında yüksek korelasyon sayısından ve grafiklerinden elde edilen verilere göre bu yapılan tez çalışmasını açıklayan en iyi modellemenin Freundlich izoterm modeli olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Çalışkan E., Göktürk S., 2007, *Sulu Çözeltilerden Sülfametoksazolün Uzaklaştırılması*, Yüksek Lisans, Marmara Üniversitesi.
- [2]. Ternes, T. A., 1998, *Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers*, *water researsch.* 32:3245-3260.
- [3]. Dökmeci H. A., Dökmeci İ., 2009, *Bazı Farmasötik İlaç Kalıntılarının Sulardaki Toksik Etkileri*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [4]. Schwarzenbach, R.P., Gschwend, P.M., Imboden, D.M., 2003, *Enviromental Organic Chemistry*, ISBN: 978-0471357506.
- [5]. Liu B., Liu S., 2011, *Adsorption of levulinic acid from aqueous solution onto basic polymeric adsorbent: Experimental and modeling studies*, *Separation Science and Technology*
- [6]. Baylan N., İlan İ., İnci İ., 2017, *Separation of lactic acid by multiwall carbon nanotube adsorption from water*, *Desalination and Water Treatment*
- [7]. Gültekin, S., 2013, *Kimya Mühendisliğine Giriş*, Papatya Yayınevi, İstanbul, ISBN: 978-605-4220-75-5.
- [8]. Thomas J. W., Crittenden B., 1998, *Adsorption Technology & Design*, Reed Educational and Professional Publishing Ltd., England
- [9]. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, *Kimya Mühendisliği Laboratuvarı II, Adsorpsiyon*, <https://www.selcuk.edu.tr/dosyalar/files/046016/adsorpsiyon.pdf>, Mayıs 2020.
- [10]. Gürellier, R., 2004, *Sularda Düşük Derişimlerde Bulunan Uranyumun Polimerik Adsorbanla Tutulmasının Kinetik İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11]. Kaya, R. H., 2011, *Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyon Yöntemiyle Ni (II) 'nin Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12]. İnci İ., 2018, *Adsorpsiyon ve İyon Değişim Teknolojileri Ders Notları*, Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.
- [13]. Alpaydın S., Şimşek A., 2016, *Genel Kimya*, Eğitim Yayınevi, Konya, ISBN: 978-605-5176-55-6.
- [14]. Rouquerol F., Rouquerol J., Sing K., 1999, *Adsorption by Powders and Porous Solids*, Academic Press, London, ISBN: 0-12-598920-2.

- [15]. Hamutoğlu R., Dinçsoy A.B., Cansaran-Duman D., Aras S., 2012, *Bisorpsiyon, Adsorpsiyon ve Fitoremediasyon Yöntemleri ve Uygulamaları*, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 69(4).
- [16]. Atkins, P.W., 2001, *Fizikokimya*, Bilim Yayıncılık, Ankara, 975-556-049-1.
- [17]. Kwapinski W., Byrne C., Kryachko E., Wolfram P., Adley C., Leahy J. J., 2010, *Biochar from Biomass and Waste*, Department of Chemical and Environmental Sciences, University of Limerick.
- [18]. Dabrowski A., 2001, *Adsorption from Theory to Practice, Advances in Colloid and Interface Science*, M. Curie Sklodowska University, 93,135-224.
- [19]. Çalışkan E., 2011, *Bazı İlaç Etken Maddelerinin Sulu Ortamda ve Yüzey Aktif Maddeler Varlığında Adsorpsiyonunun İncelenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20]. <https://www.chemistrylearning.com/adsorption/> Chemistry Learning-Free Online Education Resource, Mayıs 2020.
- [21]. Donohue M. D., Aranovich G. L., 1998, *Classification of Gibbs Adsorption Isotherm*, Department of Chemical Engineering, The Johns Hopkins University.
- [22]. Günhan G., 2006, *Bazı Boyar Maddelerin Sepiyolit Üzerindeki Adsorpsiyonunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23]. Giles C.H., Smith D., 1974, *General Treatment and Classification of the Solute Adsorption Isotherm*, Journal of Colloid and Interface Science, 47 (3), 755-765.
- [24]. Biçer İ.Ö., 2004, *Bazı Pestisitlerin Hindistan Cevizi Kbuğundan Elde Edilen Adsorbanda Adsorplanarak Sulu Ortamdan Uzaklaştırılması*, Doktora Tezi, M.Ü. Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25]. Deutsch W., 1997, *Groundwater Geochemistry: Fundamentals and Applications to Contamination*, Lewis Publishers, New York.
- [26]. El-Halwany M.M., 2010, *Study of Adsorption Isotherms and Kinetic Models for Methylene Blue Adsorption on Activated Carbon Developed from Egyptian Rice Hull (Part II)*. *Desalination* ; 250, 208–213.
- [27]. Noll E.K., Gounaris V., 1992, *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control*, Lewis Publisher, London, 978-0873713405.
- [28]. Kayman E., 2009, *Sulu Çözeltilerdeki Kurşun İyonlarının Kestane Kabuğu ve Kayısı Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbonlar ile Adorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [29]. Zhang S., Guo S., Li N., Zhang L., Li W., 2008, *Tobacco Stems as a Low Cost Adsorbent for the Removal of Pb(II) from Wastewater: Equilibrium and Kinetic Studies*. *Industrial Crops and Products*, 28, 294-302.

- [30]. Kaykioğlu G., 2016, *Kolemanit ve Üleksit Atığı ile Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Giderimi: Kinetik ve İzoterm Değerlendirmesi*, Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, CBÜ Fen Bil. Dergi., Cilt 12, Sayı 3, 499-509 s
- [31]. Adsorpsiyon İzotermi, 2016, Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Fiziksel ve Kimyasal Temel İşlemler Laboratuvarı Ders Notu
- [32]. <https://www.sites.google.com/site/onewayeskisehir/rapor2>, *Adsorpsiyon Deney Ders Notları*, Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Mart 2020.
- [33]. <https://emicimaddeler.blogspot.com/2017/02/langmuir-izotermi-nedir.html>, Şubat 2020
- [34]. Eren E., 2009, *Removal of lead ions by unye (turkey) bentonite in iron and magnesium oxide-coated form*, Journal Hazardous Materials, 165,63-70.
- [35]. Temkin, M. and Pyzhev, V. ,1940, *Kinetics of Ammonia Synthesis on Promoted Iron Catalysts*, Acta Physicochimica URSS, 12, 217-222.
- [36]. Okumuş Z., Doğan H. T., 2019, *Biyodizeldeki Suyun Reçine ile Uzaklaştırılması: Adsorpsiyon İzotermi, Kinetiği ve Termodinamik İncelemesi*, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi- Sayı 15, S. 561-570.
- [37]. Bayvas F., 1989, *İyon Değiştirici Reçinelerin Yeniden Kazanılması ve Hafif Suyun Yabancı İyonlardan Arındırılması*, Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Ankara.
- [38]. Altuntaş K., 2018, *Kimyasal Temel İşlemler Dersi İyon Değiştirme Ders Notu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, CEV3071.
- [39]. Do D.D, 1998, *Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics*, Imperial College Press, London, ISBN: 1860941370.
- [40]. Bilici İ., 2014, *Sert Su ve Arıtma Yöntemleri Ders Notu*, Hitit Üniversitesi.
- [41]. <https://slideplayer.biz.tr/slide/10601796/İyon-Değiştirici-Reçineler>, Nisan 2020 .
- [42]. Sunil S. A., Murthy R., Srikanth M. V.,2010, *Ion-Exchange Resins as Controlled Drug Delivery Carriers*, University College of Pharmaceutical Sciences, Andhra University, India, 3, 597- 611.
- [43]. Özer Ö., 2012, *Polistiren Sülfonat Saçaklı Mikro Kürelerin Elde Edilmesi ve İyon Değiştirici Olarak Kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44]. <http://bilsenbesergil.blogspot.com>, Nisan 2020.
- [45]. Uslu H., 2009, *Adsorption equilibria of formic acid by weakly basic adsorbent Amberlite IRA-67:Equilibrium, kinetics, thermodynamic*, Beykent University Chemical Engineering Journal 155- 320–325
- [46]. <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/a9960?lang=en&region=TR>, Nisan 2020.

- [47]. <https://www.dupont.com/products/amberliteira67.html>, Nisan 2020.
- [48]. [https://www.chemsrc.com/en/cas/65899-87-8\\_182236.html](https://www.chemsrc.com/en/cas/65899-87-8_182236.html), Nisan 2020.
- [49]. Haslaniza H., Wan Yaacob W. A., Saifullrwan Z. and Maskat M. Y., 2015, *Potential of amberlite IRA 67 resin for deacidification of organic acids in noni juice*, School of Chemical Sciences and Food Technology, Kebangsaan Malaysia.
- [50]. <https://www.dupont.com/products/amberliteira96.html>, Mayıs 2020.
- [51]. [www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IRA-96-L.pdf](http://www.lenntech.com/Data-sheets/Amberlite-IRA-96-L.pdf)- Rohm and Haas, Lenntech Water Treatment and Air Purification /Product Data Sheeets/Amberlite IRA 96.
- [52]. Inamuddin M. L., 2012, *Ion Exchange Technology I: Theory and Materials*, Springer, USA, 978- 94- 007- 1700- 8.
- [53]. <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/247669?lang=en&region=TR>, Mayıs 2020.
- [54]. <https://www.sigmaaldrich.com/MSDS/MSDS/DisplayMSDSPage.do?country=TR&language=tr&productNumber=247669>, Mayıs 2020.
- [55]. [https://www.chemsrc.com/en/cas/122560-63-8\\_1463986.html](https://www.chemsrc.com/en/cas/122560-63-8_1463986.html), Mayıs 2020.
- [56]. S. Mustafa, T. Ahmad, A.Naeem, K.H. Shah, M. Waseem, 2009, *Kinetics of Chromium Ion Removal from Tannery Wastes Using Amberlite IRA-400 Cl<sup>-</sup> and its Hybrids*, National Centre of Excellence in Physical Chemistry, University of Peshawar.
- [57]. [https://nshosting.dow.com/doc-archive/business/ier/ier\\_for\\_industrial\\_water\\_treatment/amberlite\\_ira958\\_cl/tds/amberlite\\_ira958\\_cl.pdf](https://nshosting.dow.com/doc-archive/business/ier/ier_for_industrial_water_treatment/amberlite_ira958_cl/tds/amberlite_ira958_cl.pdf), Mayıs 2020.
- [58]. <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/06478?lang=en&region=TR>, Mayıs 2020.
- [59]. Cingi M.İ., Erol K., 1996, *Farmakoloji*, Anadolu Üniversitesi Yayınları No. 494, Eskişehir, 975-492-231-4.
- [60]. Meney G., 2016, *İlaç Kimyası ve Endüstriyel Uygulamaları Ders Notları*, Hitit Üniversitesi.
- [61]. [www.megep.meb.gov.tr](http://www.megep.meb.gov.tr), 2011, Milli Eğitim Bakanlığı, Sağlık Hizmetleri Sekreterliği, *Sindirim ve Üriner Sistem İlaçları*, 421BB0014, Ankara.
- [62]. Akı E., 2017, *Oral Diyabetik İlaçlar*, Ankara Üniversitesi, Farmasötik Kimya Anabilim Dalı.
- [63]. Garipoğlu G., Akbulut G., 2014, *Oral Antidiabetics Used in the Treatment of Type 2 Diabets Mellitus and Food-Drug and Drug-Drug Interactions*, Türk İç Hastalıkları Uzmanlık Derneği, İç Hastalıkları Dergisi, 21:1-9.

- [64]. [www.drendokrin.org/2012/08/10-soruda-metformin.html](http://www.drendokrin.org/2012/08/10-soruda-metformin.html), Balkan F., 2012, Metforminle İlgili Herşey, Mayıs 2020.
- [65]. Chandira M., B.S.Venkateswarlu, Shankarrao J., B.Jayakar, T.V.Narayana ,2010, *Formulation and Evaluation of Extended Release Tablets Containing Metformin HCl*, International Journal of ChemTech Research Coden, USA, : IJCRGG ISSN : 0974-4290 Vol.2, No.2, pp 1320-1329.
- [66]. [http://www.lupinpharmaceuticals.com/pdf/12/12/PIL%20Metformin%20HCl%20ER%20tabs\\_RTf.PDF](http://www.lupinpharmaceuticals.com/pdf/12/12/PIL%20Metformin%20HCl%20ER%20tabs_RTf.PDF), Mayıs 2020.
- [67]. <https://chem.nlm.nih.gov/chemidplus/name/metformin%20hcl>, Mayıs 2020.
- [68]. Reynolds JEF, ed. *Martindale, The Extra Pharmacopoeia*, Pharmaceutical Press, London, 30th-289.
- [69]. Harry G. Brittain, 1998, *Analytical Profiles of Drug Substances and Excipients* ,Academic Press, USA, 249-250.
- [70]. Ünal A. Z., 2016, *Metforminin Bazı Kemoterapötik İlaçlarla Etkileşmesinin İn Vitro Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- [71]. Ersoy C., 2019, *Erişkinde Güncel Diyabet Tedavisi*, Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı, Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları Bilim Dalı.

**EKLER**



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Hazan KARADUMAN  
 Doğum Yeri İSTANBUL  
 Doğum Tarihi 01.01.1995  
 Uyruğu ■T.C.□ Diğer:  
 Telefon 0554 451 15 95  
 E-Posta Adresi hazan\_krdmn@hotmail.com  
 Web Adresi



### Eğitim Bilgileri

#### Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi  
 Fakülte Mühendislik Fakültesi  
 Bölümü Kimya Mühendisliği  
 Mezuniyet Yılı 2017

#### Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
 Enstitü Adı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
 Anabilim Dalı Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı  
 Programı Temel İşlemler ve Termodinamik

#### Makale ve Bildiriler

