

**AĞIR METAL KİRLİLİĞİ İÇEREN ATIKSULARDA  
ÇEŞİTLİ TÜRDEKİ MAYA ve KÜF MANTARI HÜCRELERİNİN BÜYÜME KİNETİĞİNİN ve  
HÜCRELERDEKİ METAL BİYOBİRİKİMİ İLE BİYOSORPSİYONUNUN KARŞILAŞTIRMALI  
İNCELENMESİ**

**TUĞBA ALP  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
2007**

**AĞIR METAL KİRLİLİĞİ İÇEREN ATIKSULARDA ÇEŞİTLİ TÜRDEKİ MAYA ve  
KÜF MANTARI HÜCRELERİNİN BÜYÜME KİNETİĞİNİN ve HÜCRELERDEKİ  
METAL BİYOBİRİKİMİ İLE BİYOSORPSİYONUNUN KARŞILAŞTIRMALI  
İNCELENMESİ**

**TUĞBA ALP  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
2007**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. ÜNSAL AÇIKEL**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Bu çalışma, jürimiz tarafından, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan...Yrd. Doç. Dr. Meltem SARIOĞLU CEBECİ

Üye .....Yrd. Doç. Dr. Dilek İMREN

Üye .....Yrd. Doç. Dr. Ünsal AÇIKEL

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

17/01/2007

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

Prof. Dr. Halil GÜRSOY

**Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosunun 05.01.1984 tarihli toplantısında kabul edilen ve daha sonra 30.12.1993 tarihinde C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğünce hazırlanan ve yayımlanan “Yüksek Lisans ve Doktora tez yazım Kılavuzu” adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.**

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	i
<b>ÖZET</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	xi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	xii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xvii
<b>SİMGELER DİZİNİ</b> .....	xx
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. MATERYAL ve METOD</b> .....	3
2.1. Atıksular.....	3
2.1.1. Atıksular ve genel özellikleri .....	3
2.1.2. Ağır metal kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri.....	7
2.1.2.1. Bakır(II) kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri.....	9
2.1.2.2. Nikel(II) kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri.....	10
2.1.2.3. Bakır(II) ve nikel(II) kirliliğini bir arada içeren atıksular ve arıtım yöntemleri.....	10
2.2. Mikroorganizmalar.....	10
2.2.1. Mikroorganizmaların genel özellikleri .....	10
2.2.2. Mikroorganizmaların büyümesi.....	11
2.2.2.1. Enerji kaynağı .....	12
2.2.2.2. Azot kaynağı .....	12
2.2.2.3. Mineral kaynağı .....	12
2.2.3. Mikroorganizmanın büyümesine etki eden parametreler.....	12
2.2.3.1. pH .....	12
2.2.3.2. Sıcaklık.....	13
2.2.3.3. Oksijen ihtiyacı.....	13
2.2.4. Mikroorganizmaların büyüme evreleri.....	13
2.2.4.1. Gecikme evresi.....	14
2.2.4.2. Logaritmik evre.....	14
2.2.4.3. Duraklama evresi.....	14
2.2.4.4. Sabit evre.....	14
2.2.4.5. Ölüm evresi.....	14
2.2.5. Mantarlar .....	15
2.2.5.1. Şapkallı mantarlar.....	15
2.2.5.2. Küf mantarları.....	15
2.2.5.2.1. <i>Rhizopus delemar</i> .....	16
2.2.6. Mayalar.....	16

2.2.6.1. <i>Candida lipolytica</i> .....	19
2.3. Adsorpsiyon.....	19
2.3.1. Adsorpsiyon, özellikleri, sınıflandırılması ve adsorpsiyonu etkileyen faktörler.....	19
2.3.1.1. Mikroorganizmaların ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda kullanılması.....	20
2.3.1.2. Mikroorganizmalara ağır metal iyonlarının adsorpsiyon mekanizması .....	22
2.3.1.3. İkili ağır metal iyonu karışımlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonu.....	24
2.4. Biyobirikim.....	24
2.4.1. Ağır metal iyonlarının biyobirikimi ve mikroorganizmaların biyobirikimde kullanılması.....	25
2.5. Deney Sistemi ve Yöntemleri.....	27
2.5.1. Adsorpsiyon çalışmaları.....	27
2.5.1.1. Mikroorganizma ve üretilmesi.....	27
2.5.1.2. Mikroorganizmanın, tekli ve ikili metal iyonu karışımlarının adsorpsiyon için hazırlanması ve adsorpsiyon çalışmaları.....	28
2.5.1.3. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan deney düzeneği.....	28
2.5.2. Biyobirikim çalışmaları.....	29
2.5.2.1. Mikroorganizmalar ve üretim yöntemleri.....	29
2.5.2.2. Mikroorganizmaların metal iyonu içeren besin ortamlarına alıştırılması.....	29
2.5.2.3. Deneyler.....	29
2.5.2.4. Analiz yöntemleri .....	30
2.5.2.4.1. Mikroorganizma derişimi tayini.....	30
2.5.2.4.2. Sakkaroz derişimi tayini.....	30
2.5.2.4.3. Bakır(II)/nikel(II) iyon derişiminin tayini.....	30
2.5.2.4.4. Bakır(II)-nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda her bir metal iyon derişiminin tayini.....	30
2.6. Deney Sisteminin Matematiksel Tanımlanması .....	30
2.6.1. Adsorpsiyon deneyleri.....	30
2.6.1.1. Adsorpsiyon hızı.....	30
2.6.1.2. Adsorpsiyon verimi.....	31
2.6.1.3. Toplam adsorpsiyon verimi.....	32
2.6.1.4. Adsorpsiyon dengesinin matematiksel tanımlanması.....	32
2.6.1.4.1. Tek bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izoterm eşitlikleri.....	32
2.6.1.4.2. İki bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izoterm eşitlikleri.....	34
2.6.2. Biyobirikim deneyleri.....	35
2.6.2.1. Mikroorganizma özgül üreme hızı.....	35
2.6.2.2. Metal iyonu içermeyen ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	35
2.6.2.3. Metal iyonu içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	36

2.6.2.3.1. Tek inhibitör içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	36
2.6.2.3.2. Birden fazla inhibitör içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	37
<b>3. BULGULAR.....</b>	<b>41</b>
3.1. Adsorpsiyon Deneyleeri.....	41
3.1.1. <i>Rhizopus delemar</i> çalışmaları.....	41
3.1.1.1. Tek bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	41
3.1.1.1.1. Sadece bakır(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	41
3.1.1.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	41
3.1.1.1.1.2. Başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	42
3.1.1.1.1.3. Bakır(II) iyonu için adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması .....	43
3.1.1.1.2. Sadece nikel(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	45
3.1.1.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	45
3.1.1.1.2. 2. Başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi.....	45
3.1.1.1.2.3. Nikel(II) iyonu için adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması .....	46
3.1.1.2. İki bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları .....	48
3.1.1.2.1. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının <i>R. delemar</i> 'a adsorpsiyonu.....	48
3.1.1.2.1.1. Sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	48
3.1.1.2.1.2. Sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi.....	50
3.1.1.2.3. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Langmuir adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması.....	51
3.1.1.2.4. Bakır(II)- nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Freundlich adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması .....	53
3.1.2. <i>Candida lipolytica</i> çalışmaları.....	55
3.1.2.1. Tek bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	55
3.1.2.1.1. Sadece bakır(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	55
3.1.2.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	55
3.1.2.1.1.2. Başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	55
3.1.2.1.1.3. Bakır(II) iyonunun adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması .....	56
3.1.2.1.2. Sadece nikel(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları.....	58
3.1.2.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	58
3.1.2.1.2.2. Başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi.....	58

3.1.2.1.2.3. Nikel(II) iyonunun adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması .....	59
3.1.2.2. İki bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları .....	61
3.1.2.2.1. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının <i>C. lipolytica</i> 'ya adsorpsiyonu .....	61
3.1.2.2.1.1. Sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi .....	61
3.1.2.2.1.2. Sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi .....	63
3.1.2.2.1.3. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Langmuir adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması .....	64
3.1.2.2.1.4. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Freundlich adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması eşitlik sabitlerinin bulunması .....	66
3.2. Biyobirikim Deneylei .....	68
3.2.1. Metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi .....	68
3.2.1.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları .....	68
3.2.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	68
3.2.1.1.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi .....	69
3.2.1.1.3. Kinetik sabitlerin bulunması .....	70
3.2.1.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları .....	71
3.2.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	71
3.2.1.2.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi .....	72
3.2.1.2.3. Kinetik sabitlerin bulunması .....	73
3.2.2. Bakır(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi .....	74
3.2.2.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları .....	74
3.2.2.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	74
3.2.2.1.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi .....	75
3.2.2.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması .....	76
3.2.2.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları .....	79
3.2.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	79
3.2.2.2.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi .....	79
3.2.2.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması .....	80
3.2.3. Nikel(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi .....	83
3.2.3.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları .....	83
3.2.3.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi .....	83



3.2.3.1.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi.....	83
3.2.3.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	84
3.2.3.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları.....	87
3.2.3.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	87
3.2.3.2.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi.....	87
3.2.3.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	88
3.2.4. Bakır(II)-nikel(II) karışımlarını birarada içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmaların üreme kinetiğinin incelenmesi.....	91
3.2.4.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları.....	91
3.2.4.1.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	91
3.2.4.1.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi.....	93
3.2.4.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	95
3.2.4.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları.....	97
3.2.4.2.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	97
3.2.4.2.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi.....	99
3.2.4.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	100
3.2.5. Mikroorganizmalara metal biyobirikiminin incelenmesi.....	103
3.2.5.1. Bakır(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmalara bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	103
3.2.5.1.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları.....	103
3.2.5.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	103
3.2.5.1.1.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi.....	103
3.2.5.1.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları.....	105
3.2.5.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	105
3.2.5.1.2.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi.....	105
3.2.5.2. Nikel(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmalara nikel(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	106
3.2.5.2.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları.....	106
3.2.5.2.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	106
3.2.5.2.1.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi.....	107
3.2.5.2.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları.....	108
3.2.5.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi.....	108
3.2.5.2.2.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi.....	109

3.2.5.3. Bakır(II)-nikel(II) karışımlarını birarada içeren melaslı besin ortamında bakır(II) ve nikel(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	110
3.2.5.3.1. <i>R. delemar</i> çalışmaları.....	110
3.2.5.3.1.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi ..	110
3.2.5.3.1.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi ..	113
3.2.5.3.2. <i>C. lipolytica</i> çalışmaları.....	114
3.2.5.3.2.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	114
3.2.5.3.2.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi...	116
<b>4. TARTIŞMA ve SONUÇ</b> .....	118
<b>5. KAYNAKLAR</b> .....	125
<b>6. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	131
<b>7. EKLER</b> .....	132
Ek 1. Bakır(II) ve Nikel(II) İyon Derişimlerinin Tayini .....	132
Ek 2. Melas Sakkarozu Derişiminin Tayini.....	133
Ek 3. Mikroorganizma Derişimi Tayini.....	134

**TEŞEKKÜR**

Bu tez çalıőmamın her aşamasında benden yardımlarını esirgemeyen ve beni en iyi Şekilde yönlendirip bilgilendiren tez danıőmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Ünsal AÇIKEL'e, deneysel çalıőmalarımda bana yardımcı olan Arő. Gör. Mehtap GÖRGÜN'e, Uzman Hasan PINAR'a, Prof. Dr. Yeőim SAĞ AÇIKEL'e, bölüm başkanımız Prof. Dr. Hülya GÜLER'e ve bütün öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olup maddi manevi desteklerini ve emeklerini eksik etmeyen aileme teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Mikroorganizma büyüme evreleri .....	15
Şekil 3.1. <i>R. delemar</i> için bakır(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'nın adsorpsiyon hızına etkisi (Co: 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	42
Şekil 3.2. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	43
Şekil 3.3. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....	44
Şekil 3.4. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....	44
Şekil 3.5. <i>R. delemar</i> için nikel(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'nın adsorpsiyon hızına etkisi (Co: 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	45
Şekil 3.6. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	46
Şekil 3.7. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....	47
Şekil 3.8. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....	47
Şekil 3.9. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	49
Şekil 3.10. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	49
Şekil 3.11. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	50
Şekil 3.12. <i>R. delemar</i> için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	51
Şekil 3.13. <i>R. delemar</i> için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik $q_{den}$ değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	52
Şekil 3.14. <i>R. delemar</i> için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik $q_{den}$ değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	52
Şekil 3.15. <i>R. delemar</i> için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik $q_{den}$ değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	54
Şekil 3.16. <i>R. delemar</i> için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik $q_{den}$ değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	54
Şekil 3.17. <i>C. lipolytica</i> için bakır(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'nın adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (C <sub>o</sub> : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....	55

- Şekil 3.18. *C. lipolytica* için pH 4.0'te başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....56
- Şekil 3.19. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....57
- Şekil 3.20. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....57
- Şekil 3.21. *C. lipolytica* için nikel(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'nın adsorpsiyon hızı üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....58
- Şekil 3.22. *C. lipolytica* için pH 4.0'te başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....59
- Şekil 3.23. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....60
- Şekil 3.24. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi .....60
- Şekil 3.25. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....62
- Şekil 3.26. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....62
- Şekil 3.27. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm) .....63
- Şekil 3.28. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm).....64
- Şekil 3.29. *C. lipolytica* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....65
- Şekil 3.30. *C. lipolytica* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....65
- Şekil 3.31. *C. lipolytica* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....67
- Şekil 3.32. *C. lipolytica* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....67
- Şekil 3.33. Başlangıç pH'nın *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C,  $S_0$ : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....69
- Şekil 3.34. Başlangıç sakkaroz derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....70
- Şekil 3.35. *R. delemar*'a ait  $1/\mu-1/S_0$  grafiği .....71

- Şekil 3.36. Başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm) .....72
- Şekil 3.37. Başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....73
- Şekil 3.38. *C. lipolytica*'ya ait  $1/\mu-1/S_0$  grafiği .....74
- Şekil 3.39. 100.0 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Cu</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm) .....75
- Şekil 3.40. Başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm) .....76
- Şekil 3.41. *R. delemar* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....77
- Şekil 3.42. *R. delemar* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....78
- Şekil 3.43. *R. delemar* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....78
- Şekil 3.44. 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Cu</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm) .....79
- Şekil 3.45. Başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm).....80
- Şekil 3.46. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....81
- Şekil 3.47. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....82
- Şekil 3.48. *C. lipolytica* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....82
- Şekil 3.49. 100.0 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Ni</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm) .....83
- Şekil 3.50. Başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm) .....84
- Şekil 3.51. *R. delemar* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....85
- Şekil 3.52. *R. delemar* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....86

Şekil 3.53. <i>R. delemar</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	86
Şekil 3.54. 100.0 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S <sub>o</sub> : 10 g/L, C <sub>oNi</sub> : 100 mg/L, KH: 150 rpm) .....	87
Şekil 3.55. Başlangıç nikel(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>o</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	88
Şekil 3.56. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	89
Şekil 3.57. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	90
Şekil 3.58. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	90
Şekil 3.59. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin <i>R. delemar</i> 'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S <sub>o</sub> : 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....	92
Şekil 3.60. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin <i>R. delemar</i> 'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S <sub>o</sub> : 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....	94
Şekil 3.61. <i>R. delemar</i> için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	96
Şekil 3.62. <i>R. delemar</i> için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	96
Şekil 3.63. <i>R. delemar</i> için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	97
Şekil 3.64. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S <sub>o</sub> : 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....	99
Şekil 3.65. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S <sub>o</sub> : 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm) .....	100
Şekil 3.66. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	101
Şekil 3.67. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	102
Şekil 3.68. <i>C. lipolytica</i> için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması .....	102

Şekil 3.69. Başlangıç bakır(II) derişiminin <i>R. delemar</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan bakır(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	104
Şekil 3.70. Başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan bakır(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	106
Şekil 3.71. Başlangıç nikel(II) derişiminin <i>R. delemar</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan nikel(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	108
Şekil 3.72. Başlangıç nikel(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan nikel(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	109
Şekil 3.73. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>R. delemar</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	111
Şekil 3.74. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin <i>R. delemar</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	114
Şekil 3.75. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm).....	116
Şekil 3.76. 0- 250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S <sub>0</sub> : 10 g/L, KH: 150 rpm) .....	117
Şekil E.1. Bakır(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu .....	132
Şekil E.2. Nikel(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu .....	133
Şekil E.3. Melas sakkarozu derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu .....	134
Şekil E.4. <i>R. delemar</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu .....	135
Şekil E.5. <i>C. lipolytica</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu .....	135
Şekil E.6. <i>R. delamar</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu .....	136
Şekil E.7. <i>C. lipolytica</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu .....	136



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri.....	6
Çizelge 2.2. Atıksuların atıksu alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar .....	7
Çizelge 2.3. Bazı endüstriyel atıksuların içerdiği bakır(II) derişimleri.....	9
Çizelge 2.4. Bazı endüstriyel atıksulardaki nikel(II) derişimleri.....	10
Çizelge 3.1. Bakır(II) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerinden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri.....	45
Çizelge 3.2. Nikel(II) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterminden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri .....	48
Çizelge 3.3. <i>R. delemar</i> için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir eşitliğine göre bulunan $\alpha$ , $\beta$ adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri ....	51
Çizelge 3.4. <i>R. delemar</i> için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Freundlich eşitliğine göre bulunan x, y, z adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri.....	53
Çizelge 3.5. Bakır(II) adsorpsiyonunda, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterminden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri.....	58
Çizelge 3.6. Nikel(II) adsorpsiyonunda, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterminden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri.....	61
Çizelge 3.7. <i>C. lipolytica</i> için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir eşitliğine göre bulunan $\alpha$ , $\beta$ adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri.....	64
Çizelge 3.8. <i>C. lipolytica</i> için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Freundlich eşitliğine göre bulunan x, y, z adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri.....	66
Çizelge 3.9. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>R. delemar</i> 'ın özgül üreme hızları ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri.....	70
Çizelge 3.10. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri.....	73
Çizelge 3.11. Bakır(II) iyonlarının <i>R. delemar</i> 'ın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....	77
Çizelge 3.12. Bakır(II) iyonlarının <i>C. lipolytica</i> 'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....	81
Çizelge 3.13. Nikel(II) iyonlarının <i>R. delemar</i> 'ın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....	85

- Çizelge 3.14. Nikel(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....89
- Çizelge 3.15. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri.....93
- Çizelge 3.16. Bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *R. delemar*'ın üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....95
- Çizelge 3.17. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri.....98
- Çizelge 3.18. Bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri.....101
- Çizelge 3.19. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına etkisi ( $C_{oCu}$ : 100 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L).....103
- Çizelge 3.20. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *R. delemar* için elde edilen maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri .....104
- Çizelge 3.21. Başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına etkisi ( $C_{oCu}$ : 100 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L).....105
- Çizelge 3.22. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen maksimum tutulan bakır(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri.....106
- Çizelge 3.23. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirdiği nikel(II) derişimine ve birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi ( $C_{oNi}$ : 100.0 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L).....107
- Çizelge 3.24. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *R. delemar* için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri.....107
- Çizelge 3.25. Başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirdiği nikel(II) derişimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi ( $C_{oNi}$ : 100 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L).....108
- Çizelge 3.26. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri .....110
- Çizelge 3.27. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *R. delemar* için maksimum biyobiriktirilen bakır(II) ve nikel(II) derişimleri, birim kuru

mikroorganizma tarafından tutulan bakır(II) ve nikel(II) miktarları ve %bakır(II) ve %nikel(II) giderim değerleri.....	112
Çizelge 3.28. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde <i>C. lipolytica</i> için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri.....	115
Çizelge 4.1. <i>R. delemar</i> ve <i>C. lipolytica</i> mikroorganizmaları için bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının optimum adsorpsiyon gösterdiği pH'da elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri.....	119
Çizelge 4.2. <i>R. delemar</i> ve <i>C. lipolytica</i> için pH 4.0'te Monod eşitliğinden bulunan maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ) ve doygunluk sabiti ( $K_s$ ) değerleri.....	121
Çizelge 4.3. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışımındaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların üremesi üzerine etkisi.....	121
Çizelge 4.4. Bakır(II)/nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir mikroorganizmanın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan yarışmalı inhibisyon model sabitleri.....	122
Çizelge 4.5. Tekli ve ikili karışımındaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların metal biyobirikimi üzerine etkisi.....	123
Çizelge 4.6. <i>R. delemar</i> ve <i>C. lipolytica</i> için tekli durumdabirim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) iyonlarıyla birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktirilen bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının karşılaştırılması.....	124
Çizelde 4.7. <i>R. delemar</i> ve <i>C. lipolytica</i> için ikili durumda birim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) iyonlarıyla birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktirilen bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının karşılaştırılması .....	124

## SİMGELER DİZİNİ

- $\alpha, \beta$ : Birinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabitleri
- $b$  : Adsorpsiyon entalpisi ile ilgili sabit
- $b_I$ : Birinci bileşene ait adsorpsiyon sabiti
- $b_{II}$ : İkinci bileşene ait adsorpsiyon sabiti
- $C$ : Herhangi bir anda adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan metal iyonu derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_{ad,d}$ : Dengede mikroorganizma tarafından adsorplanan metal iyonu derişimi (mg metal iyonu/ L çözelti)
- $C_{(ad,d)I}$ : Birinci metal iyonunun dengede adsorplanan derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_{(ad,d)II}$ : İkinci metal iyonunun dengede adsorplanan derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_o$ : Başlangıç metal iyonu derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_{oI}$ : Birinci metal iyonunun başlangıç derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_{oII}$ : İkinci metal iyonunun başlangıç derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)
- $C_{den}$ : Dengede, adsorplanmadan çözültide kalan adsorplanan bileşen derişimi (mg adsorplanan bileşen /L çözelti)
- $C_{denI}$ : Birinci bileşenin, dengede, adsorplanmadan çözültide kalan derişimi (mg birinci bileşen /L çözelti)
- $C_{denII}$ : İkinci bileşenin, dengede, adsorplanmadan çözültide kalan derişimi (mg ikinci bileşen /L çözelti)
- $I$ : İnhibisyona neden olan bileşenin derişimi (mg/L)
- $K_F$ : Sıcaklığa, adsorbente ve adsorplanan bileşene bağlı, adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü gösteren adsorpsiyon sabiti
- $K_{FI}$  : Birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon sabiti
- $K_I$ : İnhibisyon sabiti (mg/L)
- $K_S$  : Doygunluk sabiti (g/L)
- $M, S$ : Mikroorganizma ve substrat derişimleri (g/L)
- $\mu$  : Özgül üreme hızı ( $sa^{-1}$ )
- $\mu_m$ : Maksimum özgül üreme hızı ( $sa^{-1}$ )
- $n$  : Adsorpsiyon şiddetini gösteren adsorpsiyon derecesi
- $n_I$ : Birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon derecesi
- $r_{ad}$ : Adsorpsiyon hızı (mg adsorplanan metal iyonu/g mikroorganizma- dakika)
- $Q^o$ : Yüzeyde tam bir tek tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan bileşen miktarı(mg adsorplanan bileşen/g adsorbent)

- q: Birim mikroorganizma kütlesi tarafından adsorplanan metal iyonu miktarı ( mg metal iyonu /g mikroorganizma)
- $q_{den}$ : Denge, birim adsorplayıcı başına adsorplanan bileşen miktarı (mg adsorplanan bileşen /g adsorbent)
- $q_{den1}$ : Birinci bileşenin, dengede, birim adsorplayıcı başına adsorplanan miktarı (mg adsorplanan birinci bileşen /g adsorbent)
- t: Zaman (sa)
- X: Mikroorganizmanın (adsorbent) çözeltideki derişimi (g mikroorganizma/L çözelti)
- x, y, z: İki bileşenli sistemde birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon sabitleri

## 1. GİRİŞ

Dünya'da ve Türkiye'de görülen hızlı nüfus artışı, kentleşme ve hızlı sanayileşmenin getirdiği altyapı yetersizlikleri ve yeterli sayıda atık arıtım tesisinin bulunmayışı gibi nedenler, beraberinde gittikçe büyük boyutlara ulaşan çevre kirliliği sorununu da getirmekte, su kirliliği ise bu kirliliğin en önemli boyutunu oluşturmaktadır. Su kirliliği, su kaynaklarının kullanımını engelleyecek veya zarar verme derecesinde kalitesini düşürecek biçimde suyun içerisinde organik, inorganik, radyoaktif veya biyolojik bir maddenin bulunması olarak tanımlanmaktadır (D.S.İ., 1980; Aksu, 1988; Atımtay ve Yetiş, 1992).

Taşındıkları teknolojik önem nedeniyle çeşitli endüstrilerde oldukça yaygın olarak kullanılan ağır metal iyonlarının neden olduğu su kirliliği önemli bir kirlilik türüdür. Ağır metal kirliliği içeren atıksular BOİ (biyolojik oksijen ihtiyacı) değeri düşük, asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için oldukça zehirli etkiye sahip, inorganik karakterli sulardır. Maden, metal kaplama, metal işleme, boya, porselen kaplama endüstrileri atıksuları önemli miktarda bakır(II) kirliliği içerirken; maden, boya, kimya sanayi, plastik kaplama atıksularında ise nikel(II) kirliliği istenmeyen derişimlerde dir. Bu tür kirleticileri içeren atıksuların, su standartlarına göre kontrolünün yapılması ve atıksudaki derişimlerinin mutlaka istenen seviyelere düşürülmesi gereklidir (Patterson, 1977; WHO: Recommendations 1982; Uslu ve Türkman, 1987; Aksu, 1988; Su Kirliliği Yönetmeliği, 1988; Özbelge, 1992; Macaskie, 1997).

Atıksulardan ağır metal iyonlarının gideriminde kullanılan klasik yöntemler (çöktürme, iyon değişimi, ters ozmoz, aktif karbon adsorpsiyonu vb.) özellikle düşük metal iyonu derişimlerinde arıtma veriminin düşük olması, yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği, arıtma sonrasında yeni kirleticilerin oluşması gibi nedenlerden dolayı pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır. Son yıllarda ağır metal kirliliği içeren ve düşük pH'a sahip atıksularda üreyebilen ve metal iyonlarına karşı direnci fazla olan mikroorganizmaların, metal iyonlarını hücre yapısına alarak biriktirme yeteneğinden yararlanarak ağır metal kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Genel olarak bu çalışmalarda sakkaroz, glukoz gibi şekerleri içeren yapay besin ortamlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Eğer besin ortamında yüksek oranda sakkaroz ve tuz bileşenleri içeren melas gibi atıklar kullanılacak olursa, mikroorganizmanın üretiminin daha ekonomik olacağı düşünülebilir (Patterson, 1977; Atımtay ve Yetiş, 1992; Aksu, 1998; Aksu and Dönmez, 2000; Aksu and Dönmez, 2001).

Bu tez çalışmasının amacı, kesikli sistemde, *Rhizopus delemar* mantarının ve *Candida lipolytica* mayasının ağır metal iyonu içeren melaslı besin ortamlarında üreme kinetiğinin ve hücrelerdeki metal biyobirikimi ile biyosorpsiyonunun karşılaştırmalı incelenmesidir.

Çalışmanın ilk aşamasında adsorpsiyon deneyleri *Rhizopus delemar* mantarı ve *Candida lipolytica* mayasıyla tekli ve ikili metal iyonu karışımlarının farklı derişimlerinde yapılmıştır. Adsorpsiyon çalışmalarının başlangıcında ilk olarak optimum biyosorpsiyon pH değeri

belirlenmiştir. Optimum biyosorpsiyon pH'ında sadece bakır(II) veya nikel(II) içeren ortamlarda yapılan deneylerde her iki mikroorganizma için de adsorpsiyon hız ve verimi bulunarak sonuçların Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluğu araştırılmış ve adsorpsiyon izoterm sabitleri bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır.

Adsorpsiyon deneylerinin sonraki aşamasında ise bakır(II)-nikel(II) metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a ve *C. lipolytica*'ya ikili adsorpsiyonu incelenmiştir. İkili karışım çalışmalarında çeşitli sabit metal iyonu derişimlerinde diğfer metal iyonu derişimi değıştirilerek adsorpsiyon hız ve verimliliğı araştırılarak sonuçlar tekli metal iyonu çalışmalarında bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Çalışmaların ikinci kısmında metal iyonu içermeyen besin ortamında mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ının ve başlangıç substrat (sakkaroz) derişiminin etkileri araştırılmıştır. Özgül üreme hızı ile ana karbon kaynağı sakkaroz derişimi arasındaki ilişkiyi veren Monod eşitliğinden her bir mikroorganizmaya ait maksimum özgül üreme hızı ve doyunluk sabiti değerleri bulunmuştur.

Çalışmaların daha sonraki kısmında mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ı ve başlangıç substrat (sakkaroz) derişiminin etkileri araştırılmış, herbir mikroorganizmaya ait kinetik sabitler Monod eşitliğinden bulunmuştur. Ortamda metal iyonlarının bulunması mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Tekli bakır(II) veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında, metal iyonlarının herbir mikroorganizma üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. Bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren melaslı besin ortamında metal iyonlarının ortak inhibisyon etkisi modellenerek inhibisyon türü saptanmış ve her bir metal iyonuna ait inhibisyon sabiti bulunmuştur.

Çalışmaların son kısmında ise sadece bakır(II) veya nikel(II) ve her iki iyonu farklı derişimlerde beraber içeren besin ortamlarında herbir mikroorganizmanın metal biyobiriktirme kapasitesi başlangıç metal iyon derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş, mikroorganizmaların metal biyosorplama ve biyobiriktirme değerleri bulunarak karşılaştırılmıştır.

## 2. MATERYAL ve METOD

### 2.1. Atıksular

#### 2.1.1. Atıksular ve genel özellikleri

Endüstride ve kentlerde kullanıldıktan sonra alıcı ortam olan nehir, deniz ve göllere boşaltılan sulara atıksu denir. Su kirliliği ise su ortamının doğal dengesinin bozulması olarak genel bir ifadeyle tanımlanabilir. Su kirliliği, aynı zamanda alıcı ortam su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, balıkçılıkta, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının boşaltılmasını da ifade etmektedir (Patterson, 1977; Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, 1986; Atımtay ve Yetiş, 1992; Viel and et al., 2003).

Sular, fiziksel, kimyasal ve/veya biyolojik kirlilik gösterebilir.

Suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi (renk, koku, tat, sıcaklık, saflık vs.) fiziksel kirliliğe neden olur. Suyun sıcaklığının değişmesi, gazların sudaki çözünürlüğünü değiştirir. Ayrıca suyun yoğunluğu, vizkozitesi, yüzey gerilimi sıcaklıkla değişir. Koku ve tat suyun estetik değerini etkiler. Diğer kirlitici parametrelerin ve aerobik/anaerobik ortamların varlığının göstergelerinden biridir. Renk ve bulanıklık ise suya ışık sızmasını ve buna bağlı olarak organizma gelişimini etkiler ve suyun estetik özelliklerini değiştirir. Su yaşamına zararlı etki gösterebilir ve diğer kirliticilerin varlığının göstergelerinden biridir (Aksu, 1988; Atımtay ve Yetiş, 1992).

Suda bulunan ağır metaller ve inorganik atıklar atıksuda kimyasal kirlilik yapar. Azot, fosfor, ağır metaller ve radyoaktif maddeler suyun yoğunluğunu, tadını ve osmotik basıncını, iletkenliğini değiştirir. Bu maddeler suyun içerdiği çözünmüş oksijen derişimini düşürür ve suda yaşayan canlıları etkiler. Kimyasal kirliticiler özelliklerine göre üç sınıfta toplanabilir:

1. Bozulmadan kalanlar: Klorür gibi inorganik bileşiklerde zamanla parçalanma görülmez. Derişimleri alıcı suda zamanla artarken yağmur suyu ile azalır.
2. Değişebilenler: Biyolojik olarak parçalanabilen organik kirliticilerdir. Mikroorganizmalar tarafından parçalanarak inorganik kararlı maddelere dönüşürler.
3. Kalıcılar: Zamanla biyolojik birikime yol açan civa, arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, bakır gibi metaller, tarım ilaçları gibi organik maddeler ve uzun yarı ömürlü radyoaktif maddelerdir.

Su kaynakları organik atıkların etkisiyle üreyen alg, küfler ve bakterilerle de biyolojik olarak kirlenir. Patojenik bakteri ve virüsler su yaşamını etkiler ve insan sağlığını etkiler (Sundstrom and Klei, 1979).

Türkiye’de Su Kirliliği Yönetmeliği, su kalite kontrolüne yönelik, yasal ve teknik esasları kapsamaktadır. Yönetmelikte kıta içi su kaynaklarının kullanımına göre sınıflandırılması ve her



sınıf için gerekli su kalitesi parametreleri incelenmiştir. Bu yönetmelikten yararlanarak, başlıca dört ana su sınıfının kullanım ve kalite kriterleri belirlenerek Çizelge 2.1’de sunulmuştur (Uslu ve Türkman, 1987; Su Kirliliği Yönetmeliği, 1988).

Yönetmelikte, ayrıca kanalizasyona boşaltım koşulları da esasa bağlanmıştır. Yönetmeliğe göre kanalizasyona belli derişimlerde verilebilecek kirleticilere de ön arıtma zorunluluğu getirilmektedir. Kentsel kanalizasyon sistemlerine bağlantı için öngörülen standartlar ise Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Atıksu arıtımında temel amaç, suyun kirlilik derecesinin kullanım yerine göre istenilen düzeye indirilmesidir. Bu amaca yönelik olarak uygulanan başlıca üç çeşit arıtım yöntemi vardır.

1. Mekanik yöntemler: Bu yöntemler atıksuyun içerdiği askıda kolloidal partikülleri ve diğer iri katı maddeleri sudan ayırarak, ileriki proseslere arıtılmak üzere hazırlayan yöntemlerdir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

i) Izgara ve Elekler: Atıksuyun arıtım tesisine girişinde yer alan ilk işlemdir. Amaç, atıksu yüzeyinde yüzen katı maddeleri uzaklaştırarak makinelerin etkilenmesini engellemektir. Eleklerde tutulan büyük parçalar daha sonra gömülür, yakılır veya küçük parçalara öğütülerek atıksuya karıştırılır.

ii) Dengeleme Havuzları: Atıksularda debi, bileşim ve kirlilik yükünün zaman içindeki değişimlerinin dengelenmesini ve arıtma tesislerine giden atıksu debisinin düzenli olmasını sağlar. Dengeleme havuzlarında bileşimin homojenleştirilmesi ve askıdaki katı maddelerin çökmesinin engellenmesi için karıştırma uygulanır. Diğer yandan, dengeleme havuzunda yapılan karıştırma ve havalandırma ile indirgenmiş bileşiklerin oksidasyonu ve BOİ azaltılması sağlanır.

iii) Çöktürme Havuzları: Katı-sıvı karışımından katı parçacıkların yerçekimi etkisiyle, karışımın bulunduğu kabın ya da havuzun alt kısmında toplanarak ayrılması işlemidir. Bu işlem, tesise giren kum, çakıl ve diğer organik ve inorganik katıların birincil çökeltme tanklarında ayrılmasında, suyun sertliğini gidermede kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu yumakların ve çökeleklerin ayrılmasında, biyolojik proses sonucunda oluşan biyokütlenin ikincil tanklarda ayrılmasında uygulanır.

iv) Yüzdürme (Floataşyon): Atıksularda bulunan sıvı ve katı maddelerin yüzdürülerek su yüzeyinde toplanmasını ve sıyırılmasını sağlayan işlemdir. Yüzdürme işlemi sıvı ortama verilen gaz (genellikle hava) kabarcıklarının, yüzdürülecek tanelere tutunarak bunları yukarıya doğru birlikte hareket ettirmeleri şeklinde olur. Sudan daha hafif olan ve çökelmeyen yağ damlacıkları da bu yöntemle yüzeye taşınabilir. Böylece su yüzeyinde köpükler halinde toplanan katılar ve küçük yağ damlacıkları yüzeyden uzaklaştırılırlar.

v) Yağ Ayırma: Demir-çelik, metal kaplama, rafineri, maden arama endüstrileri atıksularının yağ içeriği gibi, çevreye değişik nedenlerle sızan yağlar da kanalizasyon suyuna sızabilir. Sonuçta yağ ayırma önemli bir işlem olarak ortaya çıkacaktır. Yağların ayrılmasında

suyun özelliklerine göre farklı kimyasal (yumaklaştırma, çöktürme) ve fiziksel (yüzdürme, pıhtılaştırma) yöntemler kullanılmaktadır.

2. Biyolojik yöntemler: Bu yöntemlerde kendi ağırlığı ile çökemeyen asılı yada kolloidal tanecikler ile çözülmüş organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından giderilmesi sağlanır. Mikroorganizmalar bu maddeleri aerobik koşullarda besin ve enerji kaynağı olarak kullanır. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücrelerine, bir kısmı da enerjiye dönüşür. Biyolojik arıtma yöntemleri, sistemde oksijenin olup olmamasına bağlı olarak, aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılır (Atımtay ve Yetiş, 1992).

3. Kimyasal ve fizikokimyasal yöntemler: Kimyasal arıtma prosesleri atıksudaki bileşiklerin kimyasal yapısını değiştirerek onları arıtmaya yarar. Kimyasal arıtma proseslerinde daha az zararlı veya zararsız atıklar oluşur. Kimyasal arıtım yöntemleri şu şekilde sıralanabilir.

i) pH ve nötralizasyon: Endüstriyel atıksular, kullanılan prosese göre asidik veya bazik karakter gösterir. Bu atıklara boşaltım işlemi yapılmadan ya da diğer arıtım yöntemleri kullanılmadan önce nötralizasyon işlemi yapılması gerekir. Bir biyolojik arıtım ünitesindeki optimum pH 6.5-8.5 arasındadır.

ii) Pıhtılaştırma ve topaklaştırma: Pıhtılaştırma ve topaklaştırma su ya da atıksuda bulunan, askıda ya da kolloidal maddelerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanmaktadır. Bu maddeler alıçılmış çökeltme teknikleri ile çökelmeyen  $10^{-7}$ - $10^{-9}$  cm parçacık büyüklüğünde ve bulanıklığa neden olan taneciklerdir. Pıhtılaştırmada en yaygın olarak kullanılan kimyasallar, alüminyum sülfat (şap) ve demir tuzlarıdır.

iii) Yumaklaştırma: Hızlı karıştırma sonrası yüzey yükleri en aza indirgenen ve aralarında itici güç bulunmayan parçacıkların biraraya getirilerek, daha büyük tanecikler oluşturmaları yumaklaştırma tankında gerçekleştirilir ve sonuçta çökeltme tankında çökmeleri sağlanır.

iv) Kimyasal çöktürme: Kimyasal çöktürmenin endüstriyel atıksu arıtımında en yaygın uygulaması ağır metallerin giderilmesi amacına yöneliktir. Bu işlemde amaç, atıksuda çözülmüş bileşikler halinde bulunan ağır metallerin en az çözünür hale dönüştürülmesi, ya da atıksuda bulunan kimyasal dengenin çeşitli kimyasal maddeler eklenerek bozulup yeni bir kimyasal dengeye dönüştürülmesidir. Sönmüş kireç (CaO, CaO.MgO ve Ca(OH)<sub>2</sub>), kostik soda (NaOH) ve soda (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) kimyasal çöktürmede yaygın olarak kullanılan kimyasallardır.

v) Dezenfeksiyon: Su ya da atıksuda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmaların öldürülmesi işlemidir. Bu amaçla; oksitleyici maddeler, ağır metal katyonları (Ag, Au, Hg), organik bileşikler, ısı, UV, pH gibi fiziksel faktörler uygulanabilmektedir (Atımtay and Yetiş, 1992).

Aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi, çözücü ekstraksiyonu, ters ozmoz, elektrodializ, kimyasal indirgeme, yükseltgeme gibi fizikokimyasal yöntemler suların daha ileri düzeyde arıtılması için kullanılan diğer yöntemlerdir (Gurnham, 1965; Eckenfelder, 1966; Clark and et al., 1971; Weber, 1972; Patterson, 1977).

Çizelge 2.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları*			
	A	B	C	D
<b>A. Genel fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler</b>				
1. Sıcaklık (°C)	25	25	30	>30
2. pH	6.5-8.5	6.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0 dışında
3. Çözülmüş oksijen (mg/L)	8	6	3	>3
4. Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	>40
5. Klorür iyonu (mg/L)	200	200	400	>400
6. Sülfat iyonu (mg/L)	200	200	400	>400
7. Amonyum azotu (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/L)	0.2	1	2	>2
8. Nitrat azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L)	5	10	20	>50
9. Toplam fosfor (mg PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> -P/L)	0.02	0.16	0.65	>0.65
10. Toplam çözülmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	>5000
11. Sodyum (mg/L)	125	125	250	>250
<b>B. Organik parametreler</b>				
1. KOI (mg/L)	25	50	70	>70
2. BOI <sub>5</sub> (mg/L)	4	8	20	>20
3. Organik karbon (mg/L)	5	8	12	>12
4. Alkil benzen sülfonat (mg/L)	0.05	0.2	1	>1.5
<b>C. İnorganik endüstriyel kirlenme parametreleri</b>				
1. Civa (µg/L)	0.1	0.5	2	>2
2. Kadmiyum (µg/L)	3	5	10	>10
3. Kurşun (µg/L)	10	20	50	>50
4. Bakır (µg/L)	20	50	200	>200
5. Krom (toplam) (µg/L)	20	50	200	>200
6. Nikel(II) (µg/L)	20	50	200	>200
7. Çinko (µg/L)	200	500	2000	>2000
8. Siyanür (toplam) (µg/L)	10	50	100	>100
9. Florür (µg/L)	1000	1500	2000	>2000
10. Serbest klor (µg/L)	10	10	50	>50
11. Sülfür (µg/L)	2	2	10	>10
12. Demir (µg/L)	300	1000	5000	>5000
13. Mangan (µg/L)	100	500	3000	>3000
14. Baryum (µg/l)	1000	2000	2000	>2000
<b>D. Organik endüstriyel kirlenme parametreleri</b>				
1. Fenolik maddeler(uçucu) (mg/L)	0.002	0.01	0.1	>0.1
2. Mineral yağlar ve türevleri (mg/L)	0.02	0.1	0.5	>0.5
3. Toplam pestisid (mg/L)	0.001	0.01	0.1	>0.1
<b>E. Biyolojik parametreler</b>				
1. Fekal koliform/ 100 mL	10	2000	20000	>20000

(\*A sınıfı: İçme ve kullanma suyu; B sınıfı: Yüzme, balıkçılık ve rekreasyon suları; C sınıfı: Endüstri, tarım ve balıkçılıkta kullanılan sular; D sınıfı: Soğutma suyu)

Çizelge 2.2. Atıksuların atıksu alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar

Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu alt yapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu alt yapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6.5-10.0	6.0-10.0
Askıda katı madde (mg/L)	500	350
Yağ ve gres	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/L)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KDI)(mg/L)	4000	500
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	1000	1000
Toplam sülfür (S) (mg/L)	2	2
Fenol (mg/L)	20	10
Serbest klor (mg/L)	5	5
Toplam azot (N) (mg/L)	-(a)	40
Toplam fosfor (P) (mg/L)	-(a)	10
As (mg/L)	3	10
Toplam CN <sup>-</sup> (mg/L)	10	10
<b>Ağır Metaller</b>		
Toplam Pb (mg/L)	3	3
Toplam Cd (mg/L)	2	2
Toplam Cr (mg/L)	5	5
Toplam Hg (mg/L)	0.2	0.2
Toplam Cu (mg/L)	2	2
Toplam Ni (mg/L)	5	5
Toplam Zn (mg/L)	10	10
Toplam Sn (mg/L)	5	5
Toplam Ag (mg/L)	5	5
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

### 2.1.2. Ağır metal kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri

Ağır metal kirliliği içeren atıksular biyolojik oksijen ihtiyacı değeri düşük, genellikle asidik, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlılar için çok zehirli, kendi kendine temizlenme veya arıtmada etken mikroorganizmaları öldürücü nitelikte inorganik karakterli sulardır. Kirliliği yapan arsenik, civa, kurşun, krom, kadmiyum, nikel, demir, bakır, çinko gibi ağır metal iyonları ile radyoaktif elementlerdir (Al-Asheh and et al., 2003).

Maden endüstrisi, metal endüstrisi ve sanayi tesisleri atıksuları, ağır metal kirliliği içeren başlıca endüstrilerdir.

1. Maden endüstrisi: Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için, madenden çıkarılarak atılması gereken maden drenajları yüksek derişimlerde kalsiyum, magnezyum, demir, ve düşük derişimlerde alüminyum, mangan ve diğer ağır metal iyonlarını içerir. Bakır, çinko, kurşun, krom, gümüş, altın, nikel, uranyum gibi madenleri içeren cevherlerin gerek topraktan çıkarılması, gerekse temizlenmesi, öğütülmesi ve saflaştırılması esnasında oldukça fazla su kullanılır ve bu sular yüksek derişimlerde adı geçen metal iyonlarını içerir.

2. Metal endüstrisi: Otomobil, metal kaplama, metal işleme, boya, porselen, metal bitirme işlemleri gibi endüstrilerin çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde fazla miktarda su kullanılır ve atıksuları bu metal iyonlarını içerir.

3. Sanayi tesisleri: Sanayi tesisleri atıksuları, en fazla ağır metal kirliliği ve zehirliliği içeren atıksulardır. Metal kaplama sanayi, otomotiv fabrikaları, elektrik, elektronik, mutfak ve ev eşyaları üreten sanayi tesisleri, boru, kapsül, tüfek, makina ve boya endüstrileri atıksuları bu gruba girer (Gurnham, 1965; Clark and et al., 1971; D.S.İ., 1980; Aksu, 1988).

Ağır metal kirliliği içeren atıksuların arıtımı, temelde kimyasal olarak metal iyonunun çökebilene bir bileşiği şekline dönüştürülmesine dayanır. Çöktürmede başlıca üç tür yöntem kullanılır (Gurnham, 1965; Clark and et al., 1971; Gönenç, 1991; Atımtay ve Yetiş, 1992; Çalık, 1998; Haktanır ve Arcak, 1998).

1. İndirgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemle yüksek değerlikli metal çökebilene bir şekline indirgindikten sonra nötralize edilir. Reaktifin aşırısı metali çökeltir ve istenilen metal ortamdan ayrılmış olur. Bu yöntem özellikle kromlu atıkların arıtımında kullanılır.

2. Yükseltgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemle indirgenmiş metal kararlı, yükseltgenmiş ve çözünmeyen şekillerine dönüştürülür. Bu tür bir atık arıtma prosesinde birbirini takip eden üç basamak vardır: Bu basamaklar havalandırma, sedimantasyon ve filtrasyondur. Atıksu, havalandırma havuzunda yükseltgenme tamamlanıncaya kadar tutulduktan sonra, bir filtre ile yükseltgenmiş metal sudan ayrılır. Kolay yükseltgenmeyen metaller için havalandırma yeterli olmadığından prosese kimyasal yükseltgeme basamağı da eklenir. Bu yöntem özellikle demir ve mangan içeren atıksular için kullanılır.

3. Nötralizasyon-çökeltme yöntemi: Bakır, çinko, nikel, demir, krom, içeren atıksularda nötralizasyonla bu metaller nötralize edilerek çökeltilir ve ortamdan uzaklaştırılır.

Ağır metal kirliliği içeren atıksuların arıtımında kullanılan diğer yöntemler arasında adsorpsiyon, iyon değiştirme ve elektrokoagülasyon da sayılabilir (Pollard and et al., 1992).

İyon değiştirme yöntemi metal iyonlarının elektrostatik kuvvetlerle fonksiyonel grup halinde katı yüzeyinde tutularak ortamdaki farklı türdeki iyonlarla değiştirilmesi ilkesine dayanır. Bu amaçla en çok iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır (Eckenfelder, 1966).

Adsorpsiyonda, atıksudaki ağır metal iyonları seçici olarak bir katı adsorbent yüzeyindeki aktif gruplara çeşitli fiziksel ve kimyasal bağlarla tutunarak atıksudan ayrılırlar. Aktif karbon içerdiği büyük yüzey alanı ve poroz yapısından dolayı ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda etkin olarak en çok kullanılan adsorbenttir. Ancak aktif karbonun yüksek maliyeti ve rejenerasyonunun zor olmasından dolayı, son yıllarda araştırmacılar, araştırmalarını daha ucuz ve etken adsorbentlerin araştırılması üzerine yoğunlaştırmışlardır. Ağır metal kirliliğinin giderilmesinde kurutulmuş veya çeşitli şekillerde inaktive edilmiş alg, maya, küf mantarı gibi mikroorganizmaların adsorbent olarak kullanılması (biyosorpsiyon) son yılların en çok araştırılan konularındandır. Ayrıca uçucu kül, çeşitli silikatlar, atık aktif çamur, çeşitli tarımsal atıklar (odun talaşı, pirinç kabuğu, pancar küspesi, vb.)da ağır metal kirliliğinin gideriminde araştırılan yeni adsorbentlerdir (Calace and et al., 2003; Ho, 2003; Sameer and et al., 2003).

### 2.1.2.1. Bakır(II) kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri

Maden, metal kaplama, elektrokaplama, metal işleme, boya, amonyum-rayon ve petrokimya endüstrileri atıksularında istenmeyen derişimlerde bakır(II) kirliliğine rastlanmaktadır (Drzymala and et al., 2003). Bakır(II) içeren atıksularda bakır; bakır(I), bakır(II), bakır(III) (çok düşük derişimlerde),  $\text{CuCO}_3$  (aq) veya organik kompleksleri şeklinde bulunur. Bakır düşük pH aralığında (pH 2.0-4.5) bakır(II) olarak bulunurken, daha yüksek pH'larda (pH 8.0-11.0)  $\text{CuCO}_3$  şeklindedir. İndirgeyerek çöktürme, iyon değiştirme, buharlaştırarak geri kazanma ve elektroliz gibi yöntemler ile bu iyonların atıksudan arıtımı sağlanır. Çizelge 2.3'te ise bazı endüstri atıksularında yer alan bakır(II) derişimleri görülmektedir (Gurnham, 1965; Diamadopoulas and et al., 1972; Cheremisinoff and Ellerbusch, 1978; Aksu, 1988; Gönenç, 1991; Kim and et al., 2003).

Çizelge 2.3. Bazı endüstriyel atıksuların içerdiği bakır(II) derişimleri

Proses	Bakır(II) (mg/L)
Kaplama banyosu	20-120
Bakır kaplama banyo suları	183
Otomobil ısıtma sistemleri	24-33
Altın cevheri ekstraksiyonu	20
Asidik maden drenajı	51.6-128
Boya ve mürekkep formülasyonu	0-100
Porselen kaplama	0-12
Bakır kaynak tel kaplama banyosu	3640

### 2.1.2.2. Nikel(II) kirliliği içeren atıksular ve arıtım yöntemleri

Kaplama banyoları, plastik kaplama, çelik, pil ve boya endüstrileri atıksuları yüksek derişimlerde nikel(II) iyonlarını içerir. Nikel(II) atıksularda çoğunlukla pH 2.0-4.5 aralığında nikel(II) olarak bulunurken aynı pH'larda düşük derişimlerde nikel(I) ve nikel(III) olarak da bulunabilir. Nikel(II) iyonlarının arıtımında kullanılan klasik yöntemler çöktürme, iyon-değişirme, buharlaşma ve ters osmozdur. Çizelge 2.4'te bazı endüstrilerin içerdiği nikel(II) derişimleri görülmektedir (Gurnham, 1965; Patterson, 1977; Gönenç, 1991).

Çizelge 2.4. Bazı endüstriyel atıksulardaki nikel(II) derişimleri

Proses	Nikel(II) (mg/L)
Kaplama banyoları	2.0-900.0
Asidik Maden Drenajı	0.01-5.6
Boya ve mürekkep formülasyonu	0-40.0
Bakır sülfat üretimi	22.0
Metal bitirme işlemleri atıkları	17.0-51.0
Porselen kaplama	14.0
Plastik kaplama	30.0-40.0
Altın cevheri ekstraksiyonu	1.4
Nikel(II) kaplama banyoları	134.0

### 2.1.2.3. Bakır(II) ve nikel(II) kirliliğini bir arada içeren atıksular ve arıtım yöntemleri

Maden, metal kaplama, metal işleme ve boya endüstrileri atıksularında yüksek derişimlerde bakır(II)-nikel(II) kirliliğine rastlanmaktadır. Bakır(II)-nikel(II) kirliliğini içeren atıksularda bakır; bakır(II) şeklinde bulunurken, nikel ise nikel(II) şeklindedir. Bakır(II)-nikel(II) kirliliğini birarada içeren atıksuların pH'ı ise oldukça düşük ve genellikle pH 2.0-4.5 aralığındadır. İndirgeyerek çöktürme, iyon değişirme, buharlaştırarak geri kazanma gibi yöntemler ile bu iyonların atıksudan arıtımı sağlanır (Patterson, 1977; Gönenç, 1991).

## 2.2. Mikroorganizmalar

### 2.2.1. Mikroorganizmaların genel özellikleri

Canlılar alemi genel olarak üç grupta incelenebilir.

1. Protista: Bu gruptaki canlılar da iki sınıfa ayrılırlar.

Prokaryotlar: En ilkel tek hücreli canlılar olan bu grubun başlıcaları bakteriler, virüsler ve mavi-yeşil alglerdir.

Ökaryotlar: Prokaryotlardan daha gelişmiş canlılar grubudur. Hücre yapılarında farklılıklar vardır. Mantarlar (şapkalı mantarlar, küfler ve mayalar), tek hücreli hayvanlar (protozoalar) ve su yosunları (algler) bu gruba girerler (Pekin, 1983).

2. Bitkiler

3. Hayvanlar

Bu üç grupta yer alan canlıların çoğu biyokimya mühendisliğinde oldukça önem taşırlar ve çeşitli ürünlerin eldesi, enzim ve protein ayırma ve saflaştırma, genetik ve medikal uygulamalar, atıksuların arıtılması gibi birçok amaç için geniş ölçüde kullanılırlar. İkinci ve üçüncü grupta yer alan canlılar gelişmiş canlılardır. Birinci grupta yer alan ve ancak mikroskop altında görülebilen ve çoğunlukla tek hücreli olan canlılar mikroorganizma olarak adlandırılır. Mikroorganizmalar doğada, su ve toprakta, bazı gıda maddelerinde, gelişmiş canlıların deri ve bağırsaklarında, organik maddelerde hemen her yerde bulunurlar (Pekin, 1983; Aksu, 1988; Walker, 2000).

Mikroorganizmaları çeşitli şekillerde gruplandırabilmek mümkündür. Kullandıkları besin yönünden inorganik hammadde kullanarak çoğalan mikroorganizmalara litotrof, organik besin kullanarak çoğalanlara organotroflar denir. İhtiyacı olduğu karbonu organik bileşiklerden sağlıyorsa hetotrof, CO<sub>2</sub>'den sağlıyorsa ototrof mikroorganizma denir. Enerji kaynağı olarak güneş ışığı kullananlara fototrof, enerjii kimyasal maddelerden sağlayan mikroorganizmalara kemotrof denir. Ayrıca oksijen ihtiyacına göre de aerobik, anaerobik, fakültatif ve mikroarofilik olmak üzere dört gruba ayrılırlar.

Mikroorganizmalar yapılarında (virüsler hariç) yaklaşık %75-80 oranında su içerirler. Bakteri, maya ve tek hücreli alglerin kuru ağırlıklarının %50'si proteinden oluşur. Mantarlar gibi daha karmaşık mikroorganizmaların hücre duvarını oluşturan inert polisakkarid bileşikler ise, kuru ağırlıklarının büyük oranını oluşturur. Virüsler hariç bütün mikroorganizmaların diğer bir önemli bileşeni de lipidlerdir.

Mikroorganizmalar uygun koşullarda büyür, gelişir ve çoğalırlar, uygun olmayan ortamlarda üreyemezler, ya ölürler ya da bu ortamlara dayanacak şekiller oluştururlar. Mikroorganizmaların gelişmesi ve üreyebilmesi için gerekli şartları sağlayan (ortam pH'ı, nemlilik, oksijen ve çeşitli derişimlerde kimyasallar) ve gerekli maddeleri içeren ortama besin ortamı denir.

### 2.2.2. Mikroorganizmaların büyümesi

Her mikroorganizma grubu farklı şekilde büyür ve aynı besin maddesini farklı metabolik yollarla kullanabilir. Çoğalmaları için farklı büyüme ortamlarını tercih eden mikroorganizmalar, hücre içerisinde de farklı kimyasallar içerebilirler. Üstte de denildiği gibi virüsler haricindeki mikroorganizmaların yaklaşık %75- 80'ni su oluşturur. Bakteriler, maya ve tek hücreli algler kuru ağırlıklarının yarısı kadar protein içerebilirler ve bu proteinlerin çoğu enzim yapısındadır.



Mikroorganizmaların üremesini etkileyen en önemli faktörlerden biri de ortamdaki besin maddeleridir. Özellikle şeker (glukoz, sakkaroz, laktoz, maltoz, fruktoz) türü maddeler mikroorganizmaların büyümesini etkileyen büyümeyi sınırlayan ana besin maddesidir. Ayrıca mikroorganizmalar azot, potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum gibi maddelere de ihtiyaç duyarlar.

#### **2.2.2.1. Enerji kaynağı**

Mikroorganizma, büyüme ve sentez için gerekli enerjiyi, karbon kaynağı olarak karbondioksiti veya çözültideki bikarbonatları kullanarak içerdiği klorofil a ve b pigmentleri katalizörlüğünde güneş enerjisinden sağlar. Karanlıkta ise gerekli enerjiyi glukoz ve sakkaroz gibi organik kökenli karbon kaynaklarından temin eder. Bunlar nişasta, şeker, organik asitler, yağlar ve hidrokarbonlardır. Fakat aynı karbon kaynaklarını parçalama şekilleri mikroorganizmadan mikroorganizmaya çok değişiklik gösterir. Ekseri mayalar nişastayı ya hiç ya da yeter derecede hızlı parçalayamadıkları halde, şekerleri kolaylıkla parçalayabilirler. Birçok hallerde, hidrokarbonlarda olduğu gibi, parçalanma ilk defa parçalayıcı enzimlerin substrata adaptasyonlarından sonra meydana gelir. Yüksek sıcaklıklarda yaşayamayan mikroorganizma 20-25°C ve pH 7.0 değerinde en verimli üremeyi gösterir (Ralph, 1967; Aksu, 1988).

#### **2.2.2.2. Azot kaynağı**

Azot kaynağı olarak birçok hallerde  $\text{NH}_4$  ve  $\text{NO}^-3$  gibi anorganik azotlu maddeler asimile edilebilir. Başka hallerde ise organik azot kaynakları daha iyi değerlendirilir. Örneğin ürin, pürin, çeşitli aminoasitler, pepton, maya ekstraktı ve protein bu gibi maddelerdir.

#### **2.2.2.3. Mineral kaynağı**

Mikroorganizmalar azot ve karbon kaynaklarından farklı olarak element halinde O, H, P, S, K, Ca, Mg, Fe ve kısmen iz element olarak Mn, Cu, Zn, Mo, Co, Ni, V, B ve Na isterler. Bu iz elementlerin pek çoğu diğer tuzlar ve kompleks maddeler içinde bulaşmış bir halde bulunurlar (Pekin, 1983).

### **2.2.3. Mikroorganizmanın büyümesine etki eden parametreler**

#### **2.2.3.1. pH**

Hidrojen iyonu derişimi (pH) mikrobiyal üreme hızını, dolayısı ile enzimlerin aktivitesini etkiler. Üreme için optimum pH, ürün oluşumu için olan optimum pH'tan farklı olabilir. Genellikle kabul edilebilir pH aralığı optimumdan  $\pm 1$  ile 2 pH birimi kadar değişebilir. Farklı mikroorganizmalar farklı pH optimumlarına sahip olabilir; bir çok bakteriler için optimum pH 3.0–8.0 arasında değişir, mayalar için 3.0–6.0, küfler için 3.0–7.0, bitki hücreleri için 5.0–6.0,

hayvan hücreleri için 6.5–7.5 arasında değişir. Birçok organizma, çevresel pH'ta düzensizlikler oluştuğunda, hücre içindeki pH'ı göreceli olarak sabit bir değerde tutmak için mekanizmalara sahiptir. pH optimum değerinden farklılık gösterdiğinde, organizmanın varlığını sürdürme enerji gereksinimleri artar. Farklı mikroorganizmaların, farklı pH optimumlarına sahip olmaları nedeniyle, ortam pH'ı üremesi istenen mikroorganizma türüne seçicilik sağlamak için kullanılabilir.

Çoğu fermentasyonlarda pH önemli ölçüde değişebilir. Azot kaynağı önemli olabilir. Eğer amonyum tek azot kaynağı ise, hidrojen iyonları amonyağın mikrobiyal kullanımının bir sonucu olarak, pH'ta gözlenen bir azalma ile birlikte, ortama serbest bırakılabilir. Eğer nitrat tek azot kaynağı ise, hidrojen iyonları, pH'ta gözlenen bir artış ile birlikte nitratı amonyağa indirmek için, ortamdan uzaklaştırılır. Aynı zamanda pH, organik asitlerin üretimi, asitlerin özellikle de amimoasitlerin kullanımı veya bazların üretimi nedeni ile de değişebilir. CO<sub>2</sub>'in ortama eklenmesi veya ortamdan uzaklaştırılması, deniz suyu veya hayvan hücre kültürü gibi bazı sistemlerde pH'ı önemli ölçüde değiştirebilir. Bir tampon veya aktif pH kontrol sistemi aracılığı ile pH kontrolü önemli olabilir (Shuler ve Kargı, 2002).

### **2.2.3.2. Sıcaklık**

Mikroorganizmalar için diğer önemli bir koşul sıcaklıktır. Her mikroorganizma için belli sıcaklık sınırları içinde bir gelişme optimumu vardır. Sıcaklık, mikroorganizma ortamının içerisindeki çözülmüş oksijen derişimini, buna bağlı olarak biyolojik aktiviteyi oldukça fazla etkilemektedir. Her mikroorganizma için belli sıcaklık içinde bir gelişme optimumu vardır. Bu her zaman belli bir metabolizma ürününün optimum oluşumu ile uyum halinde bulunmaz. Sıcaklık mikroorganizmanın gelişmesinde yalnız bir koşul değil aynı zamanda bir sterilizasyon aracıdır.

### **2.2.3.3. Oksijen ihtiyacı**

Mikroorganizmanın gelişmesinde çok önemli bir faktör de oksijendir. Ayrıca mikroorganizmaların verimli gelişimi için, karıştırma ile substratla devamlı teması da sağlanmalıdır (Pekin, 1983; Kargı, 1993; Walker, 2000). Birçok fermentasyon olaylarında başlangıçta substratta mevcut olan oksijen CO<sub>2</sub> veya H<sub>2</sub> oluşmasıyla substrattan veya substrat üstündeki hava tabakasından sürülüp atılır. Bazı durumlarda daha iyi bir oksijensiz koşul yaratmak için fermentasyon sıvısı içine CO<sub>2</sub> . N<sub>2</sub> sevk edilir (Shuler ve Kargı, 2002).

### **2.2.4. Mikroorganizmaların büyüme evreleri**

Bakterilerin bir çok maya ve küf mantarlarının gelişmesinde aşağıdaki evreler gözlemlenebilir (Şekil 2.1).

#### **2.2.4.1. Gecikme evresi**

Belirli bir besin ortamına ekilen mikroorganizmalar yeni ortama uyum gösterip çoğalmaya başlayıncaya kadar belirli bir süre geçer. Bu sırada hücre sayısında hemen hemen hiçbir artış gözlenmez. Bu süreye gecikme evresi adı verilir. Bu sürenin uzunluğu aşılana bakterinin yaşı ve besiyerinin iyi seçilmesine bağlıdır. Gecikme evresinden sonra mikroorganizma sayısı yavaş yavaş artmaya başlar. Mikroorganizma sayısı belirli bir düzeye ulaşıncaya kadar da geçiş evresi diye adlandırabileceğimiz ara evre devam eder.

#### **2.2.4.2. Logaritmik evre**

Bu evrede mikroorganizmaların canlı, genç ve dinç olduğu kabul edilir. Logaritmik evrede mikroorganizmalar üstel olarak arttığı için kesikli kültürlemede ortamdaki besinler giderek azalır. Ortamda inhibe edici ürünlerde oluşabileceği için maksimum derişime ulaşamayabilir.

#### **2.2.4.3. Duraklama evresi**

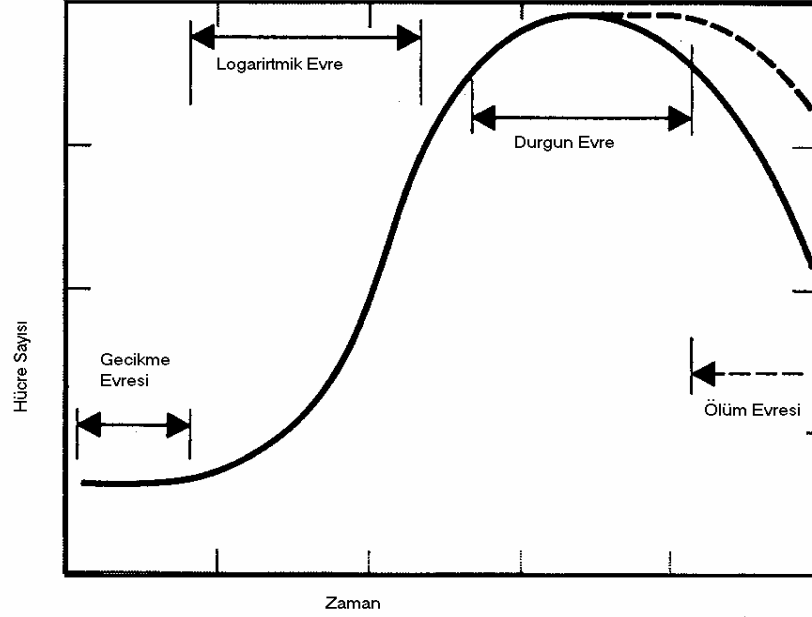
Logaritmik evreden sonra mikroorganizmaların yaşlanması ve ölüm olayının belirginleşmesi nedeni ile çoğalmada yavaşlama yani logaritmik evreye kıyasla çoğalma hızında azalma gözlenir. Buna duraklama evresi denir.

#### **2.2.4.4. Sabit evre**

Bu evrede kimi mikroorganizmalar ürer, kimileri ölür ve bazıları da çoğalmadan yaşamlarını sürdürür. Bu üç etken birbirini dengelediği için mikroorganizma sayısında zamana göre net bir artış gözlenmez.

#### **2.2.4.5. Ölüm evresi**

Mikroorganizmaların dışa salgıladığı enzimlerden dolayı hücre zarlarında parçalanma ve hidroliz olayları belirgin bir hal alır. Hidrolitik ve lipolitik enzimlerin meydana getirdiği bu olaya genel olarak 'Lisis' denir (Pekin, 1983; Shuler ve Kargı, 2002).



Şekil 2.1. Mikroorganizma büyüme evreleri

## 2.2.5. Mantarlar

Mantarlar (funguslar) çok şekilli ve hakiki çekirdeğe sahip oldukları için bakterilerden, fotosentetik pigmentleri olmadığı için alg ve yosunlardan ayrılır. Mantarlar şapkallı mantarlar, küf mantarları ve mayalar olmak üzere üçe ayrılırlar.

### 2.2.5.1. Şapkallı mantarlar

Klorofil içermediklerinden çoğunlukla ölü veya ölmek üzere olan bitki ve bitkisel artıklar üzerinde saprofit olarak yaşarlar.

### 2.2.5.2. Küf mantarları

Saprofit, parazit ya da simbiyotik olarak yaşarlar. Heterotrof olup sentez yapamadıkları için daha önce oluşmuş organik maddelere gereksinme duyarlar. Tek yada çok hücreli sporlar aracılığı ile çoğalırlar. Karbon kaynağı olarak glukoz, sakkaroz ve maltozu tercih ederler. Laktoz tüketenlere ender olarak rastlanır. Hidrolitik enzim içerenler nişasta, dekstrin gibi maddeleri de besin kaynağı olarak kullanabilirler. En çok amonyum azotunu, bazı türler ise nitrat ve nitrit azotunu tüketirler. Hemen hemen tüm küf mantarları protein, pepton, aminoasitler ve üre gibi azot kaynaklarından yararlanırlar. Bunlar dışında çeşitli mineraller ve gelişme maddelerine ihtiyaç

duyarlar. Optimum çoğalma pH ve sıcaklıkları türlerine göre değişir. Kűf mantarları aerob olduklarından yüzeylerde gelişirler. Bununla birlikte bazı türlerinin miselleri substrat içlerinde de gelişebilmektedir. Besin maddeleri üzerinde beyaz yada renkli görünümleri ile tanınırlar (Pekin, 1983).

#### **2.2.5.2.1. *Rhizopus delemar***

*Rhizopus delemar*, etkili ağır metal biyosorbenti olarak bilinir ( Tsekova and Petrov, 2002). Spor oluşturan bir kűf mantarı türüdür. Optimum çoğalma sıcaklığı 30-35°C olup, minimum 5-7°C ve maksimum 44-49°C olmak üzere geniş bir sıcaklık aralığında ürer. Koloniler çoğalma periyodunun değişik evrelerinde beyazdan kahverengiye dönüőerek ve genellikle sıvı besin ortamının yüzeyinde 10 mm yüksekliğine ulaşabilen kűf oluşturarak ürerler. Filemental yapının oluşması yaklaşık olarak 10-15 gün, rengin kahverengiye dönmesi 15-20 günlük bir süre alır. Patates dekstroz agar, malt özütü, maya özütü, glukoz ve soyton gibi besinleri içeren ortamlarda özellikle pH 5.0-5.5 aralığında hızlı büyürler. Besin ortamı çok asidik olmamak kaydıyla diğer pH'larda da ürerler.

#### **2.2.6. Mayalar**

Mayalar mantar ailesinin geniş bir bölümünü oluştururlar. Doğada çok yaygın olarak bulunan mayaların hücre yapıları büyük oranda proteinler, polisakkaritler, lipidler ve nükleik asitlerden oluşur. Hücre büyüklüğüne göre bakterilerle yüksek mantarlar arasında yer alırlar (Shuler ve Kargı, 2002). Maya hücre zarı ise genellikle protein, lipid ve fosfat yapıdadır. Genel olarak maya hücrelerinin %75'i su geri kalanı ise diğer maddelerdir. Diğer maddelerin yaklaşık yarısını proteinler, geri kalan kısmını da karbohidratlar, yağlar, aminoasitler, peptidler, vitaminler ve enzimler oluşturur. Mayalarda bulunan enzimler hidrolazlar ve desmolazlar olarak iki ana gruba ayrılabilir. Hidrolaz enzimleri karbohidrolaz, proteaz ve esterazlardır. Karbohidrolazlardan olan glikonaz yedek besin maddesi glikojeni glikoza, sakkaraz sakkarozu glikoz ve fruktoza, maltaz maltozu glikoza dönüőtürür. Proteazlar yüksek moleküllü proteinleri hidrolize ederek parçalayan enzimlerdir. Esterazlardan olan lipaz, yağları hidroliz eder, fosfataz ise fosforik asitin organik bileşimlerini parçalayarak fosforik asit açığa çıkarır. Desmolaz enzimleri yükseltgenme ve indirgenme tepkimelerini katalizler. Ayrıca hücre zarında permaazlarda denilen ve dış ortamdan hücre içerisine madde transferini sağlayan enzimler de bulunmaktadır.

Mayaların üremeleri bölünerek ya da tomurcuklanarak olmaktadır. Bölünerek çoğalan maya hücreleri, hücre ortasından bölünerek bir ara bölme oluşturur ve buradan hücre ikiye ayrılarak aynı büyüklükte iki yavru hücre oluşur. Tomurcuklanarak çoğalan mayalar uygun çevre koşulları bulurlarsa tomurcuklanma ile bir hücreden bir veya daha çok çıkıntı meydana gelir ve

bunlar yeni hücreler halinde gelişir. Gelişen bu hücreler daha sonra ana hücreden ayrılır. Tomurcuklanarak çoğalan bir maya hücresi yaklaşık 50-55 defa tomurcuklanabilmektedir.

Maya hücreleri, hücre boyutları, şekilleri ve renkleri bakımından geniş bir dağılım gösterirler. Hücre biçimleri genellikle küresel, elipsoidal, uç kısımları küresel silindirik (limon yapısına benzer) veya oval olabilmektedir. Mayaların hücre çapları bazı türlerde farklılık göstermesine karşın, genellikle 1-10 µm aralığında değişmektedir.

Mayaların gelişebilmeleri ve aktivitelerini devam ettirebilmeleri için bazı ortam şartlarına ve bazı besin maddelerine ihtiyaçları vardır. Mayaların üremelerini etkileyen en önemli ortam şartları pH, sıcaklık ve havalandırmadır. Mayalar asidik ortamda gelişebilen mikroorganizmalardır. Mayalar için en uygun üreme pH'ı 4.0-4.5'tir. Ayrıca mayalar 0-50°C arasında değişen geniş bir sıcaklık aralığında üreyebilir. Mayadan mayaya fark etmesine rağmen genellikle hepsi en iyi üremeyi 25-27°C'de gösterir. Ancak daha düşük ve yüksek sıcaklık maya aktivitesini ve üremesini oldukça yavaşlatır. Mayaların üremesini etkileyen bir diğer etken ise havalandırmadır. Mayalar havalandırılmalı ve havasız ortamda üreyebilirler. Ancak havalandırılmalı ortamda daha hızlı ürerler. Havasız ortamda ise besin maddesini ürüne (etil alkol) dönüştürürler. Maya büyümesine ortam şartları dışında bazı besin maddeleri de doğrudan etki eder. Heterotrof bir mikroorganizma olan mayaların en önemli ve üremesini kısıtlayan ve kontrol eden besin maddesi karbonhidratlardır. Bu karbonhidrat kaynağı glukoz, sakkaroz, fruktoz, mannoz veya laktoz olabilir. Mayaların üremesine etki eden bir diğer önemli madde ise azottur. Bunun yanında potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum gibi maddelere de ihtiyaç duyarlar.

Tipik bir maya hücresini oluşturan kısımlar ve içerdikleri organellerin işlevleri aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır (Pekin, 1983; Walker, 2000):

**Hücre duvarı:** Maya hücresinin en dış tabakasında bulunan hücre duvarı hücreye şekil verir ve hücreyi korur. Hücre içi ve dış ortam arasındaki osmotik basınç dengesini sağlar. Başta su olmak üzere hücre içine giren maddelerin kontrolünü hücre duvarı yapar. Ayrıca dış ortamdaki bütün maddelerin tanınması işlevini de yapar (Walker, 2000).

**Hücre zarı:** Hücre duvarının altında hücre zarı bulunur ve yarı geçirgendir. Besin maddelerini içeri alırken, maya metabolizmasının ürettiği ürünleri hücre dışına aktarır.

**Stoplazma:** Maya stoplazması su içeriği fazla ve asidik (genellikle pH 4.0-5.5 aralığında) akışkan bir sıvıdır. Yapısında düşük ve büyük molekül ağırlıklı bileşikler, çözünmüş proteinler, glikojen ve diğer çözünebilir bileşikler bulunur. Maya stoplazması içerisinde bulunan taneciklerin çeşitli işlevleri vardır. Bunlar;

**Ribozom:** Protein ve ribonükleik asitlerden oluşan ribozomların görevi protein sentezidir.

**Mitokondri:** Çubuk şeklindeki bu organel hücrenin solunum organıdır. Lipoprotein ve ribonükleik asitten oluşur. Hücrenin aktivitesi için gerekli enerjiyi depo ederler. Enzim sentezleri ve yedek besin maddelerinin yapımında görev alır.

Golgi aygıtı: Çift zarlı olan bu aygıt lipid, protein ve ribonükleik asit yapıdan oluşmaktadır. Hücrenin diğer organellerinden gelen atıklar bu aygıtta toplanarak atılmak üzere buradan vakollere verilir.

Endoplazmik retikulum: Hücre zarından başlayarak stoplazma içerisinde çekirdeğe kadar uzanan çift katlı zardan oluşmuş bir ağ örgüsüdür. Plazma ileti yoludur.

Lizozom: Mitokondride sentez edilen bazı enzimler lizozomlarda depo edilir.

Sentrozom: Çekirdeğe yakın bulunan sentrozom çekirdek bölünmesinde rol oynar.

Vakol (boşluk): İnce bir zarla çevrili olan bu boşlukların içerisinde düşük molekül ağırlıklı maddeleri içeren sıvı bulunur (Walker, 2000).

Çekirdek: Stoplazma içerisinde bir zarla çevrili çekirdek bulunur. DNA'dan oluşan kromozomları ve çeşitli proteinleri içeren çekirdek, kalıtım özelliklerini barındırır. Çekirdek içerisinde ayrıca RNA'ca zengin küresel çekirdekcik bulunur.

İnsanlık tarihinde ilk kullanılan mikroorganizmalar mayalardır. Günümüze kadar yaklaşık 700 çeşit maya kültürü belirlenmiş olmakla beraber yeni maya kültürlerinin tanımlanmasına da halen devam edilmektedir. Mayalar binlerce yıldır insanlar tarafından değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Mayaların ilk kullanımının Babil'liler, Sümer'ler ve Mısır'lılar tarafından bira ve şarap üretiminde ve hamurun mayalanmasında olduğu sanılmaktadır. Modern çağda ise mayalar geleneksel gıda endüstrisinde (ekmek mayası üretimi, çeşitli enzimler, pigmentler, gıda asitlendiricilerin elde edilmesi) kullanımlarının yanısıra, birçok fermantasyon prosesinde (bira, etanol) de kullanılmaktadır. Mayaların gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarında, çevresel biyoteknolojide ve insan sağlığını ilgilendiren pek çok biyolojik gelişmede daha geniş uygulama alanı bulacağı beklenmektedir. Enerji üretimi açısından bakıldığında mayaların metabolik olarak etanol ürettikleri bilinmektedir. Bu üretimi yenilenebilir karbonhidratlar üzerinden gerçekleştirdiği göz önüne alındığında bunun büyük bir avantaj sağlayacağı görülmektedir. Mayaların çevresel biyoteknolojide de gittikçe artan önemde kullanılacağı tahmin edilmektedir. Atıksulardan biyosorpsiyon ve biyobirikim yöntemleriyle ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin giderimi ve geri kazanımı çalışmalarında çeşitli türdeki mayalar başarıyla kullanılmaktadır. Mayaların zorlu ortam koşullarında, örneğin, asidik ve toksik etkiye sahip ağır metal iyonu içeren ortamlarda üreyebilme dayanıklılığı göstermesi ve bu tür maddeleri hücre içerisine alabilme özelliğinin bulunması (biyobirikim), mayaların diğer mikroorganizmalara göre üstünlüğünü göstermektedir. İlaç endüstrisinde aşı üretimi ve özellikle insan tedavi amaçlı proteinlerin, hormonların ve kan faktörlerinin üretiminde de mayalar kullanılmaktadır. Tek hücre proteinlerinin üretilmesi ve bunların farklı fonksiyonel gruplar içermesi önemli uygulamalardan sayılabilir.

Bazı maya türlerinin özel kullanım alanları ise aşağıda verilmiştir;

*Axula adenivorans*: Nitrat ve aminlerin dönüştürülmesinde önemli rol oynar. Optimum üreme sıcaklığı 45°C'nin üzerindedir.

*Candida* türleri: Çok geniş kullanım alanına sahip olan bu maya, 6-aminopenisillanik asit, B6 vitamini, NAD, FAD, metil ketonlar, sitrik asit, riboflavin, triptofan ve biyokütle üretiminde kullanılır.

*Hansenula polymorpha*: Metil tüketen bir mayadır. Gen aktarımı için önemlidir.

*Kluyveromyces marxianus*: Laktoz ve polifruktozan fermantasyonunda kullanılır.

*Pachysolen tannophilus*: Bazı hidroliz ürünlerinde bulunan pentoz şekerlerinin fermantasyonunda kullanılır.

*Phaffia rhodozyma*: Gıda boyalarının eldesinde kullanılır.

*Saccharomyces türleri*: Bira, ekmek mayası, vitaminler, şarap, şampanya, sirke, alkol, gliserol, invertaz, hayvan yemi, ilaç ham maddesi, biyofarmasetiklerin üretiminde ve nişasta fermantasyonunda kullanılır.

*Schizosaccharomyces pombe*: Şaraptan asit gideriminde, etanol üretiminde ve geleneksel Afrika alkollü içeceklerinin fermantasyonunda kullanılır (Walker, 2000).

### 2.2.6.1. *Candida lipolytica*

Geniş kullanım alanına sahip olan bu maya, 6-aminopenisillanik asit, B6 vitamini, NAD, FAD, metil ketonlar, sitrik asit, riboflavin, triptofan ve biyokütle üretiminde kullanılır. Optimum çoğalma sıcaklığı 0-50°C olmak üzere geniş bir sıcaklık aralığında ürer. En iyi üreme 25-30°C'de olmaktadır. Hücre çapı 1-10 µm aralığında değişmektedir. Üremesi tomurcuklanarak olmaktadır. Tomurcuklanma ile bir hücreden bir veya daha çok çıkıntı meydana gelir ve bunlar yeni hücreler halinde gelişir. Gelişen bu hücreler daha sonra ana hücreden ayrılır. Tomurcuklanarak çoğalan bu maya hücresi yaklaşık 50-55 defa tomurcuklanabilmektedir. Maya özütü, glukoz, sülfat ve potasyum gibi besinleri içeren ortamlarda özellikle pH 4.0-4.5 aralığında hızlı büyürler. Besin ortamı çok asidik olmamak kaydıyla diğer pH'larda da ürerler.

## 2.3. Adsorpsiyon

### 2.3.1. Adsorpsiyon, özellikleri, sınıflandırılması ve adsorpsiyonu etkileyen faktörler

Adsorpsiyon, akışkan fazda çözülmüş haldeki belirli bileşenlerin bir katı adsorbent yüzeyine tutunmasına dayanan ve faz yüzeyinde görülen yüze tutunma olayıdır.

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

Günümüzde adsorpsiyon, birçok doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemde önem taşımaktadır. Ayrıca adsorpsiyon prosesi, atıksulardaki organik ve kimyasal kirleticilerin uygun bir katı yüzey üzerine tutularak giderilmesi işleminde de sıklıkla kullanılmaktadır.



Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan kimyasal arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleşen üç tür adsorpsiyon işlemi tanımlanmaktadır.

1. Fiziksel Adsorpsiyon: Katı yüzey ile adsorplanan madde molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri sonucu oluşan adsorpsiyon olayıdır. Burada zayıf Van der Waals kuvvetleri etkindir ve işlem tersinirdir. Adsorpsiyon sonucu yoğunlaşma enerjisinden biraz fazla ısı açığa çıkar.

2. Kimyasal Adsorpsiyon: Adsorplanan madde ile katı yüzey arasındaki fonksiyonel grupların kimyasal etkileşimi ile oluşan adsorpsiyondur. Adsorpsiyon tersinmezdir ve tek tabakalıdır. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı reaksiyon ısısından daha büyüktür.

3. İyonik Adsorpsiyon: Elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile iyonlar yüzeydeki yüklü bölgelere tutunmaktadır. Burada adsorplayan ile adsorplananın iyonik güçleri önemlidir. İyonlar eş yüklü ise daha küçük olan tercihli olarak yüzeye tutulur.

Çoğu adsorpsiyon olayında bu üçü birlikte veya ardarda görülür.

Adsorpsiyonu etkileyen bazı faktörler şunlardır:

1. pH: Hidronyum ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorbe olduklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözüldüğü pH'ından etkilenir. Ayrıca asidik veya bazik bileşiklerin iyonizasyon derecesi de adsorpsiyonu etkiler (Mameri and et al., 1999; Matis and et al., 2003).

2. Sıcaklık: Adsorpsiyon işlemi genellikle ısı veren bir tepkime biçiminde gerçekleşir. Bu nedenle azalan sıcaklık ile adsorpsiyon büyüklüğü artar. Açığa çıkan ısı genellikle fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma veya kristalizasyon ısıları mertebesinde, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal reaksiyon ısısı mertebesinde olduğu bilinmektedir.

3. Yüzey alanı: Adsorpsiyon bir yüzey işlemi olduğundan, adsorpsiyon büyüklüğü spesifik yüzey alanı ile orantılıdır. Adsorplayıcının partikül boyutunun küçük, yüzey alanının geniş ve gözenekli yapıda olması adsorpsiyonu artırır (Harward and Trapnel, 1964; Ross and Oliver, 1964; Humphrey and Millis, 1973; Hassler, 1974; Oğuz, 1986; Aksu, 1988).

### 2.3.1.1. Mikroorganizmaların ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda kullanılması

İlk olarak Polikarpov (1966), radyoaktif elementlerin sulu ortamda mikroorganizmalar tarafından doğrudan adsorplanabildiğine dikkat çekerek, bu özelliğin mikroorganizmaların yaşam fonksiyonlarından bağımsız olduğunu iddia etmiştir (Tsezos and Volesky, 1981).

Tezuka (1968), aktif çamur bakterisinin tersinir flokulasyonunun negatif yüklü hücre yüzeyleri ile çözeltideki  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  gibi iki değerlikli katyonlar arasında kurulan iyonik bağ köprülerinin bir sonucu olduğu ileri sürmüştür (Tsezos and Volesky, 1981).

Bu konuda Chiu (1972) yaptığı çalışmalarda, uranyum giderebilen bir fungal kültürü atıktan izole etmeyi başarmıştır (Tsezos and Volesky, 1981).

Beveridge ve Murray (1976), *Bacillus subtilis*'in saf hücre duvarının yüksek atom numaralı elementleri adsorpladığını ve daha sonra bu elementlerin geri kazanılabileceğini göstermiştir (Tsezos and Volesky, 1981).

Shumate ve arkadaşları (1980), *Saccharomyces cerevisiae*'nin uranyum adsorpsiyonu üzerine pH, sıcaklık ve ortamda bulunan diğer anyon ve katyonların derişimlerinin etkisini incelemiştir .

Prokaryotlar ve ökaryotların hücre duvarları, temel yapı taşı olarak polisakkarit içerir. Crist ve arkadaşları da (1988), doğal polisakkaritlerin iyon değıştirici özellikleri üzerinde çalışmışlardır .

Benzer çalışmalar devam etmiş ve Tsezos ve Volesky (1981), uranyum ve toryum adsorpsiyonunda değışik türde mikroorganizmalar kullanarak, farklı sıcaklık ve pH değerlerinde adsorpsiyon izotermelerini çıkarmış, sonuçları aktif karbon ve iyon değıştirici reçineler ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarıyla karşılaştırmış ve mikroorganizmaların daha etkin adsorptif özelliklere sahip olduklarını göstermişlerdir.

Bu konuda ülkemizde ilk defa Aksu ve Kutsal (1990) tarafından yapılan çalışmalarda, yeşil alglerden *Chlorella vulgaris* ile  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+6}$  ve  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin tek bileşenli adsorpsiyonu kesikli karıştırmalı kapta ve akışkan yatak reaktörde incelenmiş, sonuçların adsorpsiyon izotermine uygunluğu gösterilerek, alglerin yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip biyosorbentler olduğu kanıtlanmıştır.

Aynı konudaki çalışmalara Sağ (1993) tarafından devam edilmiş ve daha farklı türdeki mikroorganizmalarla  $\text{Cr}^{+6}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  adsorpsiyonunu kesikli karıştırmalı kapta, akışkan yatak reaktörde ve tutuklanmış mikroorganizma ile dolgulu kolon reaktörde incelemiş, sürekli sistemde en uygun reaktörün dolgulu kolon olduğunu belirtmiştir.

Çoklu metal iyonu karışımlarıyla ilgili çalışmalar Ting ve arkadaşları (1989) tarafından başlatılmış ve bu araştırmacılar ışık varlığında ve yokluğunda *C. vulgaris* ile kadmiyum(II) ve çinko(II) iyonlarının, metabolizmaya bağlı ve yarışmalı giderimini araştırmışlardır. Sürekli sabit ışık altında, hücresel metabolizma için temel bir element olan, çinko(II) gideriminin, kadmiyum(II) iyonları tarafından açıkça inhibe edildiğini gözlemişler; aynı deneysel koşullarda hücresel metabolizma için temel bir element olmayan kadmiyum(II) gideriminin ise, çinko(II) varlığından etkilenmediğini belirtmişlerdir.

Kapoor and Viraraghavan (1997) kurşun, kadmiyum ve bakırın *Aspergillus niger*'in yüzeyine adsoplanabildiğini göstermişlerdir.

İlhan ve arkadaşları (2004), yeni bir biyosorbent olarak *Penicillium lanosa-coeruleum* biyokütlesinin ağır metal adsorplama kapasitesi üzerine ön işlemlerin etkisini incelemişler ve *P. lanosa-coeruleum* biyokütlesinin, atık sulardan kurşun, bakır ve nikel giderimi için düşük maliyetli, etkili bir biyosorbent olarak kullanılabildiğini belirtmişlerdir.

Pavasant ve arkadaşları (2005), kuru yeşil alg *Caulerpa lentillifera* ile  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  ve  $\text{Zn}^{2+}$  iyonlarının sorpsiyonunu araştırmışlar ve pH ile giderim etkisinin arttığını bulmuşlardır.

Akar ve Tunali (2006), Pb(II) ve Cu(II) iyonları için biyosorpsiyon özelliğini araştırmışlar ve *A. Flavus*'un sulu çözeltilerden Pb(II) ve Cu(II) iyonlarının giderimi için ucuz ve etkili bir biyosorbent olduğunu belirtmişlerdir.

Hasan ve arkadaşları (2007), su sümbülü (*Eichhornia crassipes*) kullanarak sulu çözeltide bulunan Zn(II) and Cd(II) iyonlarını biosorpsiyonla gidermişlerdir.

Karthikeyan ve arkadaşları (2007), iki farklı yeşil alg *Ulva fasciata* ve kahverengi alg *Sargassum sp.*'nin adsorpsiyon özelliğini araştırmışlar ve sulu çözeltiden bakır(II) iyonunu arıtımı için çalıştıkları iki mikroorganizmanın da etkili biyosorbent maddesi olarak kullanılabilirdiğini elde etmişlerdir.

Sirianuntapiboon ve Hongrisuwan (2007) düşük organik giderici etkisi olan özellikle  $\text{Cu}^{+2}$  ve  $\text{Zn}^{+2}$  gibi ağır metallerin biyolojik atıksu arıtım sisteminde adsorbent olarak kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Biyolojik arıtma sisteminin, özellikle sürekli kesikli sisteminin(SBR) ağır metalleri içeren atıksuda, özellikle  $\text{Cu}^{+2}$  ve  $\text{Zn}^{+2}$  için uygun olduğunu bulmuşlardır.

Atık sulardan ağır metal iyonlarının mikroorganizmalarla giderimi üzerine dünyada ve ülkemizde yakın zamana kadar yapılan çalışmalar tek bileşenli metal iyonu çözeltilerinin arıtımına yöneliktir. Ancak çoğu endüstri atıksuyunda ağır metal iyonlarının birden fazla çeşitte bulunduğu düşünülürse, metal iyonu kombinasyonlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonunda çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve ekolojik prosesleri nasıl etkilediğini bilmek gerekmektedir (Kutsal ve ark., 1996; Bois and et al., 2003).

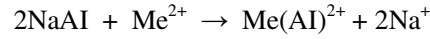
Ölü veya yaşayan hücrelerin metal alabilme kapasiteleri karşılaştırılmış, çoğu kez ölü durumdaki mikroorganizmanın daha yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğu gözlenmiş ve buna neden olarak ölü hücre yüzeyinin yapısındaki değişiklikler gösterilmiştir. Ölü mikroorganizmalarla yapılan adsorpsiyon işlemi biyosorpsiyon olarak tanımlanmıştır (Tsezos and Volesky, 1981; Khummongkol and et al., 1982; Becker, 1983; Harris and Ramelow, 1990; Aksu and et al., 1992; Holan and et al., 1993; Sağ, 1993; Wilde and Benemann, 1993; Wehrheim and Wettern, 1994; Singh and et al., 1998; Pan and et al., 2003).

### 2.3.1.2. Mikroorganizmalara ağır metal iyonlarının adsorpsiyon mekanizması

Mikroorganizmaların sulu ortamda hücre yüzeyine metal adsorplamasını açıklayan çeşitli hipotezler vardır:

1. Metal iyonları hücre yüzeyindeki negatif yüklü reaksiyon alanları ile kompleks yaparak veya pozitif yüklü reaksiyon alanları ile yer değiştirerek adsorplanabilir. Hücre duvarındaki polisakkaritler sülfat, amino ve karboksil grupları içerir. Algal polisakkaritlerin yapısal bileşeni ise  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  ve  $\text{Mg}^+$  gibi metal katyonlarının tuzlarından oluşmaktadır, dolayısıyla çift değerlikli

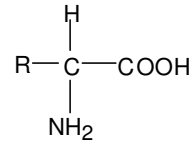
metal iyonları, polisakaritlerin aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirirler ve mikroorganizma yüzeyine adsorbe olurlar. Örnek olarak alg yapısındaki sodyum aljinatın, metal iyonu ile yer değiştirmesi verilebilir.



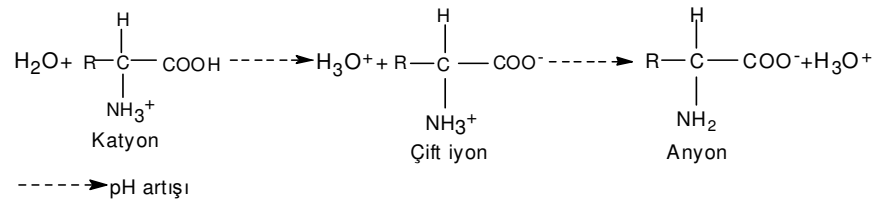
2. Bazı mikroorganizmalar hücrelerinin dış zarlarından uzanan polimerler sentezleyerek, çözeltilen metal iyonlarını bağlayabilirler.

3. Proteinlerin peptid bağlarının azot ve oksijeni, karboksil, amino, fosfat gibi grupları ise metal iyonları ile doğrudan etkileşerek adsorpsiyonda yer alır.

Önerilen üçüncü hipotezin daha iyi anlaşılması için proteinlerin en küçük molekül birimleri olan aminoasitlerin incelenmesi gereklidir. Aminoasitlerin birleşmesinden daha büyük yapıdaki peptid ve proteinler oluşur. Aminoasit moleküllerinde değişen grup R ile gösterilirse, genel formülleri aşağıdaki gibidir:

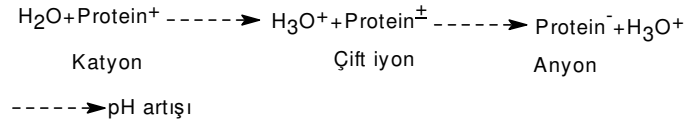


Aminoasit moleküllerinde asidik karboksil grubundan bazik amino grubuna bir proton geçi olmakta ve molekül içerisinde karboksil ile amonyum iyonları oluşmaktadır. Aminoasitlerin bu haline çift iyon adı verilir. Çift iyon durumundaki bu aminoasit molekülü asidik çözeltilen proton alarak katyon, bazik çözeltilde de çözeltiliye proton vererek anyon haline geçer. Bu nedenle aminoasitler hem asit hem de baz özelliği gösteren amfoterik maddeler sınıfına girer.



Her bir aminoasit çözeltisi için asit ve baz etkilerinin birbirine eşit olduğu bir pH değeri vardır. Anyon ve katyon derişimlerinin minimum, çift iyon derişiminin maksimum olduğu bu pH' a izoelektrik nokta denir.

Yapı birimleri aminoasit olan proteinlerin de molekül türüne göre belirli bir izoelektrik pH' ı vardır.



Pozitif yüklü metal iyonlarının izoelektrik noktanın altında katyonik bir karakter taşıyan protein moleküllerinin içerdiği grupların aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirdikleri, izoelektrik noktanın üstündeki pH'larda ise negatif yüklü reaksiyon alanları ile kompleks oluşturarak adsorplandıkları düşünülebilir.

Mikroorganizmanın metal adsorplamasının bu hipotezlerden hangisine kesin olarak uyduğu bugüne kadar tam anlaşılabilmiş değildir. Önerilen birinci ve üçüncü hipotezin mikroorganizmanın birbirini takip eden ya da çift iyon durumunda birlikte oluşan iki adsorplanma mekanizması olması mümkündür (Shumate and et al., 1980; Crist and et al., 1981; Tsezos and Volesky, 1981; Aksu, 1988; Crist and et al., 1988; Macaskie and et al., 1989; Aksu ve Kutsal, 1990; Aksu and et al., 1990; Gardea-Torresdey and et al., 1990; Aksu and et al., 1992; Kargı, 1993; Sağ, 1993).

### 2.3.1.3. İkili ağır metal iyonu karışımlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonu

İkili ağır metal iyonu karışımlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonunu, en kritik parametre olan ortam pH'ı yanında daha birçok parametre etkiler. Mikroorganizmalar üzerine iki veya daha çok metalin birleştirilmiş etkileri, metal kombinasyonu, metal derişim düzeyleri, metal eklenme sırası, mikroorganizma türleri ve test kriterlerine bağlıdır. Test kriterleri, hücre sayısı, hücre üremesi, hücre hacmi, CO<sub>2</sub> giderimi, çözülmüş O<sub>2</sub> ihtiyacı, metal giderimi vb.dir. Çok bileşenli ağır metal adsorpsiyonunda, ölü hücreler kullanıldığında biyosorptif metal giderimi haricindeki diğer test kriterleri ihmal edilir (Ting and et al., 1989; Pascucci, 1993).

## 2.4. Biyobirikim

Biyobirikim, akışkan fazda çözülmüş halde bulunan belirli bileşenlerin aynı ortamdaki bir canlı hücre zarından geçerek, hücre içerisinde biriktirilmesi olayıdır.

Canlı hücrelerin ürettiği ortamdaki belirli bileşenlerin hücre içine alımı, hücre içi ve dışı derişim farkından dolayı oluşan sürücü güç ile bu maddelerin hücre zarından geçerek, hücre içinde birikmesi şeklinde olmaktadır. Difüzyona sebep olan sürücü güç kimyasal potansiyel olarak adlandırılır ve bu durum, hücre dışındaki kimyasal hücre içerisine hareket ettirir. Bu durum Gibbs serbest enerjisi ile ifade edilirse;  $\Delta G = -RT \ln(C_{dış}/C_{iç})$  formülüne göre C<sub>dış</sub> derişimi her zaman büyük olacağından, bu işlemin sonucu daima eksi çıkacaktır. Yani ortamdaki maddelerin hücre zarından geçerek hücre içerisine girmeleri istemli bir durumdur. Canlı hücreler, bu maddelerin, ne

kadar zehirli etkiye sahip olurlarsa olsunlar hücre içerisine girmelerine engel olamamaktadır. Ayrıca hücre zarında çok sayıda bulunan ve besin maddelerini hücre yüzeyinden alıp hücre içerisine transfer eden çok sayıda transfer edici enzimlerin (transferaz enzimleri), besinlerle beraber bu maddelerin de hücre dışından hücre içerisine transferini gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Yani ortamdaki maddelerin hücre zarından kendiliğinden difüzyonu yanında, özellikle taşıyıcı enzimler yardımıyla kolaylaştırılmış difüzyon diye adlandırılan bu mekanizmayla da hücre içine alımı söz konusudur. Hücrenin toksik etkiye sahip ve dönüştüremediği bu maddeleri stoplazma içerisindeki boşluklarda (vakol) diğer hücre içi atıklarla beraber biriktirdiği düşünülmektedir. Hücre içerisine giren bu maddelerin bir kısmının ise yüklerine ve stoplazmanın izoelektrik noktasına göre stoplazmada yer alan bazı proteinlere veya yağ asitlerine bağlandığı varsayılmaktadır. Hücre içerisinde madde biyobirikimini etkileyen bir diğer faktör de o maddenin sudaki çözünürlüğüyle ilgilidir. Hidrofobik bir madde hücre içerisinde kalma eğilimindedir. Biyobirikimle ilgili önerilen başka bir mekanizma ise, hücre içerisine giren ve bir merkeze bağlanan maddenin dış ortamdaki aynı maddenin hücre içine aktarımını hızlandırdığı yönündedir. Aslında biyobirikim oldukça kompleks bir süreçtir ve bugüne kadar mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır (Macaskie and Dean, 1989; Ting and et al., 1989; Kargı, 1993; Macaskie, 1997; Goodyear and Mc Neill, 1999; Haritonidis and Malea, 1999; Aksu and Dönmez, 2000; Aksu and Dönmez, 2001).

Biyobirikim, birçok doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemde gözlenmektedir. Günümüzde biyobirikim prosesleri atıksulardan çeşitli kirleticilerin giderilmesinde, özellikle aktif çamur proseslerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Kargı, 1993; Goodyear and Mc Neill, 1999; Haritonidis and Malea, 1999; Aksu and Dönmez, 2000).

Biyobirikimi etkileyen bazı önemli parametreler arasında ortam pH'ı, sıcaklık, substrat ve kirletici derişimleri, hücre yüzey alanı sayılabilir. Canlı hücrelerin optimum üreme pH'ı ve sıcaklığı daha yoğun ve hızlı hücre üremesine dolayısıyla da hücre zarından geçen madde derişiminin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca çözeltideki hidronyum iyonlarının hücre zarından geçerken oluşturdukları etki diğer maddelerin transferini de kolaylaştırmaktadır. Yüksek substrat ve kirletici derişimleri, itici güç  $\Delta C$ 'nin artmasından dolayı madde aktarımını hızlandırmaktadır. Tam olgunluğa erişmiş hücrelerin yüzey alanı daha büyük ve hücre aktiviteleri üst seviyededir, dolayısıyla daha fazla madde transferine imkan tanımaktadır (Walker, 2000; Mejare and Bülow, 2001).

#### **2.4.1. Ağır metal iyonlarının biyobirikimi ve mikroorganizmaların biyobirikimde kullanılması**

Mikroorganizmaların üreme ortamlarındaki olumsuzluklar (örneğin ortamın çok asidik ve/veya aşırı tuzlu olması, toksik etkiye sahip bileşenler içermesi, vb) mikroorganizma üremesinin yavaşlamasına ve inhibisyona neden olur. Bazı mikroorganizmalar ise bu uç ortam koşullarında,

bu koşullara dayanabilme mekanizmaları geliştirebilir ve çok iyi üreyebilir. Eğer ortamda ağır metal iyonları varsa yine bazı mikroorganizmalar bu iyonların toksik etkisine karşı direnç kazanabilir ve bu iyonları hücre içinde biriktirebilir.

Literatürde çeşitli ağır metal iyonlarının farklı türden alg, bakteri, maya ve küf mantarlarına biyobirikimiyle ilgili bazı çalışmalara rastlanmaktadır (Ting and et al., 1989; Macaskie, 1997; Aksu and Dönmez, 2000; Mejare and Bülow, 2001; Lee and Wang, 2001; Dursun and et al., 2002; Pawlik-Skowronska, 2003). Ağır metal iyonlarının biyobirikimiyle ilgili ilk alışma, Ting ve arkadaşları (1989) tarafından canlı *Chlorella vulgaris* yeşil algine kadmiyum(II) ve inko(II) iyonlarının metabolizmaya bağlı yarışmalı gideriminin, ışık varlığında ve yokluğunda incelenmesiyle başlatılmıştır. Sabit ışıklandırmada ve kadmiyum varlığında, hücresel metabolizma için temel bir element olan inko(II) iyonlarının biyobirikiminin inhibisyona neden olduğu gözlenmiştir. Kadmiyum(II) biyobirikimi ise, aynı deneysel koşullar altında inko(II) biyobirikiminden daha düşük bulunmuştur.

Mayalar asidik pH'a sahip ve ağır metal kirliliği içeren ortamlarda iyi üreyebilen mikroorganizmalardandır ve ağır metal iyonlarının biyobirikim yöntemiyle gideriminde başarıyla kullanılabilir. Maya hücreleriyle tekli metal iyonu biyobirikiminde, ortam pH'ı, sıcaklık, substrat ve kirlenici deşişimleri mikroorganizmanın üremesini ve metal biyobirikimini etkileyen en önemli parametrelerdir. Aksu ve Dönmez (2001), metal iyonlarına alıştırılmış canlı *Candida sp.* mayasıyla bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının biyobirikimini başlangıç pH'ı ve başlangıç metal iyon deşişiminin fonksiyonu olarak incelemişler ve 783.6 mg/L başlangıç bakır(II) deşişiminde 36.9 mg/g; 321.5 mg/L başlangıç nikel(II) deşişiminde ise 46.8 mg/g özgül giderim kapasitesi değerleri elde etmişlerdir.

Lee ve Wang (2001), yaptıkları bir çalışmada deniz kıyısında yaşayan mikroalglerle metal iyonlarının (Cu(II), Cr(VI), Zn(II) ve Cd(II)) birikimi üzerine temel besin ortamı bileşenlerinin (nitrat, amonyum ve fosfat) etkilerini araştırmışlardır. Nitrat deşişimindeki artışın Cd(II) biyobirikim miktarını önemli derecede arttırdığını, buna karşı Cr(VI) ve Zn(II) biyobirikiminin, nitrat düzeyinden fazla etkilenmediğini göstermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında ayrıca Cd(II), Cr(VI) ve Zn(II)'nin biyobirikiminin amonyum deşişiminden fazla etkilenmediğini, mikroalglerdeki Cr(VI) birikiminin ise artan fosfat deşişimi ile arttığını da gözlemişlerdir.

Dursun ve arkadaşları (2002), tarafından yapılan bir çalışmada Cu(II), Pb(II) ve Cr(VI) iyonlarının *Aspergillus niger*'in üremesi ve biyobirikimi üzerine başlangıç pH'ı ve başlangıç metal iyon deşişiminin etkilerini araştırmışlar ve çalıştıkları tüm metal iyonu deşişimlerinde *A. niger*'in üremesi üzerine metal iyonlarının inhibisyonunu gözlemelerine karşı, 100.0 mg/L'lik başlangıç Cu(II) ve Pb(II) deşişimlerinde sırasıyla 15.6 ve 34.4 mg/g olan maksimum giderim kapasiteleri elde etmişlerdir. Araştırmacılar çok düşük Cr(VI) deşişimlerinin bile *A. niger*'in üremesini inhibe ettiğini de gözlemişlerdir.

Tsekova ve Galabova (2003), *Rhizopus delemar*'ın atık sulardan Cu(II) iyonunun giderimi için biriktirebilme yeteneğinin yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Preetha ve Viruthagiri (2006), kesikli reaktörde ağır metaller krom(VI), bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının giderimi için *Rhizopus arrhizus*'un biyobiriktirme kapasitesini çalışmışlardır. Bu çalışmada krom(VI), bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının başlangıç metal iyon derişimi arttıkça *Rhizopus arrhizus*'un özgül üreme hızının azaldığını bulmuşlardır.

Birden fazla metal iyonunun bulunduğu ortamlar ise endüstriyel atıksu özelliklerini daha gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Bu durumda mikroorganizmanın üremesini ve her bir metalin biyobirikimini etkileyen parametrelere ek olarak metal iyonunun türü, her birinin derişimi, metal iyonlarının karışım oranı, vb incelenmesi gerekir.

Literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde, genellikle tek bileşenli metal biyobirikim çalışmalarının öne çıktığı ve düşük metal iyonu derişimlerinde ve yapay besin ortamlarında çalışıldığı görülmektedir. Tez çalışmasında farklı mikroorganizma türleriyle ve farklı metal iyonlarıyla melas katılmış besin ortamlarında tekli ve ikili bakır(II) ve nikel(II) biyobirikim çalışmalarının gerçekleştirilmesinin literatüre önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Adsorpsiyon ve biyobirikimde bir mikroorganizma üzerine bir metal karışımının birleştirilmiş etkisi çok karmaşık olabilir ve genellikle organizma tarafından üç tip cevap üretilebilir.

Karışımın etkisi karışımdaki bileşenlerin tek tek etkilerinin her birinden daha büyüktür (Synergism);

Karışımın etkisi karışımdaki bileşenlerin tek tek etkilerinin her birinden daha küçüktür (Antagonism);

Karışımın etkisi karışımdaki bileşenlerin tek tek etkilerinin her birinden ne daha büyüktür, ne de daha küçüktür (Noninteraction) (Ting and et al., 1989).

## 2.5. Deney Sistemi ve Yöntemleri

### 2.5.1. Adsorpsiyon çalışmaları

#### 2.5.1.1. Mikroorganizma ve üretilmesi

Yapılan tez çalışmasında *Rhizopus delemar* mantarı ve *Candida lipolytica* mayası kullanılmıştır. Mikroorganizmalar öncelikle, laboratuvar koşullarında en uygun üreme sıcaklığı olan 25°C'de sıvı besin ortamlarında üretilerek aktifleştirilmiştir. Mantarın üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları 10 g/L melas sakarozu, 0.5 g/L K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0.5 g/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 0.2 g/L MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 2.0 g/L maya özütü içermektedir. Mayanın üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları 10 g/L melas sakkarozu, 1 g/L amonyum sülfat ve 1 g/L potasyum dihidrojen fosfat içermektedir. Üreme



çalışmaları için hazırlanan besin ortamları otoklav'da 15 dk süresince 121°C ve 2 atmosfer basınçta sterillemiştir. Mikroorganizmalar melaslı sıvı besin ortamlarında sürekli üretilerek deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bol miktarda üretilen maya ve mantar biyosorpsiyon deneyleri için santrifüjlenerek biriktirilmiştir.

### **2.5.1.2. Mikroorganizmanın, tekli ve ikili metal iyonu karışımlarının adsorpsiyon için hazırlanması ve adsorpsiyon çalışmaları**

Mantar ve maya steril sıvı besin ortamlarında üretildikten sonra, yüksek devir hızında santrifüjlenerek besin ortamından ayrılmıştır. Damıtık suyla yıkanarak tekrar santrifüjlenmiş ve buradan farklı derişimlerde santrifüjlenerek etüvde, 60°C sıcaklıkta, sabit tartıma gelene kadar kurutulmuş (24-30 saat) ve mikroorganizmaların kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

Stok metal iyonu çözeltileri 1 g/L olarak, bakır(II), susuz bakır sülfattan ( $\text{CuSO}_4$ ); nikel(II) ise susuz nikel sülfattan ( $\text{NiSO}_4$ ) hazırlanmış ve saklanmıştır.

Tekli metal iyonu içeren çözeltiler 1 g/L'lik stok metal çözeltilerinden seyreltilerek; ikili metal iyonlarını içeren metal karışım çözeltileri ise, 1 g/L'lik stok metal iyonu çözeltilerinden istenen miktarlarda karıştırılarak ve seyreltilerek hazırlanmıştır.

Adsorpsiyona başlarken ortamda 1 g/L kuru mikroorganizma derişimi olacak mikroorganizma çözeltilisinden alınmış, pH'ı ayarlanmış olan toplam 90.0 mL metal iyonu/ikili metal iyonu karışımı çözeltilisine 10.0 mL eklenerek, çalışma hacmi olan 100.0 mL'lik adsorpsiyon ortamı hazırlanmıştır.

### **2.5.1.3. Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan deney düzeneği**

Adsorpsiyon çalışmaları kesikli düzende çalışan tepkime kaplarında yürütülmüştür. Tepkime kabı olarak, 100.0 mL çalışma hacmine sahip 250.0 mL'lik erlenler kullanılmıştır. Erlenlerde hazırlanan 100.0 mL'lik çözeltilerin, buharlaşmayı önlemek amacıyla ağızları kapatılmış ve sabit karıştırma hızı ve sıcaklıkta çalışan çalkalamalı su banyolarına yerleştirilmiştir. İstenilen metal iyonu/ikili metal iyonu karışımındaki her bir metal iyonu derişimine/derişimlerine de 100.0 mL'ye seyreltildiğinde ulaşılmıştır. Adsorpsiyondan önceki her bir metal iyonu derişimi/derişimleri daha önceden tayin edilmiştir. Kuru mikroorganizmanın metal iyonu/ikili metal iyonu karışımı çözeltilisine eklendiği an  $t=0$  anı olarak alınmıştır. Karıştırma anından hemen sonra alınan ilk örnek 5 dk içerisinde santrifüjlenmiş ve sıvı kısım çözeltilide adsorplanmadan kalan metal iyonu derişiminin/ derişimlerinin bulunması için kullanılmıştır.

## 2.5.2. Biyobirikim çalışmaları

### 2.5.2.1. Mikroorganizmalar ve üretim yöntemleri

Yapılan çalışmalarda Cumhuriyet Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden temin edilen *Rhizopus delemar* mantarı ve *Candida lipolytica* mayası kullanılmıştır.

Mikroorganizmaların üretiminde karbon kaynağı olarak bir şeker endüstrisi atığı olan melas kullanılmış ve Afyon şeker fabrikasından temin edilmiştir. Şekerin kristallenme yolu ile elde edilmesiyle son ana şurup olarak geri kalan melas önemli miktarda şeker (sakkaroz) içerir. Ayrıca melas şeker dışı maddeler bakımından da zengindir. Melas yaklaşık %50 sakkaroz, %30 şeker dışı maddeler ve %20 sudan oluşmaktadır. Şeker dışı maddelerin yaklaşık %10'unu ise kül teşkil etmektedir. Kül, melasın yanmasından sonra geri kalan anorganik maddedir. Geri kalan %20 ise organik şeker dışı maddelerdir.

Mantarın üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları 10 g/L melas sakkarozu, 0.5 g/L  $K_2HPO_4$ ; 0.5 g/L  $KH_2PO_4$ ; 0.2 g/L  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 2.0 g/L maya özütü içermektedir. Mayanın üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları 10 g/L melas sakkarozu, 1 g/L amonyum sülfat ve 1 g/L potasyum dihidrojen fosfat içermektedir. Üreme çalışmaları için hazırlanan besin ortamları otoklav'da 15 dk süresince 121°C ve 2 atmosfer basınçta sterillemiştir.

### 2.5.2.2. Mikroorganizmaların metal iyonu içeren besin ortamlarına alıştırılması

Mikroorganizmaların bakır(II) veya nikel(II) içeren ortamlara alıştırılması amacıyla, yukarıdaki besin bileşenlerini içeren ortama ilk olarak 50.0 mg/L metal iyonu ilave edilerek mikroorganizmaların bu ortamda üremesi sağlanmıştır. Bu kültür ortamı hem bu derişimi içeren deney sistemlerinde hem de 100.0 mg/L metal iyonu içeren besin ortamına mikroorganizmanın alıştırılması amacıyla kullanılmıştır. Bu şekilde aktarmalara devam edilerek, mikroorganizmaların daha yüksek metal iyonu derişimlerine adaptasyonu sağlanmıştır.

Mikroorganizmaların bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamlara alıştırılması ise, kullanılacak kombinasyona göre o derişimleri içeren metal ortamlarına ayrı ayrı alıştırılmış hücrelerden, karışımı içeren besin ortamına birlikte aktarılarak sağlanmış ve bu ortamda üremiş mikroorganizma kültürü, o derişim çiftine karşı gelen ikili karışım deneylerinde kullanılmıştır.

### 2.5.2.3. Deneyler

Deneyel çalışmalar 100.0 mL çalışma hacmine sahip 250.0 mL'lik steril erlenlerde sabit sıcaklık ve 150 rpm karıştırma hızında çalışan çalkalayıcıda kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, metal iyonu içeren ve içermeyen besin ortamlarına alıştırılarak üretilerek üstel üreme evresine gelmiş mikroorganizma çözeltilisinden 1.0 mL aşu alınarak deney ortamına eklenmesiyle başlatılmıştır. Bütün deneylerde sıcaklık 25°C'de sabit tutulmuştur.

#### **2.5.2.4. Analiz yöntemleri**

Belirli zaman aralıklarında deney ortamından steril olarak alınan örnekler santrifüjlenerek, sıvı kısım metal iyonlarının ve sakkaroz derişiminin tayininde, dipte çökelen kısım ise mikroorganizma derişiminin bulunmasında kullanılmıştır.

##### **2.5.2.4.1. Mikroorganizma derişimi tayini**

Alınan örnekteki yaş maya derişimi g/L cinsinden spektrofotometrik olarak 360 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir. Daha sonra yaş ağırlık, yaş ağırlık-kuru ağırlık mikroorganizma çalışma doğrusundan yararlanarak kuru mikroorganizma derişimine geçilmiştir.

##### **2.5.2.4.2. Sakkaroz derişimi tayini**

Örnekteki sakkaroz derişimi g/L cinsinden, sakkarozun dinitrosalisilikasit ile verdiği turuncu-koyu kırmızı renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 575 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir (Forouchi and Gunn, 1983).

##### **2.5.2.4.3. Bakır(II)/nikel(II) iyon derişiminin tayini**

Biyosorpsiyon ve biyobirikim deneylerinde tekli bakır(II) veya nikel(II) içeren deney ortamından alınan örnekteki serbest bakır(II) veya nikel(II) derişimi, bakır(II) iyonlarının veya nikel(II) iyonlarının sodyum dietil ditiyokarbamatla yaptığı sarı-kahverengi renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 460 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir (Snell and Snell, 1959; Sandell, 1961; Aksu, 1988).

##### **2.5.2.4.4. Bakır(II)-nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda her bir metal iyon derişiminin tayini**

Biyosorpsiyon ve biyobirikim deneylerinde bakır(II)-nikel(II) iyonlarını birlikte içeren deney ortamından alınan örnekteki serbest bakır(II) ve nikel(II) iyon derişimleri 3-20 mg/L aralığında atomik absorpsiyon spektrofotometresi (GBC A4382) kullanılarak bakır(II) için  $\lambda=327.4$  nm'de ve nikel(II) için  $\lambda=352.4$  nm'de absorbans değerleri okunarak tayin edilmiştir.

#### **2.6. Deney Sisteminin Matematiksel Tanımlanması**

##### **2.6.1. Adsorpsiyon deneyleri**

###### **2.6.1.1. Adsorpsiyon hızı**

Adsorpsiyon hızı, birim mikroorganizma kütlesi tarafından adsorplanan metal iyonu miktarına karşı zaman grafiğinden,  $t=0$  anında çizilen teğetin eğimi olarak tanımlanmıştır.

$$r_{ad} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Burada,

- $r_{ad}$ : Adsorpsiyon hızı (mg adsorplanan metal iyonu/g mikroorganizma- dakika),  
 $q$ : Birim mikroorganizma kütlesi tarafından adsorplanan metal iyonu miktarı ( mg metal iyonu /g mikroorganizma),  
 $t$ : Zaman (dakika)'dır.

$q$  ise Eşitlik 2.2 ile tanımlanabilir:

$$q = \frac{C_o - C}{X} \quad (2.2)$$

Burada,

- $C_o$ : Başlangıç metal iyonu derişimi (mg metal iyonu /L çözelti),  
 $C$ : Herhangi bir anda adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan metal iyonu derişimi (mg metal iyonu /L çözelti),  
 $X$ : Mikroorganizmanın (adsorbent) çözeltideki derişimi (g mikroorganizma/L çözelti)'dir.

### 2.6.1.2. Adsorpsiyon verimi

Adsorpsiyon verimi, tek metal iyonu durumunda, dengede, litrede 1 g mikroorganizmanın adsorpladığı metal iyonu derişiminin başlangıç metal iyonu derişimine oranı olarak tanımlanmıştır (Eşitlik 2.3).

$$\%Ad = \frac{C_{ad, d} / X}{C_o} \quad (2.3)$$

Burada,

- $C_{ad,d}$ : Dengede mikroorganizma tarafından adsorplanan metal iyonu derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)'dir.

### 2.6.1.3. Toplam adsorpsiyon verimi

Toplam adsorpsiyon verimi, ikili metal iyonu karışımlarında, dengede, litrede 1g mikroorganizmanın adsorpladığı her bir metal iyonu derişiminin toplamının, iki metal iyonunun toplam başlangıç derişimine oranı olarak tanımlanmıştır (Eşitlik 2.4).

$$\%Ad = \frac{(C_{(ad, d)I} + C_{(ad, d)II}) / X}{(C_{oI} + C_{oII})} \quad (2.4)$$

Burada,

$C_{(ad, d)I}$ : Birinci metal iyonunun dengede adsorplanan derişimi (mg metal iyonu /L çözelti),

$C_{(ad, d)II}$ : İkinci metal iyonunun dengede adsorplanan derişimi (mg metal iyonu /L çözelti),

$C_{oI}$ : Birinci metal iyonunun başlangıç derişimi (mg metal iyonu /L çözelti),

$C_{oII}$ : İkinci metal iyonunun başlangıç derişimi (mg metal iyonu /L çözelti)'dir.

### 2.6.1.4. Adsorpsiyon dengesinin matematiksel tanımlanması

Adsorpsiyon bir denge prosesidir ve çözültide kalan adsorplanan derişimi ile katı yüzeye tutulan adsorplanan derişimi arasında dinamik bir dengeye ulaşmaya kadar sürer. Dengenin bu durumunda adsorplananın katı ve sıvı fazları arasında belirli dağılımı vardır. Adsorpsiyon dengesini belirtmek için sabit sıcaklıkta dengedeki çözültide kalan adsorplanan derişimine karşı, adsorbent birim ağırlığında adsorplanan miktarı grafiğe geçirilir. Genellikle doğrusal olmayan bu eğriler adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır.

#### 2.6.1.4.1. Tek bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izoterm eşitlikleri

Tek bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izotermelerinin matematiksel olarak tanımlanmasında başlıca Langmuir ve Freundlich modelleri kullanılır.

Bunlardan Langmuir modeli, maksimum adsorpsiyonun adsorbent yüzeyinde tutulan moleküllerin doymuş bir tek tabakasına karşı olduğu ve adsorpsiyon enerjisinin sabit olduğu kabulü yapılarak türetilmiştir ve Eşitlik 2.5 ile ifade edilir:

$$q_{den} = \frac{Q^{\circ} b C_{den}}{1 + b C_{den}} \quad (2.5)$$

Burada,

- $q_{den}$ : Denge, birim adsorplayıcı başına adsorplanan bileşen miktarı (mg adsorplanan bileşen /g adsorbent),
- $C_{den}$ : Denge, adsorplanmadan çözeltide kalan adsorplanan bileşen derişimi (mg adsorplanan bileşen /L çözelti),
- $b$  : Adsorpsiyon entalpisi ile ilgili sabit,
- $Q^0$ : Yüzye tam bir tek tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan bileşen miktarı (mg adsorplanan bileşen/g adsorbent)'dir.

Eşitlik 2.5'de verilen  $q_{den}$ , Eşitlik 2.6 ile tanımlanır:

$$q_{den} = \frac{C_o - C_{den}}{X} \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.6'nın doğrusallaştırılmasıyla Eşitlik 2.7 elde edilir:

$$\frac{1}{q_{den}} = \frac{1}{Q^0} + \frac{1}{bQ^0} \frac{1}{C_{den}} \quad (2.7)$$

$1/q_{den}$ 'e karşı  $1/C_{den}$  grafiğinin y eksenini kesim noktası  $1/Q^0$ , eğimi  $1/bQ^0$ 'ı verir bulunur.  $Q^0$  ve  $b$ 'nin büyüklüğü yüksek adsorpsiyon kapasitesine işaret eder.

Freundlich modeli ise, Langmuir adsorpsiyon eşitliğindeki enerji ile ilgili terimin ( $b$ ), yüzey örtüsünün( $q$ ) bir fonksiyonu olarak değıştiğı (adsorpsiyon ısısındaki değışmelere bağı olarak heterojen yüzey enerjileri için) özel bir durumu ifade eder ve Eşitlik 2.8 ile tanımlanır:

$$q_{den} = K_F C_{den}^n \quad (2.8)$$

Burada,

- $K_F$ : Sıcaklığa, adsorbente ve adsorplanan bileşene bağı, adsorpsiyon kapasitesinin büyüklüğünü gösteren adsorpsiyon sabiti,
- $n$  : Adsorpsiyon şiddetini gösteren adsorpsiyon derecesidir.

Eşitlik 2.8'in doğrusallaştırılmasıyla Eşitlik 2.9 elde edilir:

$$\ln q_{den} = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_{den} \quad (2.9)$$

$\ln q_{den}$  'e karşı  $\ln C_{den}$  grafiğinin eğiminden  $1/n$ , y eksenini kesim noktasından  $\ln K_F$  bulunur.  $K_F$  ve  $n$  değerlerinin büyük olması, adsorbentin, adsorpsiyona eğilimli ve adsorplama kapasitesinin yüksek olduğunu gösterir (Harward and Trapnel, 1964; ; Ross and Oliver, 1964; Weber, 1972; Humphrey and Millis, 1973; Hassler, 1974; Treybal, 1980; Oğuz, 1986; Aksu, 1988; Aksu and et. al., 1990; Aksu and et. al., 1992).

#### 2.6.1.4.2. İki bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izoterm eşitlikleri

İki bileşenli sistemlerde adsorpsiyon izotermelerinin matematiksel olarak tanımlanmasında ise, çok bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir ve Freundlich eşitliklerinin iki bileşenli sistemler için basitleştirilmiş şekilleri kullanılmaktadır. Bunlardan Langmuir izoterm eşitliği Eşitlik 2.10 ile verilir:

$$q_{denI} = \frac{Q^{\circ} b_I \frac{C_{denI}}{\alpha}}{1 + b_I \frac{C_{denI}}{\alpha} + b_{II} \frac{C_{denII}}{\beta}} \quad (2.10)$$

Burada,

$q_{denI}$ : Birinci bileşenin, dengede, birim adsorplayıcı başına adsorplanan miktarı (mg adsorplanan birinci bileşen /g adsorbent),

$C_{denI}$ : Birinci bileşenin, dengede, adsorplanmadan çözeltide kalan derişimi (mg birinci bileşen /Lçözelti),

$C_{denII}$ : İkinci bileşenin, dengede, adsorplanmadan çözeltide kalan derişimi (mg ikinci bileşen /L çözelti),

$b_I$ : Birinci bileşene ait adsorpsiyon sabiti,

$b_{II}$ : İkinci bileşene ait adsorpsiyon sabiti,

$\alpha, \beta$ : Birinci bileşene ait Langmuir adsorpsiyon sabitleridir.

Eşitlik 2.11'de ise iki bileşenli sistemler için türetilmiş Freundlich izoterm eşitliği sunulmuştur.

$$q_{denI} = \frac{\left(\frac{1}{n_I} + x\right) K_{FI}(C_{denI})^{n_I}}{(C_{denI})^x + Y(C_{denII})^z} \quad (2.11)$$

Burada

$K_{FI}$ : Birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon sabiti,

$n_I$ : Birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon derecesi,

x, y, z: İki bileşenli sistemde birinci bileşene ait Freundlich adsorpsiyon sabitleridir.

Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modelleri matematiksel olarak seyreltik çözeltilerden adsorpsiyonu karakterize ettiklerinden, ortalama derişim aralıklarında adsorpsiyon verileri her iki izoterme de uygunluk gösterir (Bellot and Condoret, 1993).

## 2.6.2. Biyobirikim deneyleri

### 2.6.2.1. Mikroorganizma özgül üreme hızı

Kesikli sistemde üstel üreme evresinde mikroorganizma derişiminin zamanla değişimi özgül üreme hızı ile ifade edilir ve Eşitlik 2.12 ile verilir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (2.12)$$

t=0 anında X=X<sub>0</sub>, t=t anında X=X sınır koşullarında Eşitlik 2.12'nin integrasyonu ile Eşitlik 2.13 elde edilir.

$$\ln \frac{X}{X_0} = \mu t \quad (2.13)$$

Bu eşitliklerde;

- $\mu$  : Özgül üreme hızı (sa<sup>-1</sup>),
- X: Kuru mikroorganizma derişimi (g /L),
- t : Zaman (sa)'dır.

### 2.6.2.2. Metal iyonu içermeyen ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Kesikli sistemde substrat inhibisyonunun gözlenmediği durumda, özgül üreme hızı ile mikroorganizmanın üreme hızını kontrol eden besin maddesi (substrat) arasındaki ilişki Monod eşitliği ile verilir (Shuler and Kargı, 2002).

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (2.14)$$



Burada  $S \gg K_s$  olduğu zaman;

$\mu$ : Özgül üreme hızı ( $\text{sa}^{-1}$ ),

$\mu_m$ : Maksimum özgül üreme hızı ( $\text{sa}^{-1}$ ),

$K_s$ : Doygunluk sabiti ( $\text{g/L}$ )'dir.

Eşitlik 2.14'ün doğrusallaştırılmış şekli Eşitlik 2.15 ile gösterilebilir:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S} \quad (2.15)$$

$1/\mu$ 'ye karşı  $1/S$  grafiğinin, x eksenini kesim noktasından  $\mu_m$ , doğrunun eğiminden ise  $K_s$  bulunur. Düşük  $K_s$  değeri mikroorganizmanın düşük substrat derişimlerinde de hızlı ürediğini gösterir.

### 2.6.2.3. Metal iyonu içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Besin ortamında ağır metal iyonları gibi mikroorganizmaların üremesini engelleyecek veya yavaşlatacak etkiye sahip maddelerin bulunması durumunda, bu maddelerin mikroorganizma özgül üreme hızı üzerinde gösterdikleri inhibisyon etkisi, literatürde tanımlanan tek ve iki bileşenli inhibisyon modellerine göre ifade edilmektedir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

#### 2.6.2.3.1. Tek inhibitör içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Tek bir metal iyonunun inhibisyona neden olduğu durumda bu bileşenin, mikroorganizmanın özgül üreme hızı üzerine gösterdiği inhibisyon etkisi literatürde yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon olarak sınıflandırılmıştır. Bu inhibisyonları ifade eden modeller Eşitlik 2.16, 2.17 ve 2.18'de verilmiştir (Pekin, 1983; Kargı, 1993):

Yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s \left( 1 + \frac{I}{K_I} \right) + S} \quad (2.16)$$

Yarışmasız inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m}{\left(1 + \frac{K_s}{S}\right) \left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} \quad (2.17)$$

Kısmi yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{\left(\frac{K_s}{\left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} + S\right) \left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} \quad (2.18)$$

Burada;

I : İnhibisyona neden olan bileşenin derişimi (mg/L),

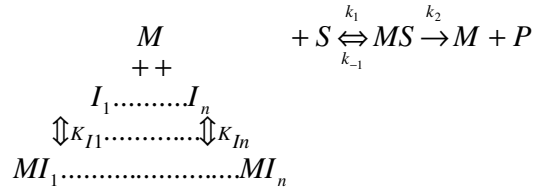
K<sub>I</sub> : İnhibisyon sabiti (mg/L)'dir.

Her üç inhibisyon türünde de I derişimi arttıkça mikroorganizmanın üremesi azalmakta ve özgül üreme hızı değerleri düşmektedir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

#### 2.6.2.3.2. Birden fazla inhibitör içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Farklı iki bileşenin inihibisyona neden olduğu durumda, bu iki bileşenin mikroorganizmanın özgül üreme hızı üzerine gösterdiği ortak inhibisyon etkisi, literatürde tek bileşenli sistem için verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinden yararlanılarak iki bileşenli sistemler için modellenmiş ve Eşitlik 2.19, 2.20 ve 2.21'de verilmiştir. Bu modeller ikili inhibisyonun türünü belirlemede ve birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitlerinin bulunmasında kullanılmıştır (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

Yarışmalı inhibisyon: Burada inhibitörler substratla yarışır.



Açıkça;

$$K_m = \frac{k_1}{k_{-1}} \text{ dengede eşitlik sıfırdır ve } K_m = \frac{[M][S]}{[MS]}$$

$$\text{Bu durumda } K_{I1} = \frac{[M][I_1]}{[MI_1]}, K_{In} = \frac{[M][I_n]}{[MI_n]} \text{ olur.}$$

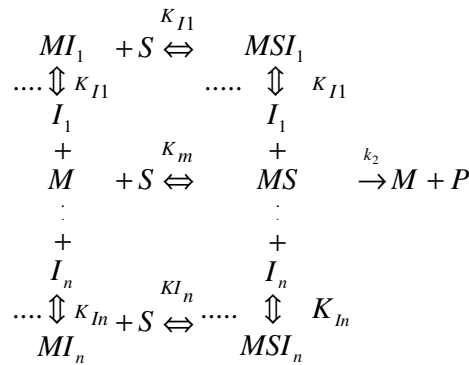
$$[M]_o = [M] + [MS] + [MI_1] + \dots + [MI_n] \text{ ve } \mu = k_2 [MS]$$

Ortama substratla yarışan çok sayıda inhibitör varsa mikroorganizma özgül üreme hızı için aşağıdaki denklik türetilebilir;

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_i}{K_{Ii}} \right) \right] + S} \quad (2.19)$$

Burada M ve S mikroorganizma ve substrat derişimleri (g/L), I inhibisyona neden olan bileşik derişimi (mg/L) ve  $K_i$  inhibisyon sabiti (mg/L)'dir.

Yarışmasız inhibisyon: Burada inhibitörler hücre içerisindeki bazı aktif merkezlere bağlanırlar ve mikroorganizmanın substrat tüketim gücünü azaltırlar.



Açıkça;

$$K_m = \frac{[M][S]}{[MS]} = \frac{[MI_1][S]}{[MSI_1]} = \frac{[MI_n][S]}{[MSI_n]}, \quad KI_1 = \frac{[M][I_1]}{[MI_1]} = \frac{[MS][I_1]}{[MSI_1]}$$

$$\text{ve } KI_n = \frac{[M][I_n]}{[MI_n]} = \frac{[MS][I_n]}{[MSI_n]}$$

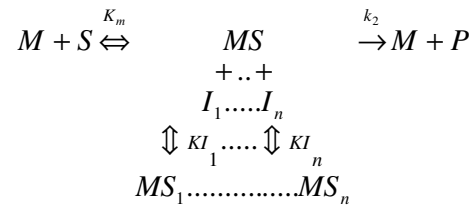
$$[M]_o = [M] + [MS] + [MI_1] + [MSI_1] + \dots + [MI_n] + [MSI_n]$$

Bu durumda;

Yarışmasız inhibisyon için aşağıdaki eşitlik geliştirilebilir;

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_s + S) \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_i}{K_{ii}} \right) \right]} \quad (2.20)$$

Kısmi yarışmalı inhibisyon: Burada, inhibitör MS komplekslerine bağlanır ve mikroorganizma üreme verimini düşürür.



Burada;

$$K_m = \frac{[M][S]}{[MS]}, \quad KI_1 = \frac{[MS][I_1]}{[MSI_1]} \text{ ve } KI_n = \frac{[MS][I_n]}{[MSI_n]}$$

$$[M]_o = [M] + [MS] + [MSI_1] + \dots + [MSI_n]$$

Bu durumda kısmi yarışmalı inhibisyon için aşağıdaki eşitlik geliştirilebilir;

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S \left[ 1 + \sum_{i=1}^n \left( \frac{I_i}{K_{Ii}} \right) \right]} \quad (2.21)$$

Bu tez çalışmasında bakır(II) ve nikel(II) içeren ikili inhibitör bulunan ortam modellemesi için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

İkili yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S \left( 1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right) + S} \quad (2.22)$$

İkili yarışmasız inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_S + S) \left[ 1 + \left( \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right) \right]} \quad (2.23)$$

İkili kısmi yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S + S \left( 1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right)} \quad (2.24)$$

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Adsorpsiyon Deneyleleri

İkili ağır metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a ve *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonu çalışmaları, karışımdaki metal iyonunun türü, metal iyonunun derişimi ve karışımın pH'ı adsorpsiyon hızı ve verimliliğini etkileyen en önemli parametreler olarak ele alınmıştır. Bu amaçla bakır(II) veya nikel(II) tekli ve bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımları seçilerek, mikroorganizmalara adsorpsiyonu incelenmiştir.

Deneysel çalışmaların ilk kısmında bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonuna başlangıç metal iyonu derişiminin etkisi incelenmiş ve ayrıca saptanan optimum pH değerlerinde elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermelerinden Langmuir ve Freundlich sabitleri hesaplanmıştır.

Bakır(II)-nikel(II) ikili karışım çalışmaları her iki metal iyonu da aynı optimum pH'a sahip olduğundan pH 4.0 değerinde gerçekleştirilerek, karışım pH'ının adsorpsiyon hız ve verimliliği üzerine etkisi araştırılmıştır.

Karışımdaki her bir metal iyonunun derişim etkisini incelemek için ise, metal iyonu derişimlerinden biri sabit tutulurken, diğer metal iyonu derişimi değiştirilerek metal kombinasyonunun adsorpsiyon hız ve verimliliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Metal iyonu derişimleri seçilirken, atıksudaki limit değerleri kapsamına dikkat edilmiştir. Sonuçlar tekli metal iyonu çalışmaları bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Ayrıca ikili metal iyonu karışımlarının mikroorganizmalara adsorpsiyonundaki adsorpsiyon izotermeleri de elde edilerek, bu izotermelerin iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir ve Freundlich modellerine uygunluğu da araştırılmış ve bilgisayar yardımıyla adsorpsiyon sabitleri saptanmıştır.

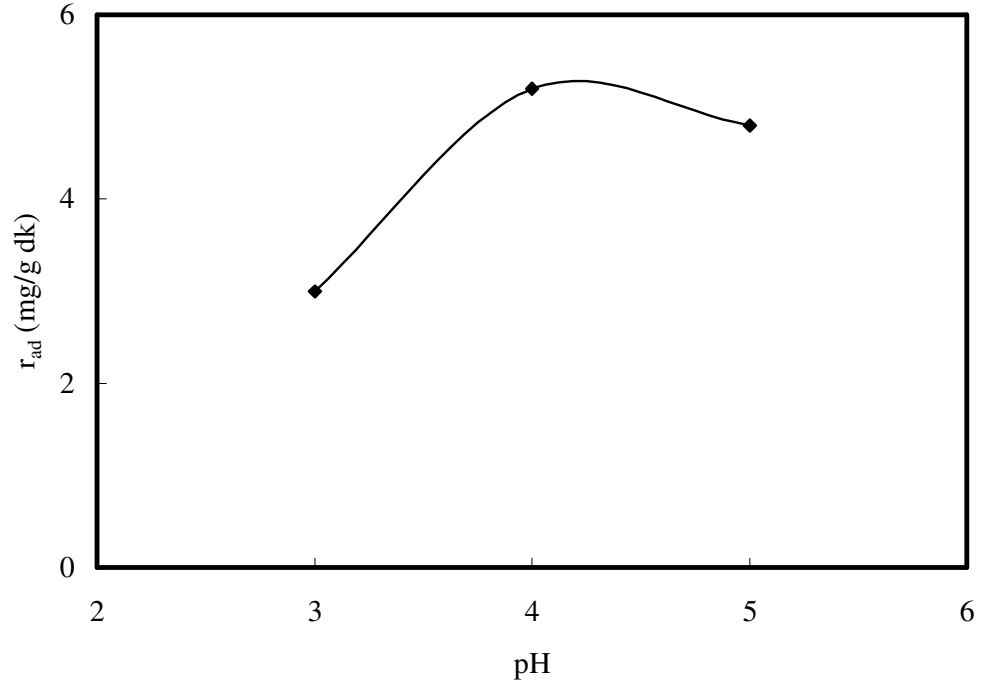
#### 3.1.1. *Rhizopus delemar* çalışmaları

##### 3.1.1.1. Tek bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları

##### 3.1.1.1.1. Sadece bakır(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları

##### 3.1.1.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

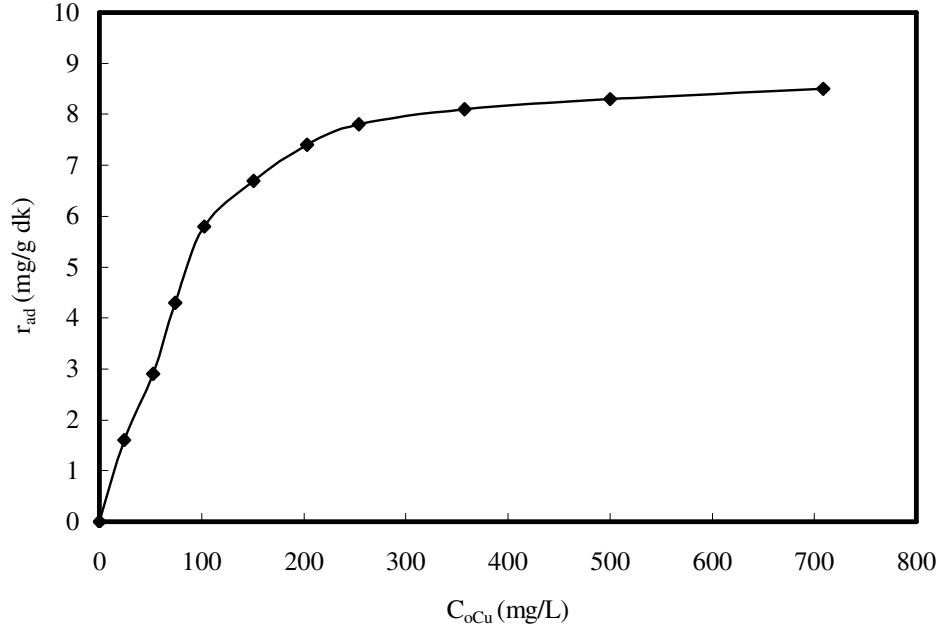
Ortam pH'ı ağır metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorpsiyonunda en önemli parametrelerden biridir. Şekil 3.1'den bakır(II) iyonlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunda başlangıç pH'ındaki artışın adsorpsiyon hızını artırdığı ve pH 4.0 değerinde maksimum adsorpsiyon hız değerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.1. *R. delemar* için bakır(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'nın adsorpsiyon hızına etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

#### 3.1.1.1.2. Başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Şekil 3.2'den pH 4.0 değerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi incelendiğinde, genel olarak başlangıç bakır(II) derişimi arttıkça adsorpsiyon hız değerlerinin arttığı ve belli bir derişimden sonra sabit kaldığı görülmektedir.

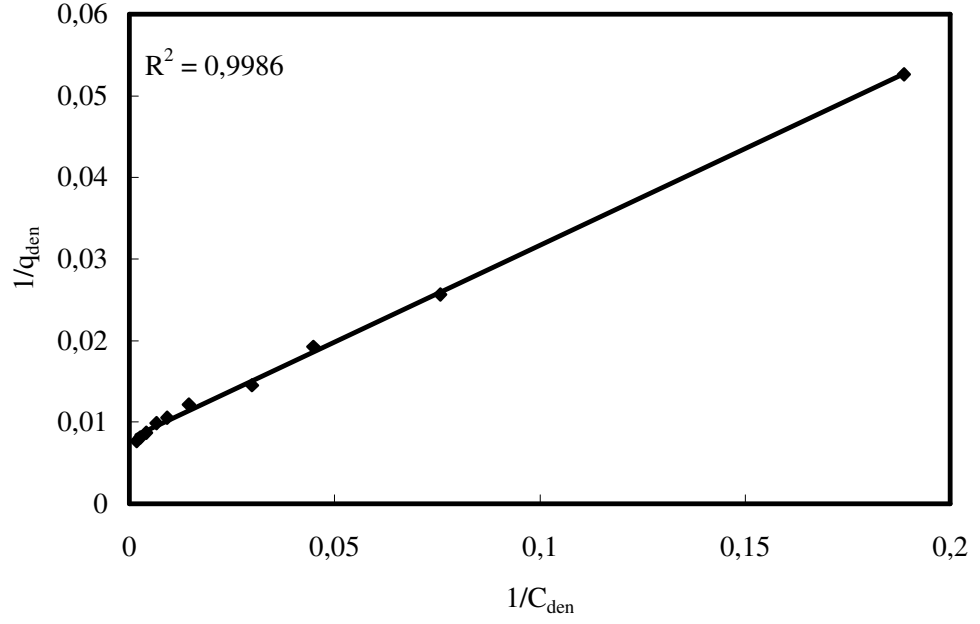


Şekil 3.2. *R. delemar* için pH 4.0'te başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

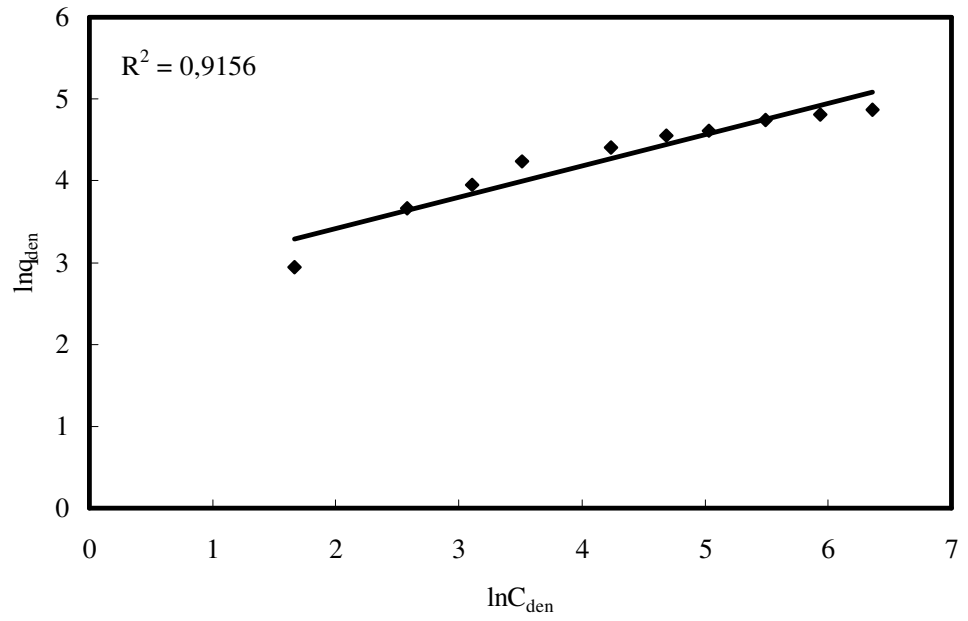
### 3.1.1.1.3. Bakır(II) iyonu için adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te, Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerinin doğrusallaştırılmasına göre pH 4.0'te elde edilen adsorpsiyon izotermeleri, Çizelge 3.1'de ise bu izotermelerden yararlanarak aynı pH'larda bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri sunulmuştur. Çizelge 3.1'den *R. delemar*'a bakır(II) adsorpsiyonunda çalışma pH'ının oldukça önemli bir parametre olduğu ve elde edilen adsorpsiyon sabitlerinden, pH 4.0 değerinde adsorbentın adsorplama hızının ve kapasitesinin büyük olduğu görülmektedir.





Şekil 3.3. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi



Şekil 3.4. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi

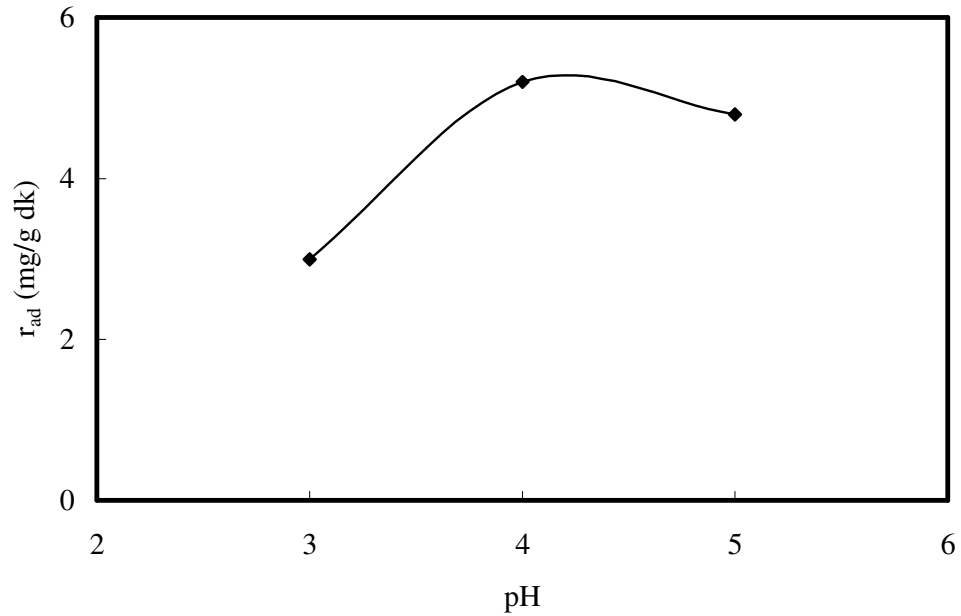
Çizelge 3.1. Bakır(II) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerinden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri

Langmuir		Freundlich	
$Q^o$	b	$K_F$	n
125.0	0.0338	14.236	2.624

### 3.1.1.1.2. Sadece nikel(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları

#### 3.1.1.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

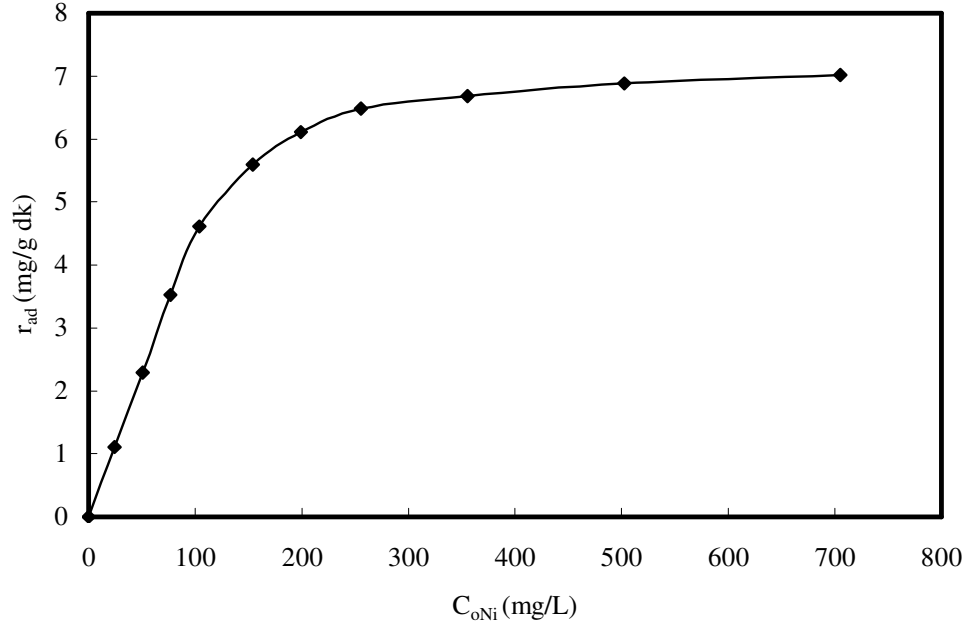
Şekil 3.5'ten nikel(II) iyonlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunda başlangıç pH'ındaki artışın adsorpsiyon hızını artırdığı ve pH 4.0 değerinde maksimum adsorpsiyon hız değerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.5. *R. delemar* için nikel(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'ının adsorpsiyon hızına etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

#### 3.1.1.1.2. 2. Başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

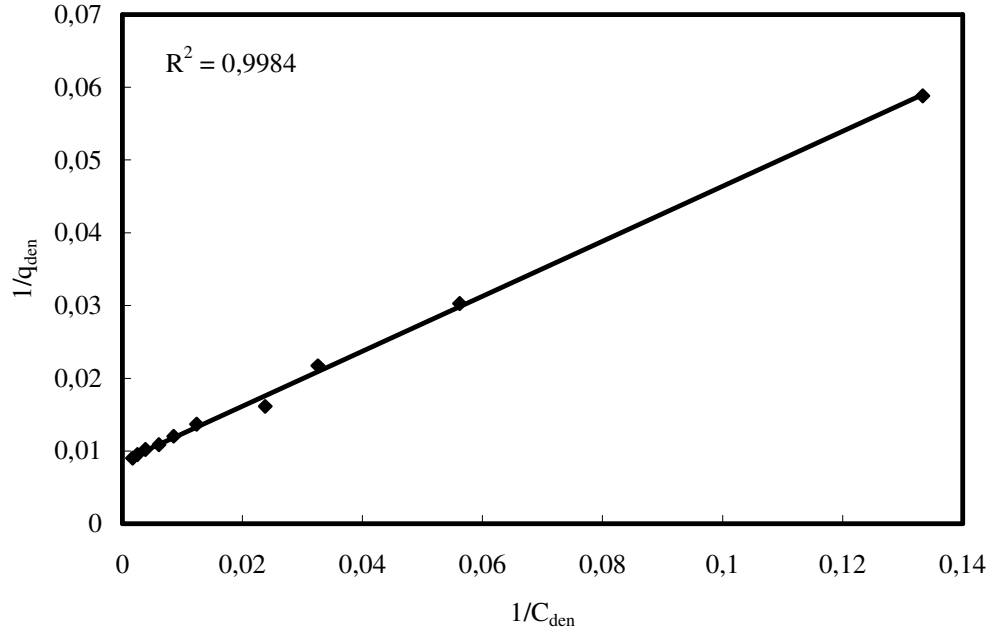
Şekil 3.6'dan pH 4.0 değerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi incelendiğinde, genel olarak başlangıç nikel(II) derişimi arttıkça adsorpsiyon hız değerlerinin arttığı ve belli bir derişimden sonra sabit kaldığı görülmektedir.



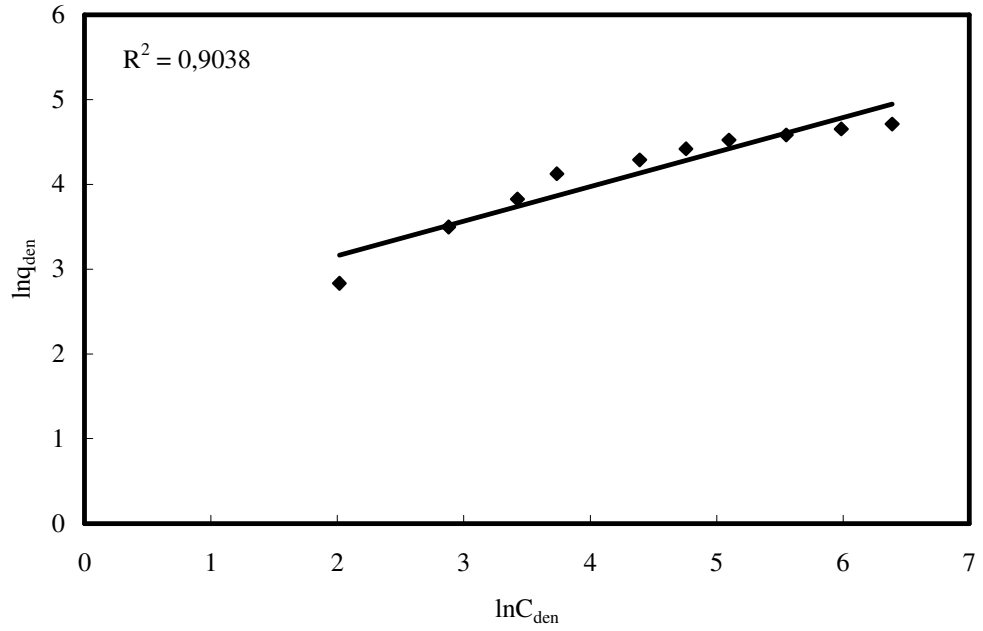
Şekil 3.6. *R. delemar* için pH 4.0'te başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

### 3.1.1.1.2.3. Nikel(II) iyonu için adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de, Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerinin doğrusallaştırılmasına göre pH 4.0'te elde edilen adsorpsiyon izotermeleri, Çizelge 3.2'de ise bu izotermelerden yararlanarak aynı pH'larda bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri sunulmuştur. Çizelge 3.1'den *R. delemar*'a nikel(II) adsorpsiyonunda çalışma pH'ının oldukça önemli bir parametre olduğu ve elde edilen adsorpsiyon sabitlerinden, pH 4.0 değerinde adsorbentin adsorplama hızının ve kapasitesinin büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.7. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi



Şekil 3.8. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi

Çizelge 3.2. Nikel(II) adsorpsiyonunda Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerinden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri

<u>Langmuir</u>		<u>Freundlich</u>	
Q <sup>o</sup>	b	K <sub>F</sub>	n
116.28	0.023	10.48	2.46

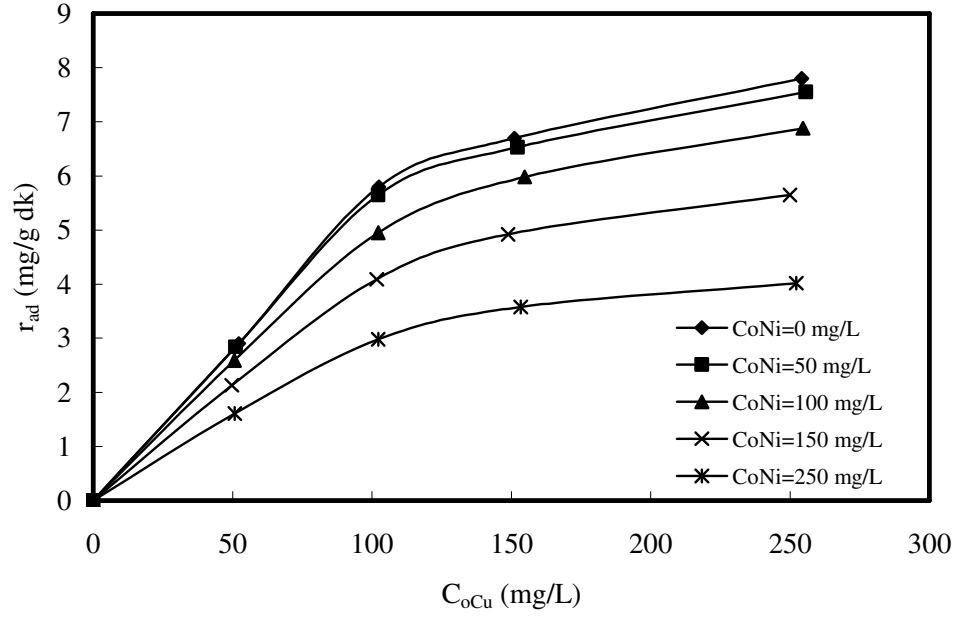
### 3.1.1.2. İki bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları

#### 3.1.1.2.1. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonu

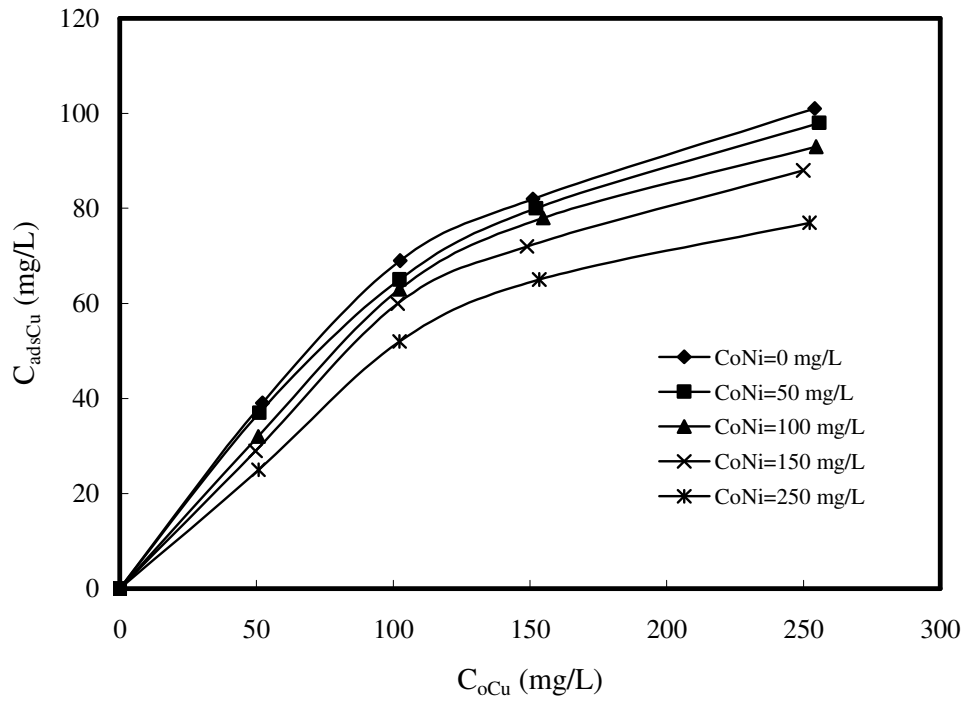
##### 3.1.1.2.1.1. Sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyon çalışmaları, bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının maksimum adsorpsiyon gösterdiği pH 4.0'te yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda sıcaklık 25°C'de sabit tutularak, her deney seti için başlangıç bakır(II) iyon derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, 250.0 mg/L'ye kadar değişen nikel(II) iyon derişimi sabit tutulmuş, bakır(II) başlangıç derişiminin adsorpsiyon hızı, dengesi ve bakır(II), nikel(II) adsorpsiyon ve toplam adsorpsiyon verimleri üzerine etkisi araştırılmış ve tek metal iyonu durumundaki hız ve verimlilik değerleriyle karşılaştırılmıştır.

pH 4.0'te sabit başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde, başlangıç bakır(II) iyon derişimindeki değişimin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi Şekil 3.9 ve 3.10'da sunulmuştur. Şekil 3.9 ve 3.10'dan bakır(II) iyon derişiminin artmasıyla adsorpsiyon hızının arttığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın bakır(II) adsorpsiyon hızını düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 3.9. R. delemar için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

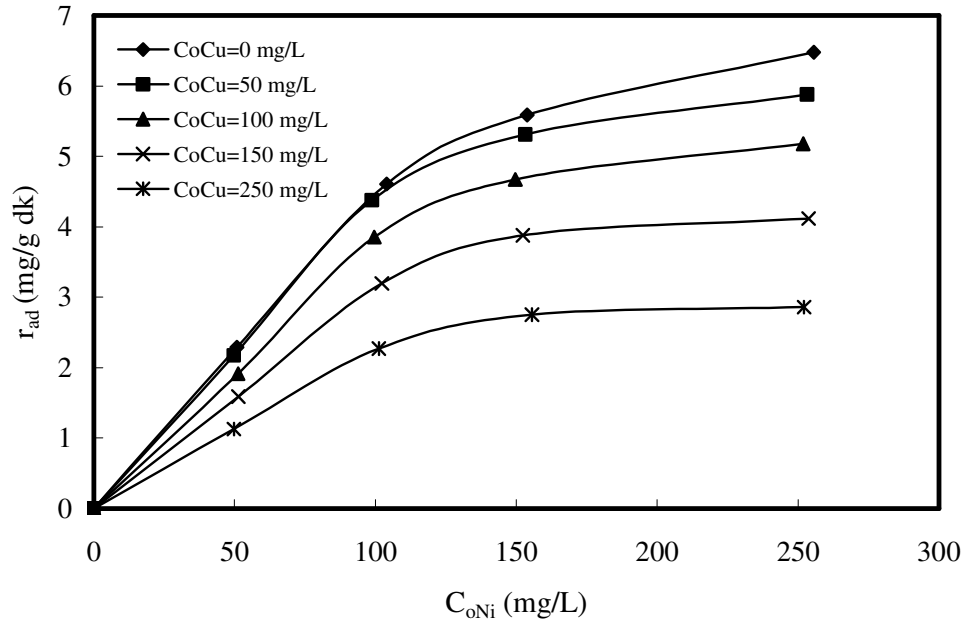


Şekil 3.10. R. delemar için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

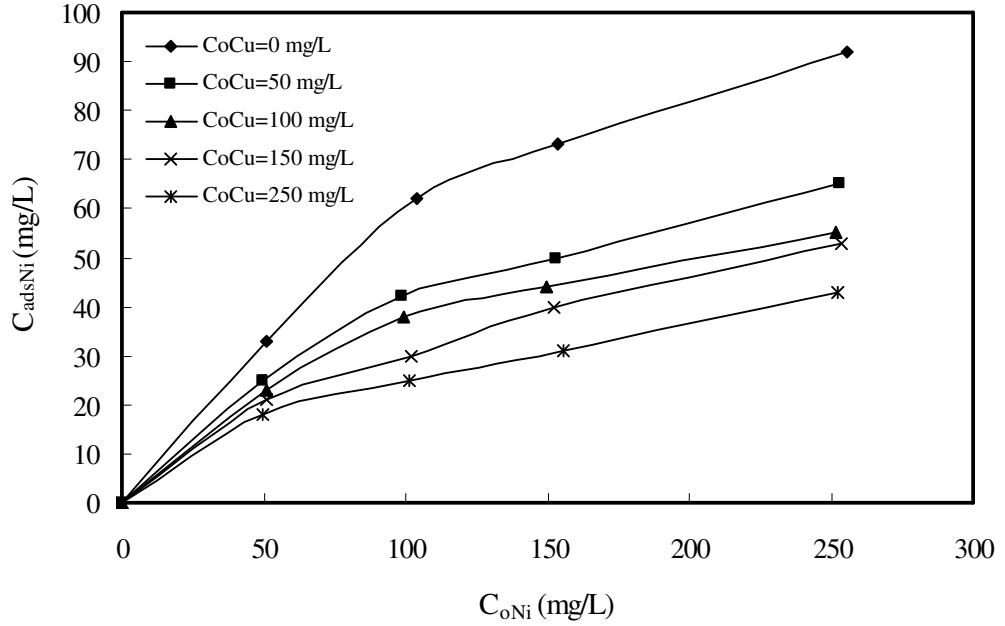
### 3.1.1.2.1.2. Sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyon çalışmaları, bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının maksimum adsorpsiyon gösterdiği pH 4.0'te yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda sıcaklık 25°C'de sabit tutularak, her deney seti için başlangıç nikel(II) iyon derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, 250.0 mg/L'ye kadar değişen bakır(II) iyon derişimi sabit tutulmuş, nikel(II) başlangıç derişiminin adsorpsiyon hızı, dengesi ve nikel(II), bakır(II) adsorpsiyon ve toplam adsorpsiyon verimleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

pH 4.0'te sabit başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde, başlangıç nikel(II) iyon derişimindeki değişimin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi Şekil 3.11 ve 3.12'de sunulmuştur. Şekil 3.11 ve 3.12'den nikel(II) iyon derişiminin artmasıyla adsorpsiyon hızının arttığı, ancak bakır(II) iyon derişimindeki artışın nikel(II) adsorpsiyon hızını düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 3.11. *R. delemar* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)



Şekil 3.12. *R. delemar* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorplanan nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

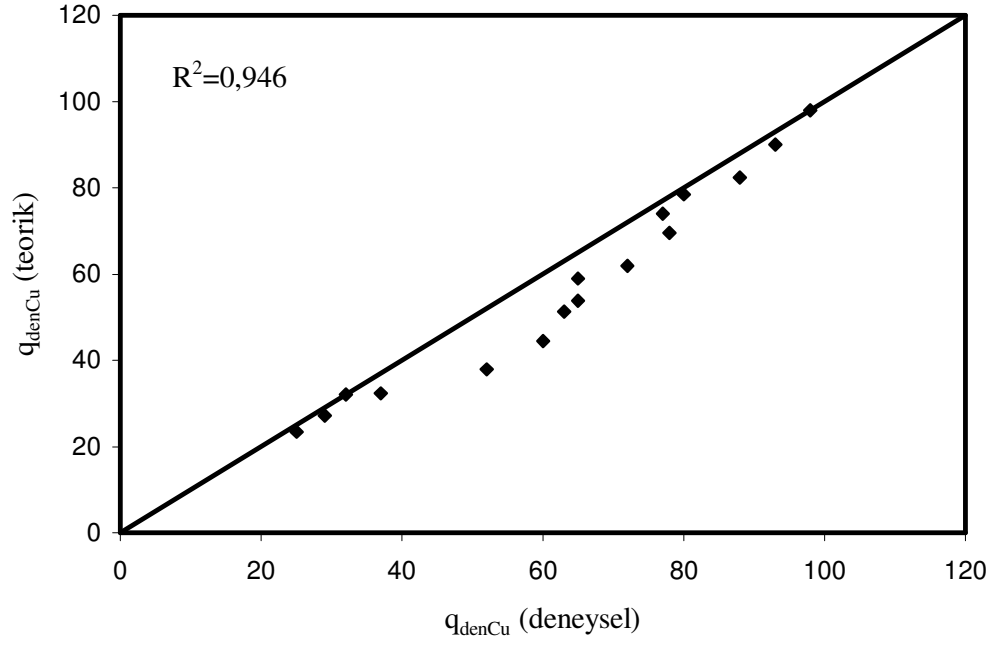
### 3.1.1.2.3. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Langmuir adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması

Sabit pH değerinde, bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunun Eşitlik 2.10'da verilen Langmuir adsorpsiyon modeline uyduğu varsayılarak, her metal iyonu için Langmuir adsorpsiyon sabitleri bilgisayarda MS Excel programı yardımıyla, deneysel  $q_{den}$  ve  $C_{den}$  değerleri ve tek metal iyonu durumunda bulunan  $b$  ve  $Q^o$  değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak teorik  $q_{den}$  değerleri hesaplatılmış, deneysel  $q_{den}$  değerleriyle kıyaslanarak ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon modeline uyumluluğu araştırılmıştır.

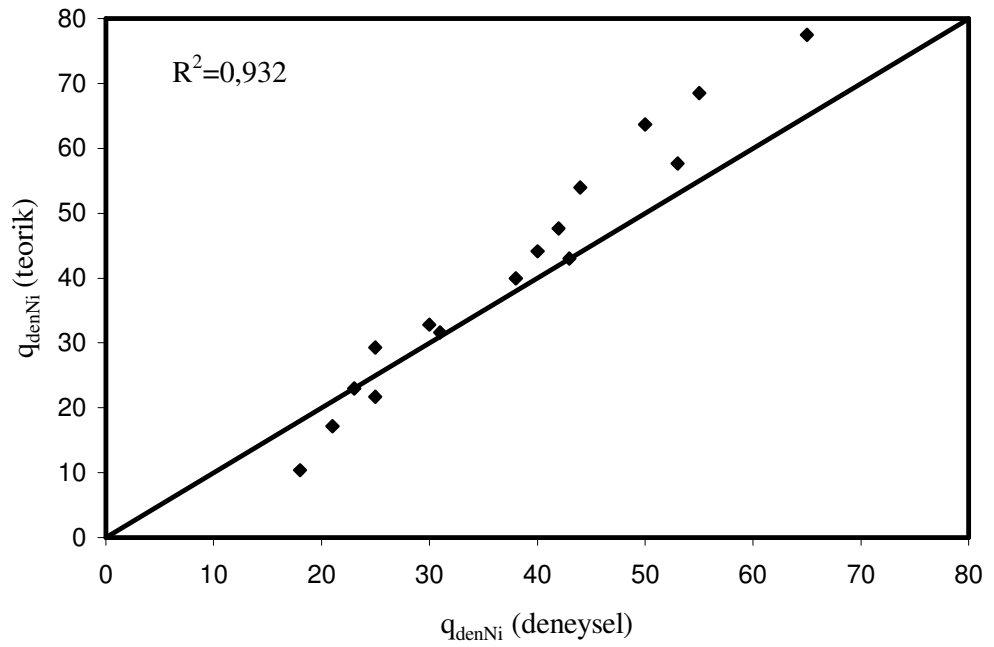
Çizelge 3.3. *R. delemar* için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir eşitliğine göre bulunan  $\alpha$ ,  $\beta$  adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri

Langmuir Sabitleri	Bakır(II)	Nikel(II)
$\alpha$	0.999	1.112
$\beta$	1.544	0.940
%Hata	10.23	14.66





Şekil 3.13. *R. delemar* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



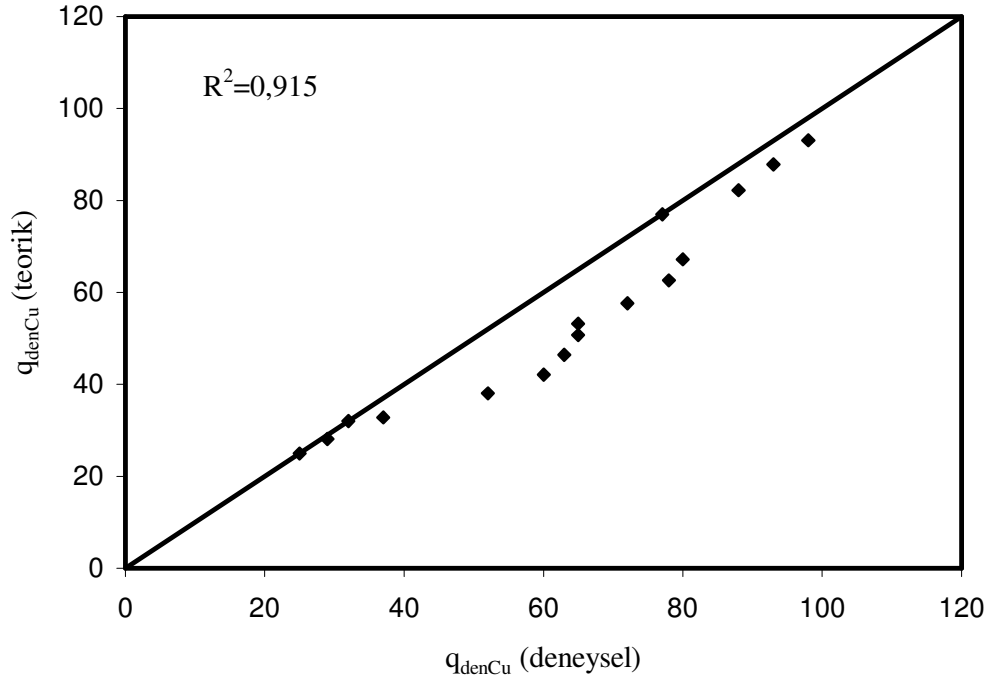
Şekil 3.14. *R. delemar* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması

#### 3.1.1.2.4. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Freundlich adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması

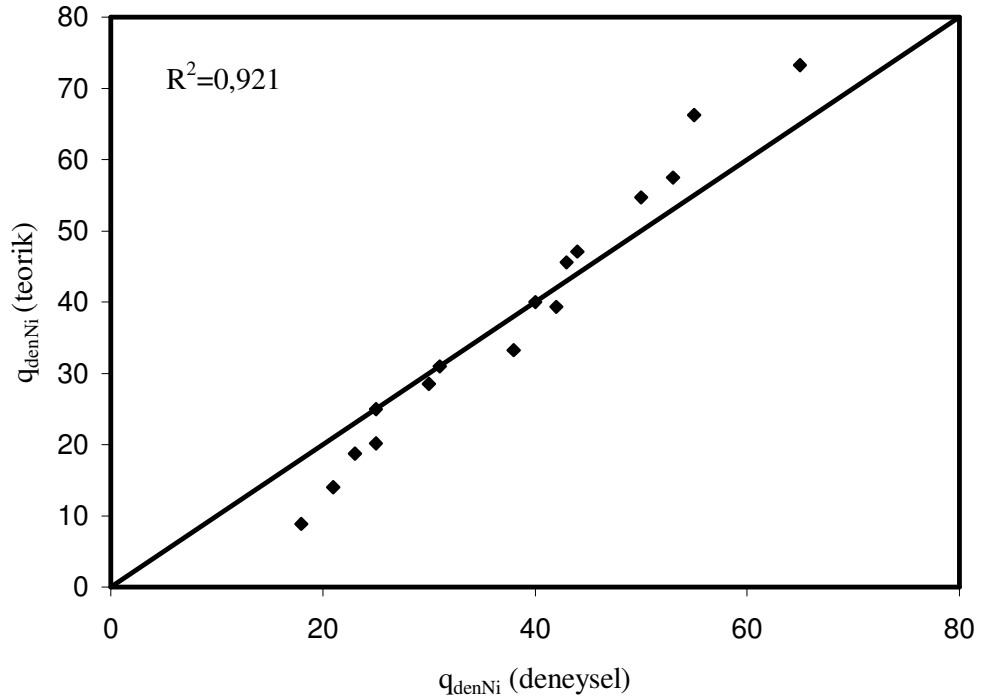
Sabit pH değerinde, bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunun çalışılan derişim aralığında Eşitlik 2.11'de verilen Freundlich adsorpsiyon modeline de uyumluluğunu araştırmak ve her metal iyonunun Freundlich adsorpsiyon sabitlerini, deneysel  $q_{den}$  ve  $C_{den}$  değerleri ile tek metal iyonu durumunda bulunan  $K_F$  ve  $1/n$  değerlerini kullanarak hesaplamak amacıyla yine aynı bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bulunan adsorpsiyon sabitleri Eşitlik 2.11 kullanılarak yine teorik  $q_{den}$  değerleri hesaplatılmış ve deneysel  $q_{den}$  değerleriyle karşılaştırılarak ikili metal iyonu karışımlarının *R. delemar*'a adsorpsiyonunun Freundlich adsorpsiyon modeline uyumluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 3.4. *R. delemar* için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Freundlich eşitliğine göre bulunan x, y, z adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri

Freundlich Sabitleri	Bakır(II)	Nikel(II)
x	0.625	0.753
y	0.040	0.589
z	0.995	0.885
%Hata	13.15	13.10



Şekil 3.15. *R. delemar* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.16. *R. delemar* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması

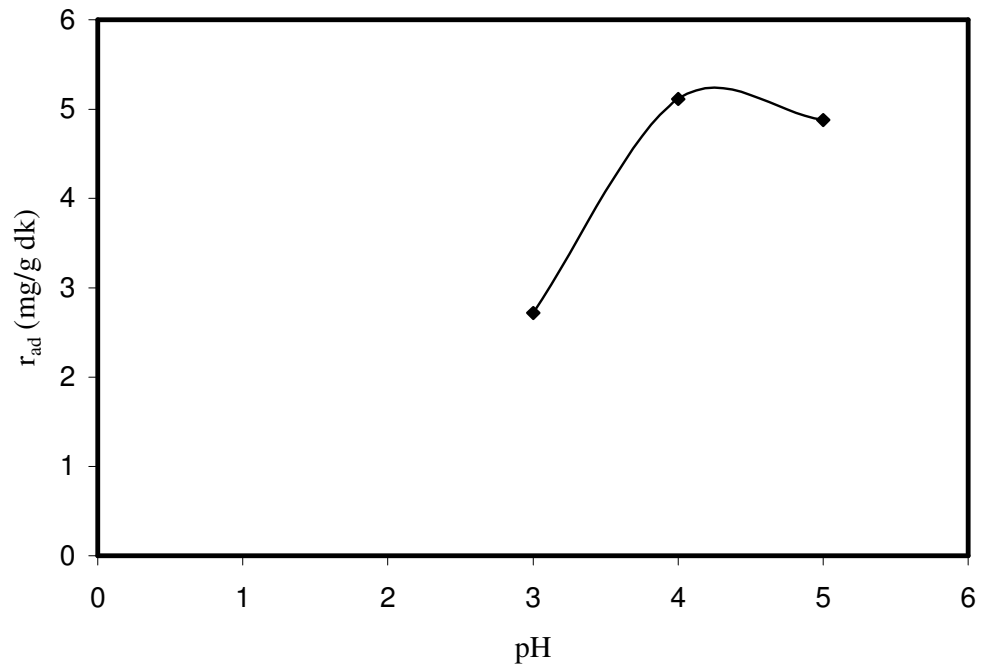
### 3.1.2. *Candida lipolytica* çalışmaları

#### 3.1.2.1. Tek bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları

##### 3.1.2.1.1. Sadece bakır(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları

###### 3.1.2.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

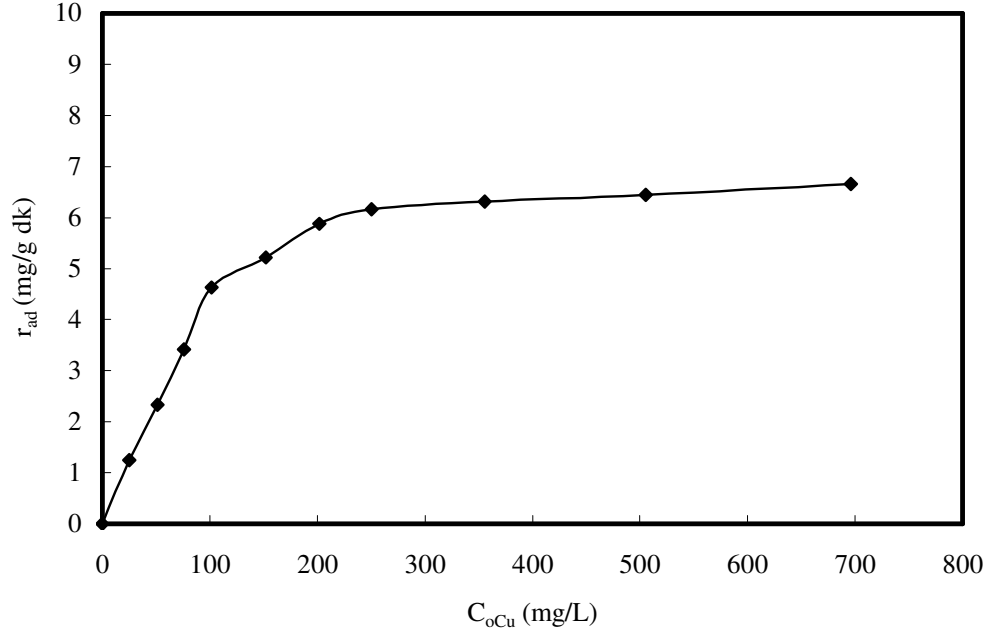
Ortam pH'ı ağır metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorpsiyonunda en önemli parametrelerden biridir. Şekil 3.17'den bakır(II) iyonlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunda başlangıç pH'ındaki artışın adsorpsiyon hızını artırdığı ve pH 4.0 değerinde maksimum adsorpsiyon hız değerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.17. *C. lipolytica* için bakır(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'ının adsorpsiyon hızı üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

###### 3.1.2.1.1.2. Başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

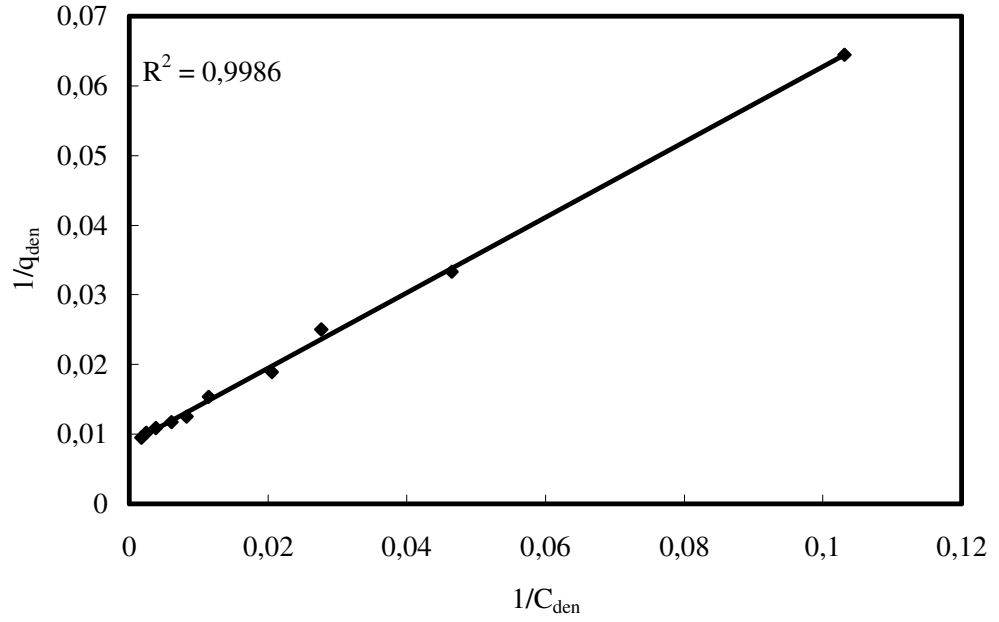
Şekil 3.18'den pH 4.0 değerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi incelendiğinde, genel olarak başlangıç bakır(II) derişimi arttıkça adsorpsiyon hız değerlerinin arttığı ve belli bir derişimden sonra sabit kaldığı görülmektedir.



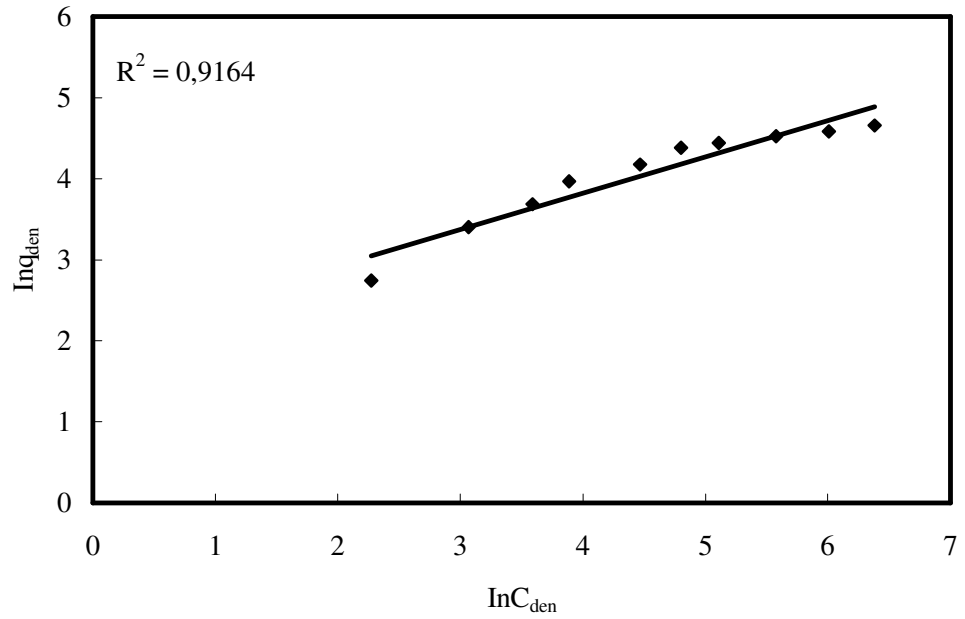
Şekil 3.18. *C. lipolytica* için pH 4.0'te başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

### 3.1.2.1.1.3. Bakır(II) iyonunun adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması

Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de, Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerinin doğrusallaştırılmasına göre pH 4.0'te elde edilen adsorpsiyon izotermeleri, Çizelge 3.5'te ise bu izotermelerden yararlanarak aynı pH'larda bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri sunulmuştur. Çizelge 3.5'ten *C. lipolytica*'ya bakır(II) adsorpsiyonunda çalışma pH'ının oldukça önemli bir parametre olduğu ve elde edilen adsorpsiyon sabitlerinden, pH 4.0 değerinde adsorbentin adsorplama hızının ve kapasitesinin büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 3.19. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi



Şekil 3.20. Bakır(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrusallaştırılmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi

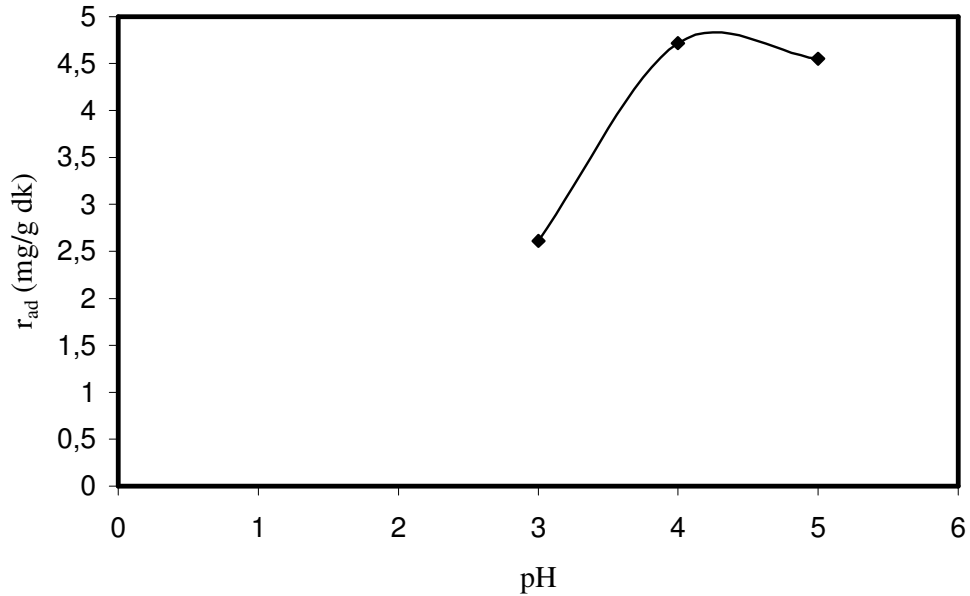
Çizelge 3.5. Bakır(II) adsorpsiyonunda, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerinden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri

<u>Langmuir</u>		<u>Freundlich</u>	
$Q^{\circ}$	b	$K_F$	n
114.94	0.016	7.64	2.23

### 3.1.2.1.2. Sadece nikel(II) içeren sistemde adsorpsiyon çalışmaları

#### 3.1.2.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

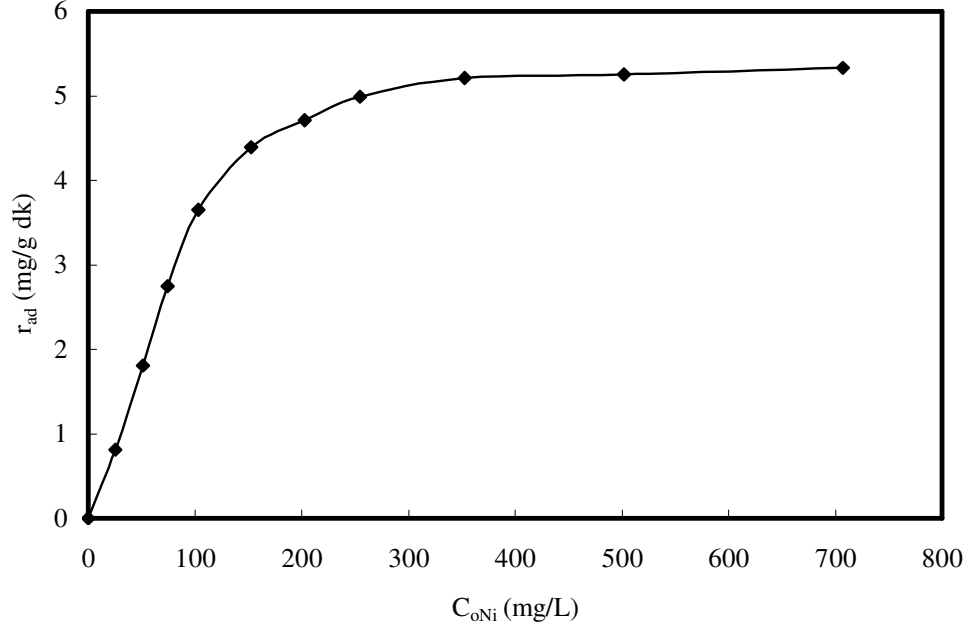
Şekil 3.21'den nikel(II) iyonlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunda başlangıç pH'ındaki artışın adsorpsiyon hızını artırdığı ve pH 4.0 değerinde maksimum adsorpsiyon hız değerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 3.21. *C. lipolytica* için nikel(II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH'ının adsorpsiyon hızı üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L; T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

#### 3.1.2.1.2.2. Başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Şekil 3.22'den pH 4.0 değerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi incelendiğinde, genel olarak başlangıç nikel(II) derişimi arttıkça adsorpsiyon hız değerlerinin arttığı ve belli bir derişimden sonra sabit kaldığı görülmektedir.

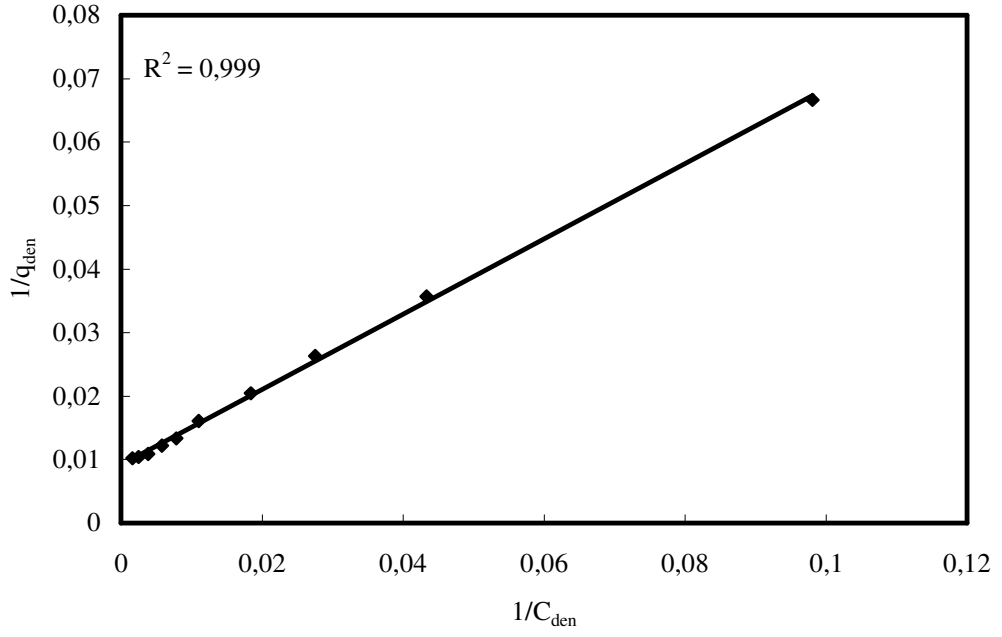


Şekil 3.22. *C. lipolytica* için pH 4.0'te başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

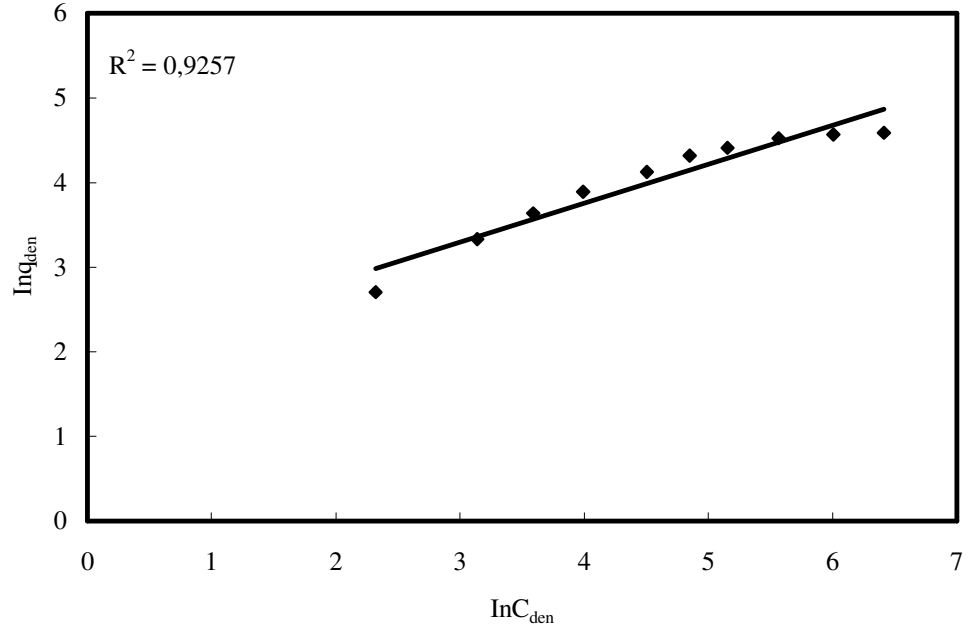
### 3.1.2.1.2.3. Nikel(II) iyonunun adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi ve adsorpsiyon sabitlerinin hesaplanması

Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te, Langmuir ve Freundlich izoterm eşitliklerinin doğrusallaştırılmasına göre pH 4.0'te elde edilen adsorpsiyon izotermi, Çizelge 3.6'da ise bu izotermi kullanarak aynı pH'larda bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri sunulmuştur. Çizelge 3.6'dan *C. lipolytica*'ya nikel(II) adsorpsiyonunda çalışma pH'ının oldukça önemli bir parametre olduğu ve elde edilen adsorpsiyon sabitlerinden, pH 4.0 değerinde adsorbent adsorplama hızının ve kapasitesinin büyük olduğu görülmektedir.





Şekil 3.23. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Langmuir adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrulanmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi



Şekil 3.24. Nikel(II) iyonları için pH 4.0'te Freundlich adsorpsiyon izoterm eşitliğinin doğrulanmasına göre elde edilen adsorpsiyon izotermi

Çizelge 3.6. Nikel(II) adsorpsiyonunda, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermlerinden bulunan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri

Langmuir		Freundlich	
Q <sup>o</sup>	b	K <sub>F</sub>	n
108.69	0.015	6.81	2.18

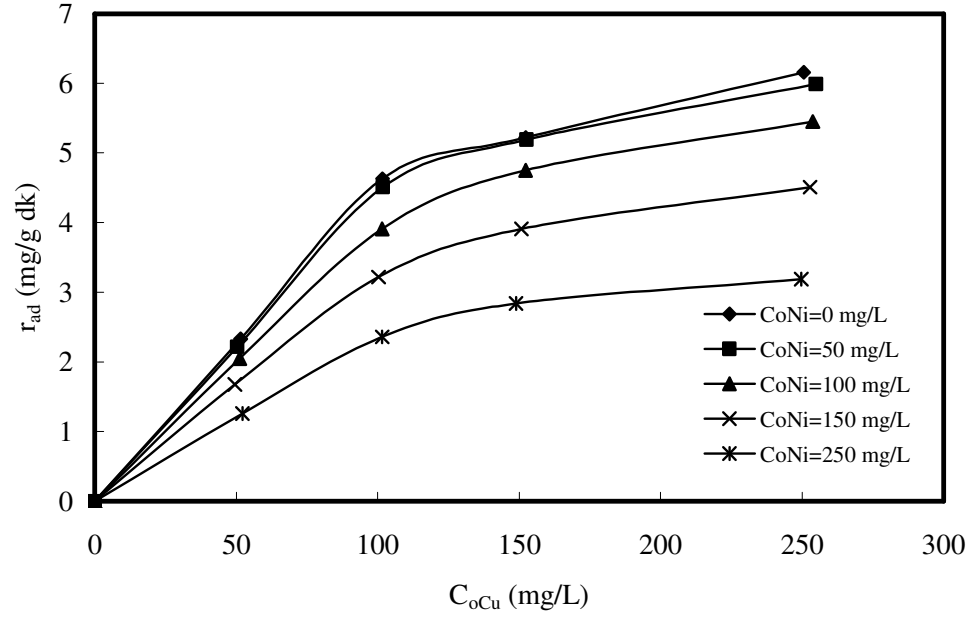
### 3.1.2.2. İki bileşenli sistemde adsorpsiyon çalışmaları

#### 3.1.2.2.1. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonu

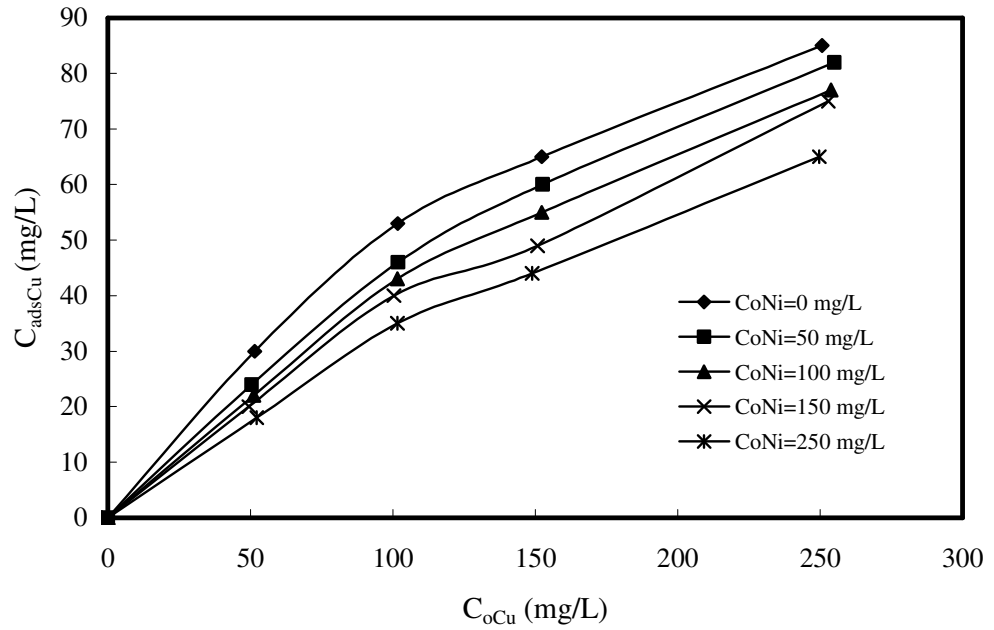
##### 3.1.2.2.1.1. Sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyon çalışmaları, bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının maksimum adsorpsiyon gösterdiği pH 4.0'te yapılmıştır. Sabit pH değerinde yapılan çalışmalarda sıcaklık 25°C'de sabit tutularak, her deney seti için başlangıç bakır(II) iyon derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, 250.0 mg/L'ye kadar değişen nikel(II) iyon derişimi sabit tutulmuş, bakır(II) başlangıç derişiminin adsorpsiyon hızı, dengesi ve bakır(II), nikel(II) adsorpsiyon ve toplam adsorpsiyon verimleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

pH 4.0'te sabit başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde, başlangıç bakır(II) iyon derişimindeki değişimin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi Şekil 3.25 ve 3.26'da sunulmuştur. Şekil 3.25 ve 3.26'dan bakır(II) iyon derişiminin artmasıyla adsorpsiyon hızının arttığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın bakır(II) adsorpsiyon hızını düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 3.25. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

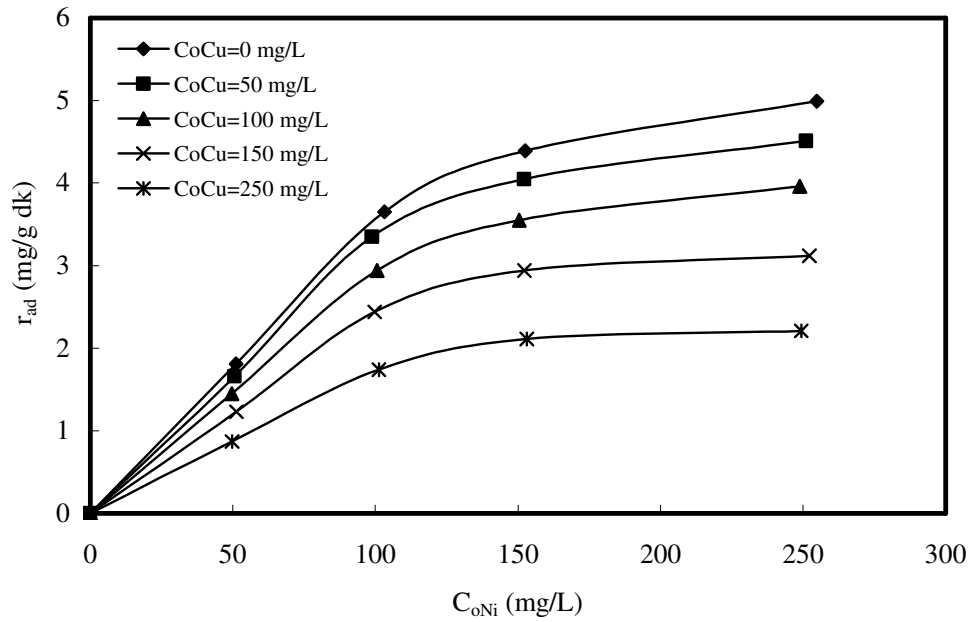


Şekil 3.26. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit nikel(II) iyon derişimlerinde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin adsorplanan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

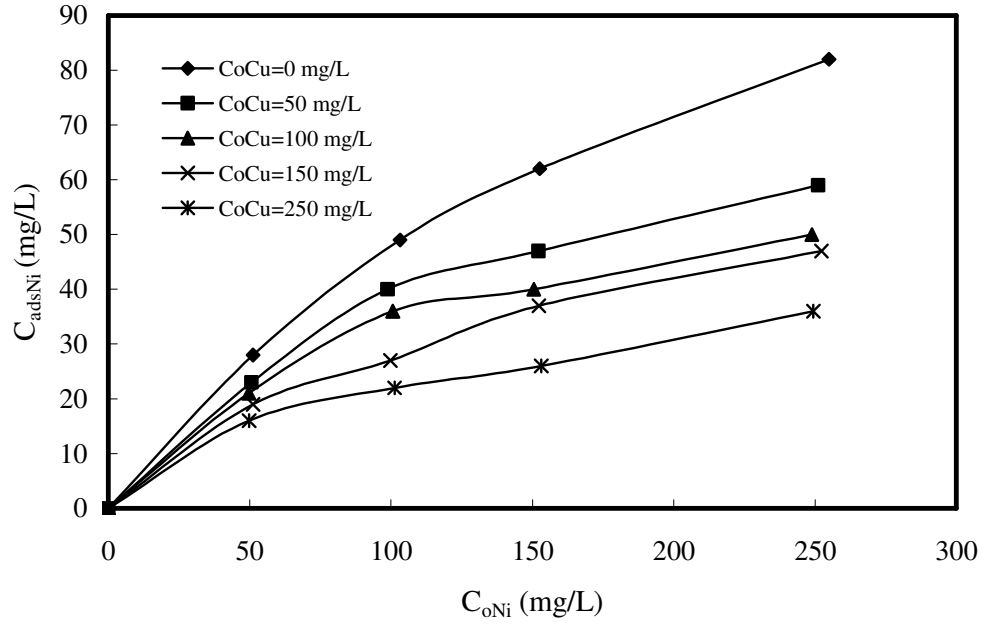
### 3.1.2.2.1.2. Sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyon çalışmaları, bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının maksimum adsorpsiyon gösterdiği pH 4.0'te yapılmıştır. Sabit pH değerinde yapılan çalışmalarda sıcaklık 25°C'de sabit tutularak, her deney seti için başlangıç nikel(II) iyon derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, 250.0 mg/L'ye kadar değişen bakır(II) iyon derişimi sabit tutulmuş, nikel(II) başlangıç derişiminin adsorpsiyon hızı, dengesi ve nikel(II), bakır(II) adsorpsiyon ve toplam adsorpsiyon verimleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

pH 4.0'te sabit başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde, başlangıç nikel(II) iyon derişimindeki değişimin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi Şekil 3.27 ve 3.28'de sunulmuştur. Şekil 3.27 ve 3.28'den nikel(II) iyon derişiminin artmasıyla adsorpsiyon hızının arttığı, ancak bakır(II) iyon derişimindeki artışın nikel(II) adsorpsiyon hızını düşürdüğü gözlenmektedir.



Şekil 3.27. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorpsiyon hızı üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)



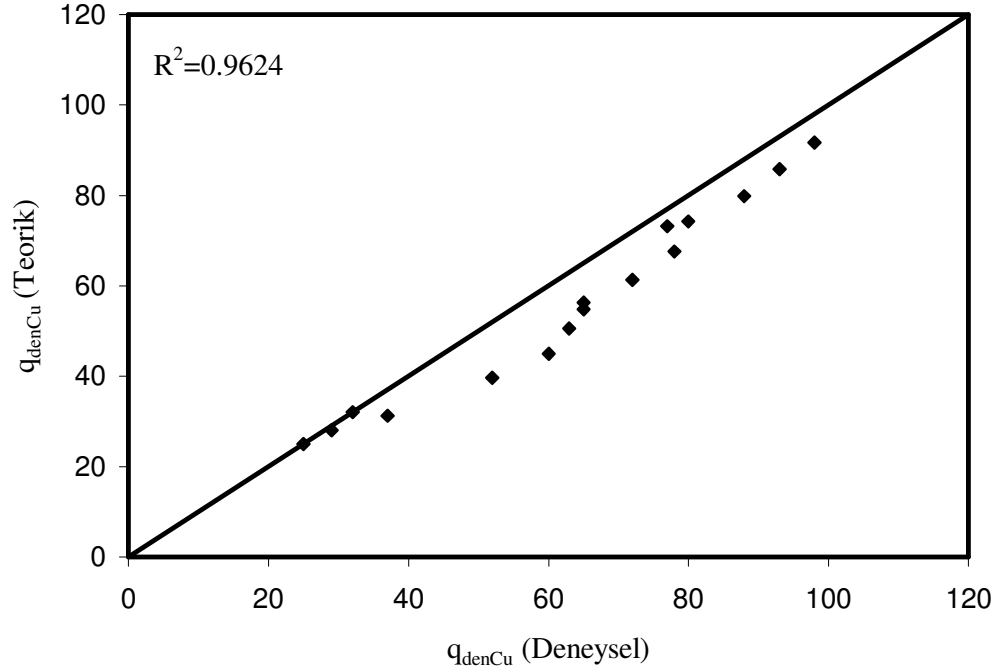
Şekil 3.28. *C. lipolytica* için pH 4.0'te sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin adsorplanan nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C; X: 1 g/L; KH: 150 rpm)

### 3.1.2.2.1.3. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Langmuir adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması

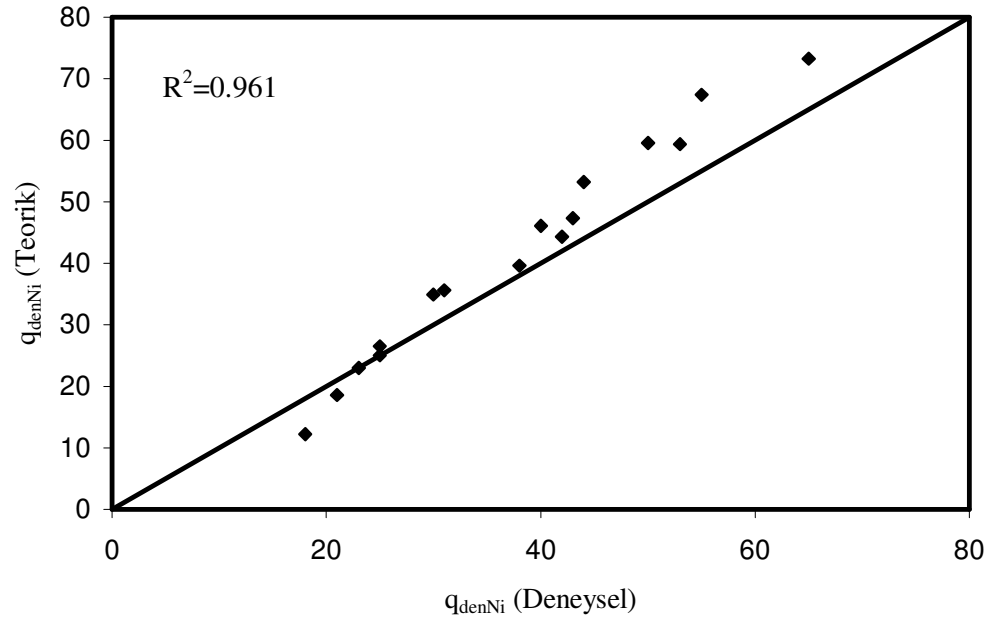
Sabit pH değerinde, bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun Eşitlik 2.10'da verilen Langmuir adsorpsiyon modeline uyduğu varsayılarak, her metal iyonu için Langmuir adsorpsiyon sabitleri bilgisayarda MS Excel programı yardımıyla, deneysel  $q_{den}$  ve  $C_{den}$  değerleri ve tek metal iyonu durumunda bulunan  $b$  ve  $Q^0$  değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu değerler kullanılarak teorik  $q_{den}$  değerleri hesaplatılmış, deneysel  $q_{den}$  değerleriyle kıyaslanarak ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon modeline uyumluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 3.7. *C. lipolytica* için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Langmuir eşitliğine göre bulunan  $\alpha$ ,  $\beta$  adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri

Langmuir Sabitleri	Bakır(II)	Nikel(II)
$\alpha$	0.470	0.932
$\beta$	1.348	0.799
%Hata	11.26	12.67



Şekil 3.29. *C. lipolytica* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



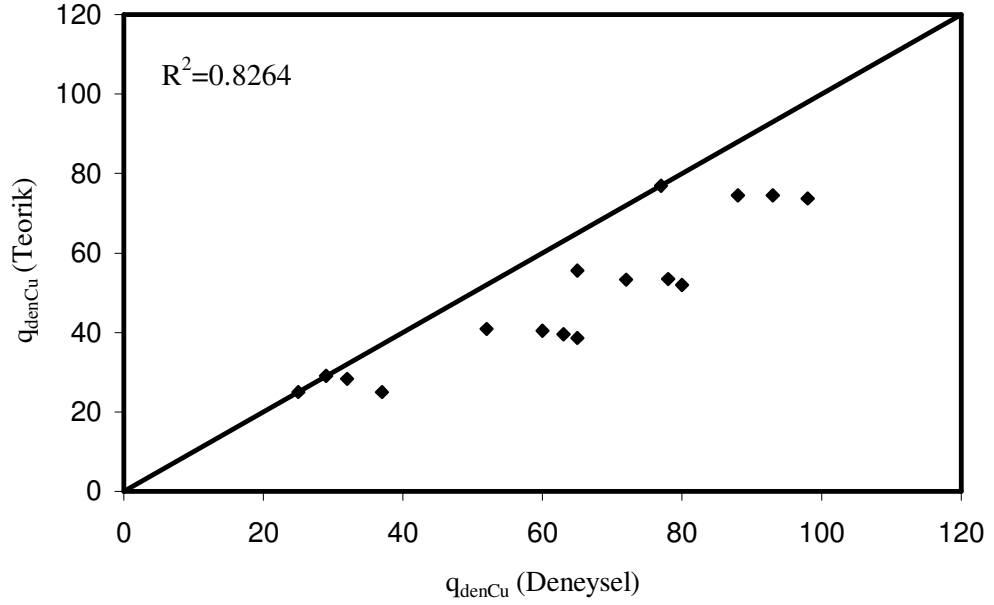
Şekil 3.30. *C. lipolytica* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Langmuir modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması

#### 3.1.2.2.1.4. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarına Freundlich adsorpsiyon eşitliğinin uygulanması eşitlik sabitlerinin bulunması

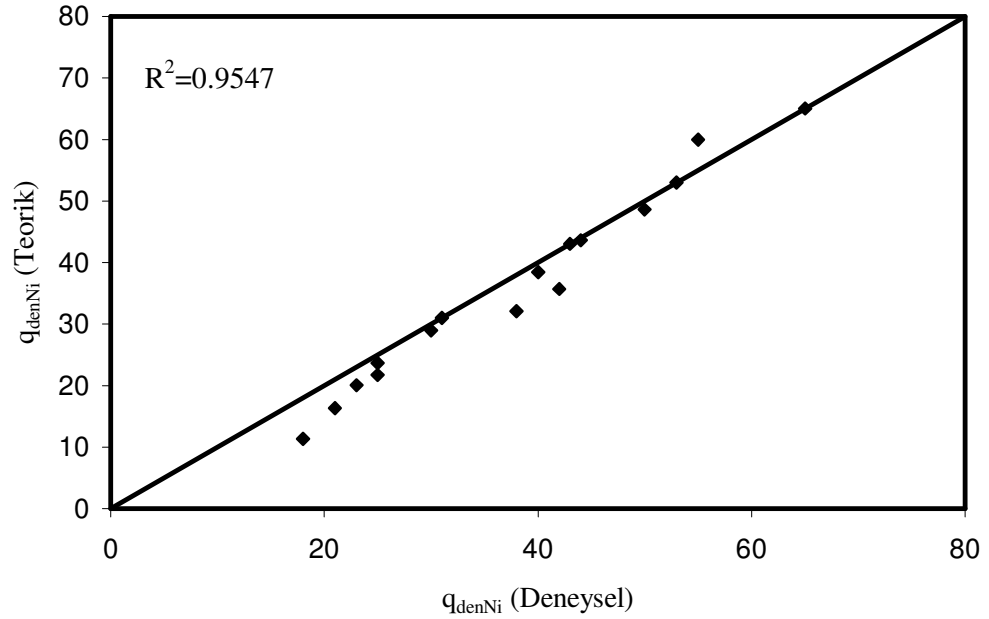
Sabit pH değerinde, bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun çalışılan derişim aralığında Eşitlik 2.11'de verilen Freundlich adsorpsiyon modeline de uyumluluğunu araştırmak ve her metal iyonunun Freundlich adsorpsiyon sabitlerini, deneysel  $q_{den}$  ve  $C_{den}$  değerleri ile tek metal iyonu durumunda bulunan KF ve  $1/n$  değerlerini kullanarak hesaplamak amacıyla yine aynı bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bulunan adsorpsiyon sabitleri Eşitlik 2.11'de kullanılarak yine teorik  $q_{den}$  değerleri hesaplatılmış ve deneysel  $q_{den}$  değerleriyle karşılaştırılarak ikili metal iyonu karışımlarının *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun Freundlich adsorpsiyon modeline de uyumluluğu araştırılmıştır.

Çizelge 3.8. *C. lipolytica* için bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımında iki bileşenli sistemler için türetilmiş Freundlich eşitliğine göre bulunan x, y, z adsorpsiyon sabitleri ve %hata değerleri

Freundlich Sabitleri	Bakır(II)	Nikel(II)
x	2.371	0.495
y	1.436	0.117
z	5.136	0.893
%Hata	21.44	8.80



Şekil 3.31. *C. lipolytica* için bakır(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.32. *C. lipolytica* için nikel(II) adsorpsiyonunda deneysel ve ikili Freundlich modeline göre bulunan teorik  $q_{den}$  değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



### 3.2. Biyobirikim Deneyleri

Ağır metal iyonlarının mikroorganizma tarafından biyobirikimi esnasında, metal iyonlarının mikroorganizmaların üremesi üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin de araştırılması gerekir. Kesikli sistemde *R. delemar* mantarı ve *C. lipolytica* mayası kullanılarak yapılan çalışmalar bu durum gözönüne alınarak planlanmış ve sırasıyla ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında mikroorganizmaların üreme kinetiği incelenmiş, daha sonra sadece bakır(II) veya nikel(II) ve her iki iyonu beraber içeren melaslı besin ortamlarında bu iyonların mikroorganizmaların üremesine inhibisyon etkisi araştırılmış ve en son olarak da bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mikroorganizmalara biyobirikimi incelenmiştir. Çalışmaların ilk kısmında sabit melas sakarozu derişiminde metal iyonu içermeyen besin ortamında mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ının etkisi araştırılmış, her bir mikroorganizmaya ait kinetik sabitler Monod eşitliğinden bulunmuştur. Ortamda metal iyonlarının bulunması mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Sadece bakır(II) veya nikel(II) ve her iki iyonu beraber içeren melaslı besin ortamlarında, başlangıç pH'ının, başlangıç metal iyonu derişiminin/derişimlerinin mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkileri incelenmiş ve metal iyonlarının her bir mikroorganizma üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. Çalışmaların daha sonraki kısmında bakır(II) veya nikel(II) içeren besin ortamlarında her bir mikroorganizmanın metal biyobirikime kapasitesi başlangıç pH'ının ve başlangıç metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve metal biyobirikim kapasiteleri bulunmuştur. Bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamlarda ise her iki metal iyonunun eşzamanlı biyobirikim çalışmaları, bir metalin derişimi sabit tutulup, diğeri değıştirilerek gerçekleştirilmiş ve her bir sistem için metal iyonlarını biyobirikime kapasiteleri bulunarak, ortak iyon etkisi araştırılmıştır.

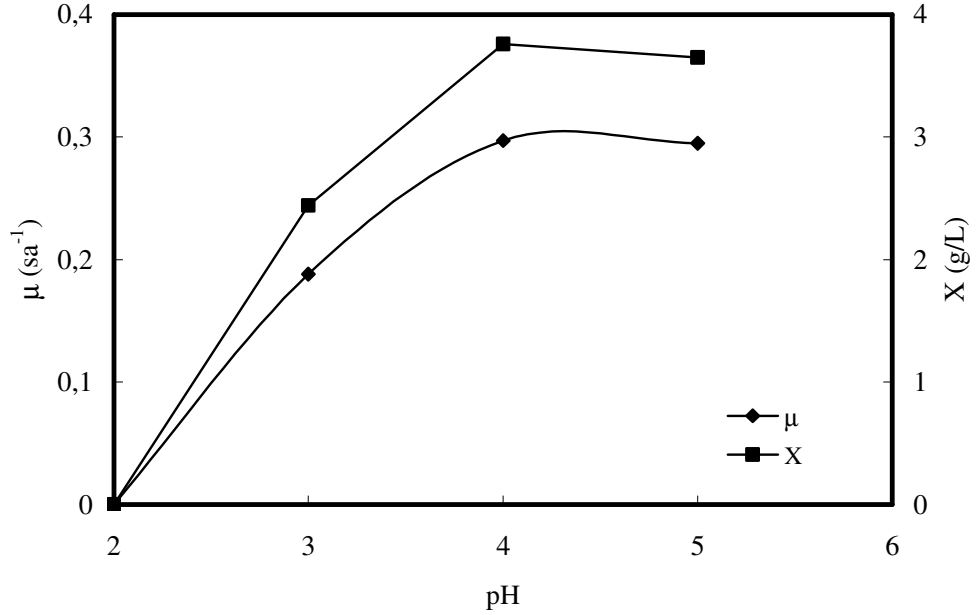
#### 3.2.1. Metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi

##### 3.2.1.1. *R. delemar* çalışmaları

###### 3.2.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Ortam pH'ı mikroorganizmanın üremesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelendiğinde, mikroorganizmanın pH 2.0'de üreyemediği, en hızlı ve verimli üremenin ise pH 4.0'te gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 3.33). Bu pH değerinde

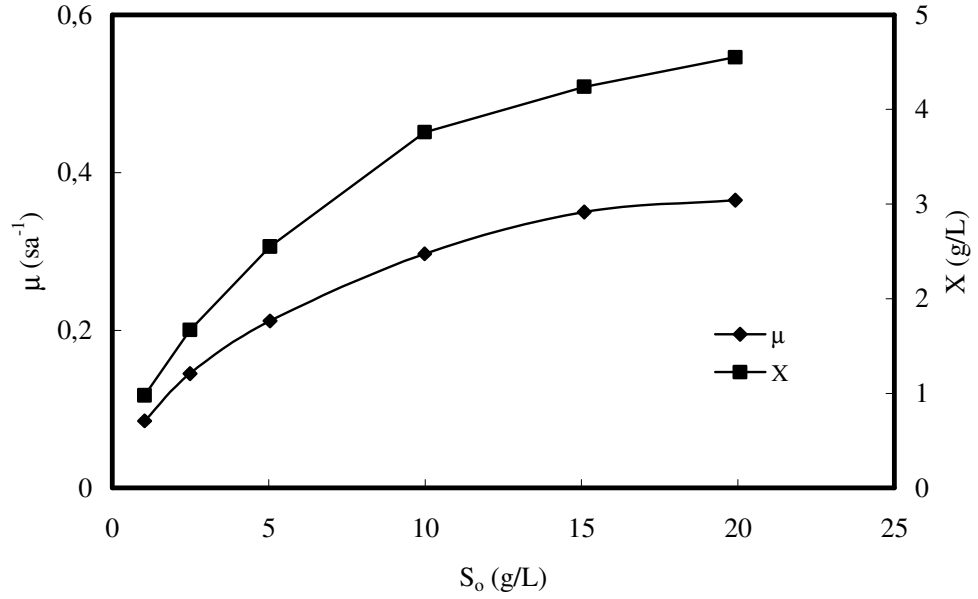
elde edilen özgül üreme hızı  $0.297 \text{ sa}^{-1}$ , maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi ise  $3.76 \text{ g/L}$ 'dir.



Şekil 3.33. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.1.1.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Mikroorganizmanın üremesini doğrudan etkileyen ve büyümesini sınırlayan ana besin maddesi (substrat), karbon ve enerji kaynağı olarak kullandıkları şeker türü (glukoz, sakkaroz, fruktoz vs.) maddelerdir. Deneysel çalışmalarda, melas sakkarozu substrat olarak kullanılmış ve başlangıç sakkaroz derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızına etkisi, 25°C sabit sıcaklıkta sakkaroz derişimi 1-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve elde edilen eğri Şekil 3.34'te gösterilmiştir. Şekilden, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin arttığı ve bu derişim aralığında substrat inhibisyonun gözlenmediği görülmektedir. Çizelge 3.9'da ise farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *R. delemar*'ın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 1 g/L'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızının  $0.085$ 'ten  $0.365 \text{ sa}^{-1}$ 'e; maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişiminin  $0.98$ 'den  $4.55 \text{ g/L}$ 'ye arttığı gözlenmektedir.



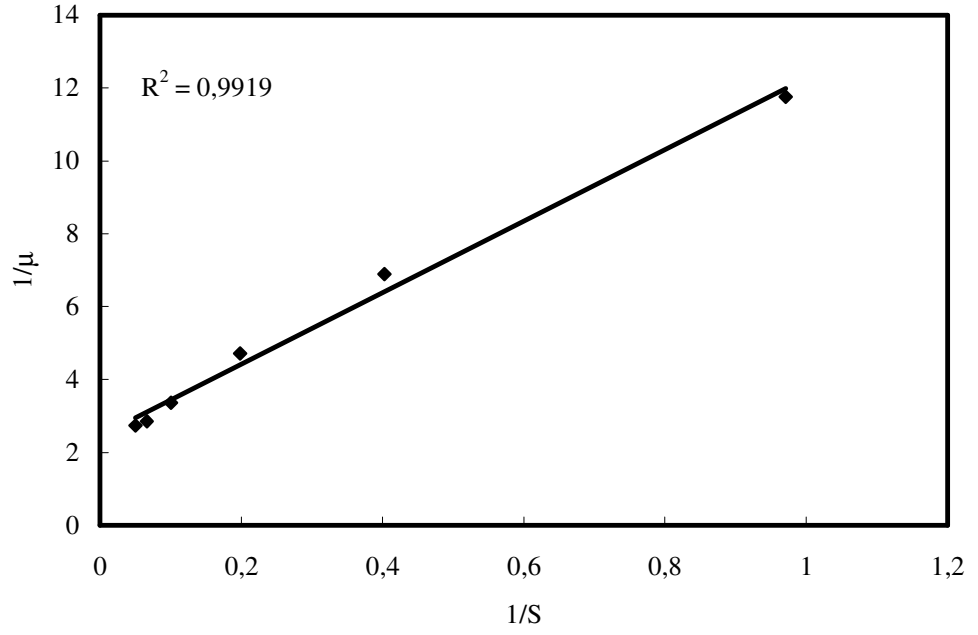
Şekil 3.34. Başlangıç sakkaroz derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.9. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *R. delemar*'ın özgül üreme hızları ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri

$S_0$ (g/L)	$\mu$ ( $sa^{-1}$ )	X (g/L)
1.03	0.085	0.98
2.48	0.145	1.67
5.04	0.212	2.55
9.98	0.297	3.76
15.08	0.350	4.24
19.91	0.365	4.55

### 3.2.1.1.3. Kinetik sabitlerin bulunması

Monod eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla elde edilen Eşitlik 2.15'e göre çizilen  $1/\mu$ 'ye karşı  $1/S$  grafiğinden (Şekil 3.35) mikroorganizmanın maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ) 0.405  $sa^{-1}$ , doygunluk sabiti ( $K_s$ ) ise 3.977 g/L olarak bulunmuştur.

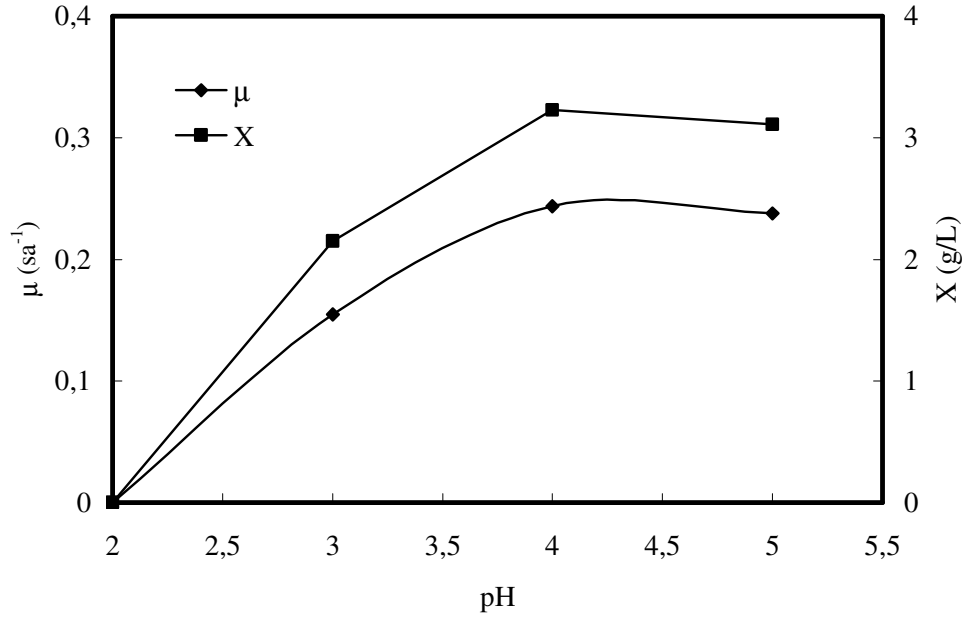


Şekil 3.35. *R. delemar*'a ait  $1/\mu$ - $1/S_0$  grafiği

### 3.2.1.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

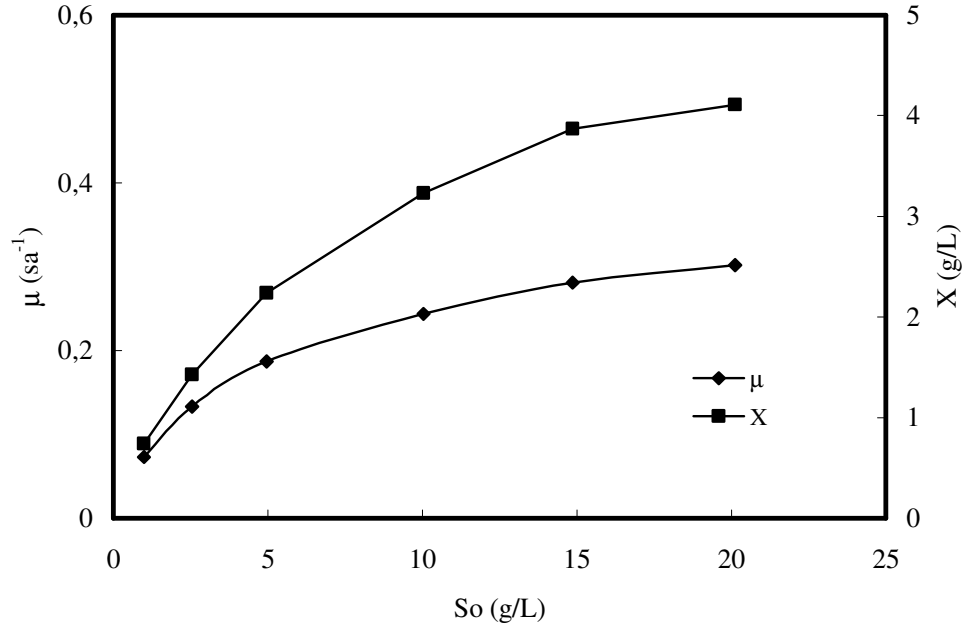
*C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralğında incelenmiş ve mayanın pH 2.0'de üreyemediği, en hızlı ve verimli üremenin ise pH 4.0'te gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 3.36). Bu pH değerinde elde edilen özgül üreme hızı  $0.244 \text{ sa}^{-1}$ , maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi ise  $3.23 \text{ g/L}$ 'dir.



Şekil 3.36. Başlangıç pH'nın *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.1.2.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızına etkisi, 25°C sabit sıcaklıkta sakkaroz derişimi 1-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve elde edilen eğri Şekil 3.37'de gösterilmiştir. Şekilden, bu maya için başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin arttığı ve bu derişim aralığında substrat inhibisyonunun gözlenmediği görülmektedir. Çizelge 3.10'da ise farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 1'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızının 0.073'den 0.302 sa<sup>-1</sup>'e; maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişiminin 0.74'ten 4.11 g/L'ye arttığı gözlenmektedir.



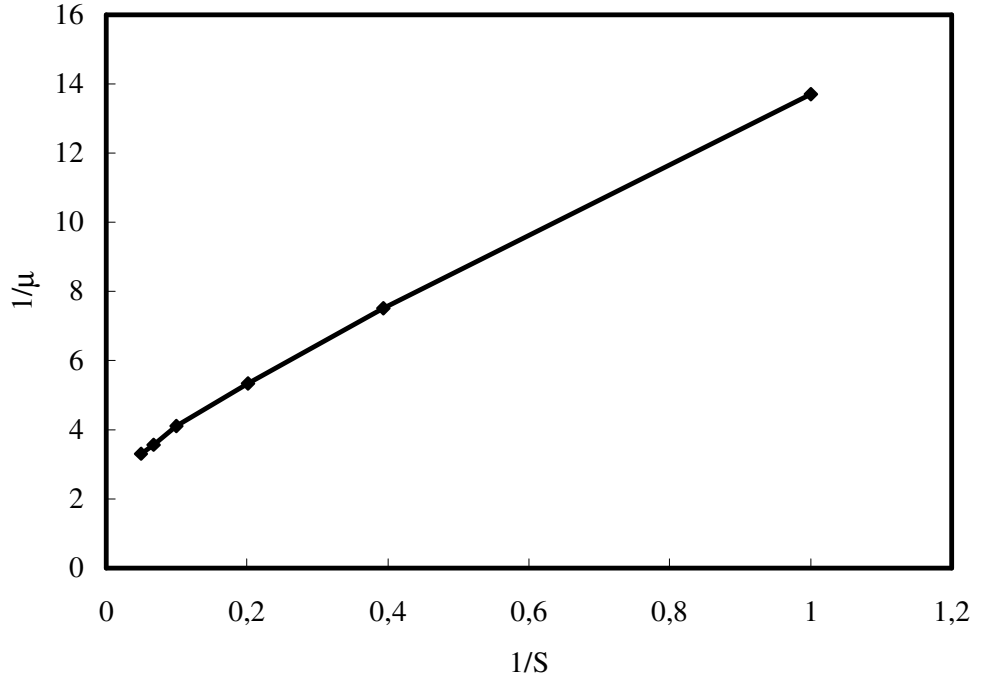
Şekil 3.37. Başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.10. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri

So (g/L)	µ (sa <sup>-1</sup> )	X (g/L)
1.0	0.073	0.74
2.54	0.133	1.43
4.97	0.187	2.24
10.03	0.244	3.23
14.87	0.281	3.87
20.11	0.302	4.11

### 3.2.1.2.3. Kinetik sabitlerin bulunması

Monod eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla elde edilen Eşitlik 2.15'e göre çizilen  $1/\mu$ 'ye karşı  $1/S$  grafiğinden (Şekil 3.38) mikroorganizmanın maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ )  $0.335 \text{ sa}^{-1}$ , doygunluk sabiti ( $K_s$ ) ise  $3.635 \text{ g/L}$  olarak bulunmuştur.



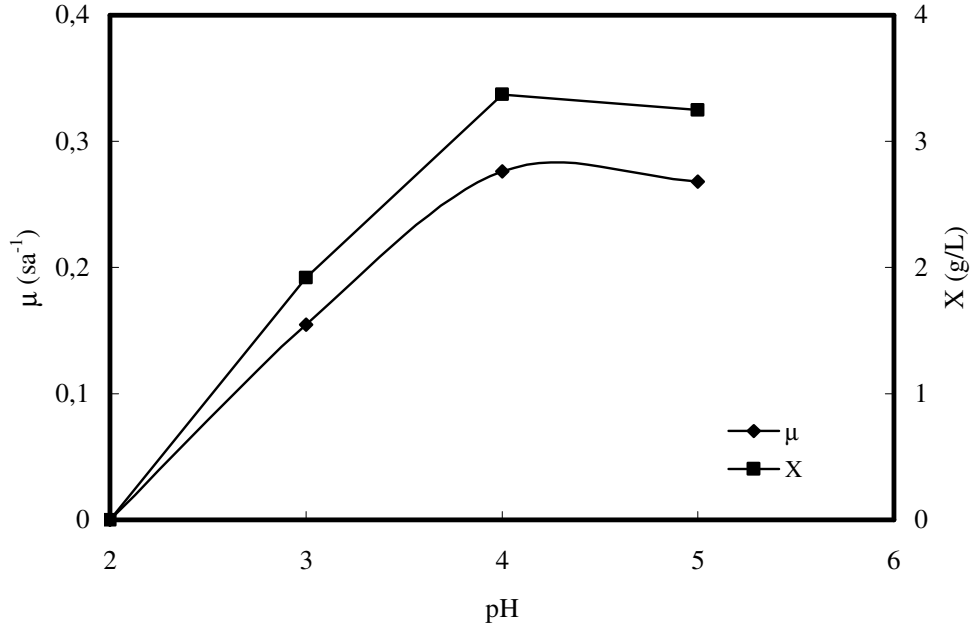
Şekil 3.38. *C. lipolytica*'ya ait  $1/\mu$ - $1/S_0$  grafiği

### 3.2.2. Bakır(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi

#### 3.2.2.1. *R. delemar* çalışmaları

##### 3.2.2.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Metal iyonu içeren besin ortamında da başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesini nasıl etkilediğini bilmek biyobirikim çalışmalarına ışık tutması açısından önemlidir. Bu amaçla 100 mg/L bakır(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelenmiş ve metal iyonu içermeyen besin ortamında bulunan sonuçlara benzer olarak yine pH 2.0'de üreme gözlenmemiş, pH 4.0'te ise maksimum özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.39).

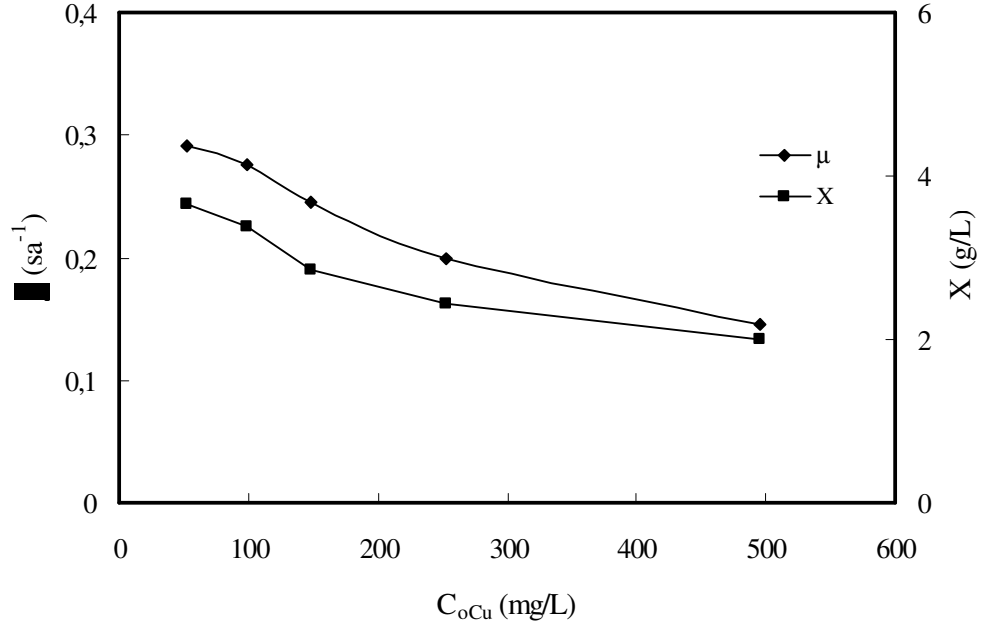


Şekil 3.39. 100.0 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Cu</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.2.1.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Bakır(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0-500.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine karşı başlangıç bakır(II) iyon derişimi grafikleri Şekil 3.40'ta sunulmuştur. Şekilden, 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin 500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen besin ortamında *R. delemar*'ın özgül üreme hızı 0.297 sa<sup>-1</sup>, maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 3.76 g/L iken, ortamda 100.0 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.276 sa<sup>-1</sup>'e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 3.37 g/L'ye düşmüştür.





Şekil 3.40. Başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.2.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

Besin ortamındaki bakır(II) iyonlarının, *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 2.16, 2.17 ve 2.18'de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti bilgisayar yardımıyla non-linear regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel verilerin yukarıda sayılan inhibisyon modellerinden hangisine en iyi uyduğunu saptamak amacıyla iki yöntem kullanılmıştır:

Birinci durumda, deneysel verilerin en düşük ortalama %hatayı veren inhibisyon modeline uyduğu varsayılmıştır. Ortalama %hata Eşitlik 3.1'de tanımlanmıştır (Kutsal ve ark., 1996).

$$\text{Ortalama } \% \text{ Hata} = \frac{\sum_{i=1}^N ((\mu_{i,den} - \mu_{i,teo}) / \mu_{i,den}) \times 100}{N} \quad (3.1)$$

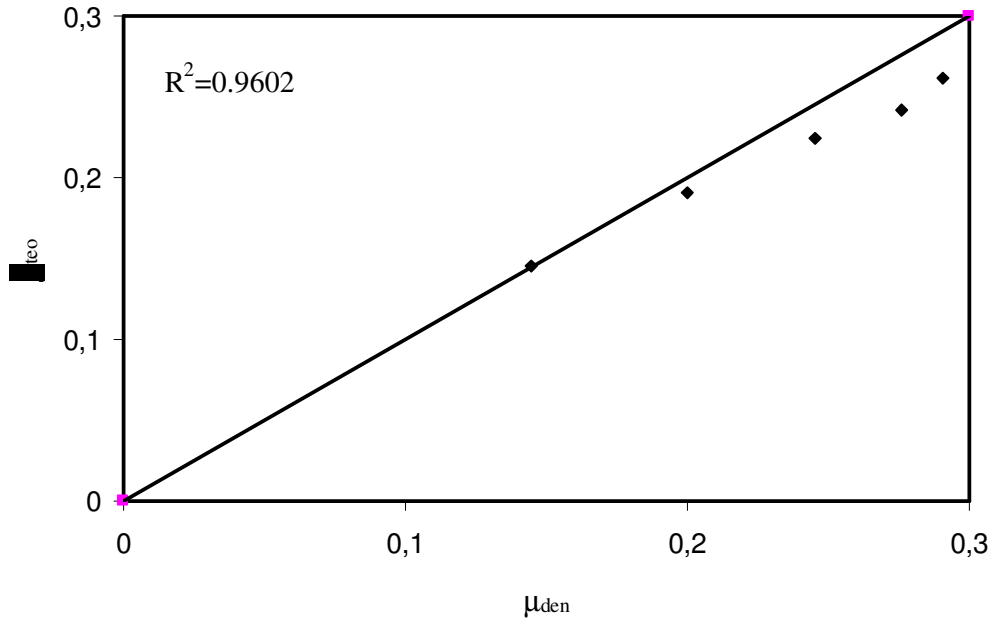
Burada N, deney sayısını göstermektedir

İkinci durumda, deneysel ve inhibisyon modellerinden bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde bulunmasının mükemmel bir uyumu ifade ettiği düşünülebilir. Deneysel ve teorik noktaların birbiriyle matematiksel uyumu  $R^2$  (non-lineer regresyon katsayısı) cinsinden de ifade edilebilir (Kutsal ve ark., 1996).

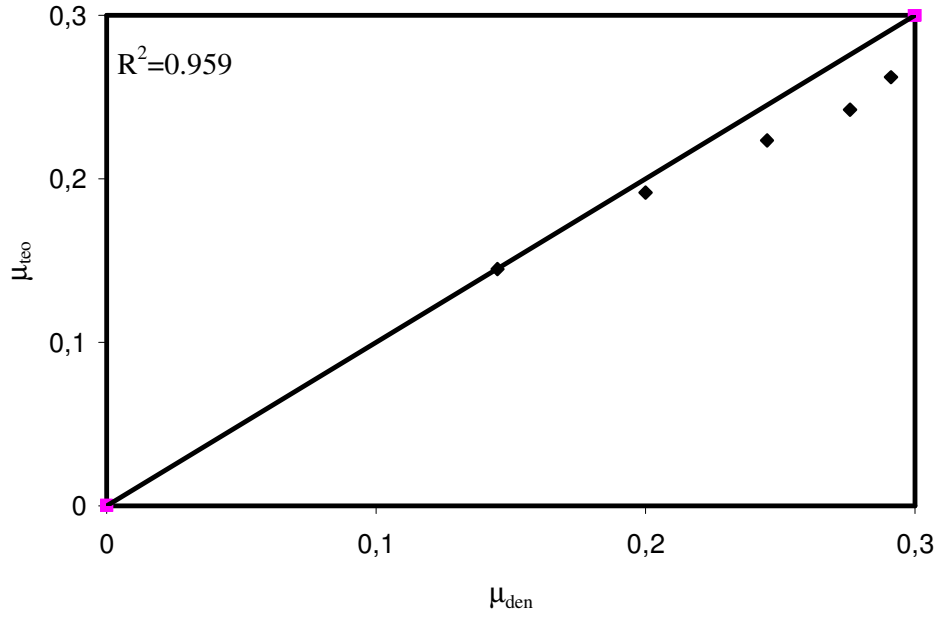
Deneysel verilerin tek bileşen için türetilmiş yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri ortalama %hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.11'de sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik özgül üreme hız değerleri ise deneysel özgül üreme hız değerleriyle  $R^2$ 'ler verilerek  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekiller 3.41, 3.42 ve 3.43). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama %hata değerleri kıyaslanarak, bakır(II) iyonlarının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline uyduğu söylenebilir.

Çizelge 3.11. Bakır(II) iyonlarının *R. delemar*'ın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

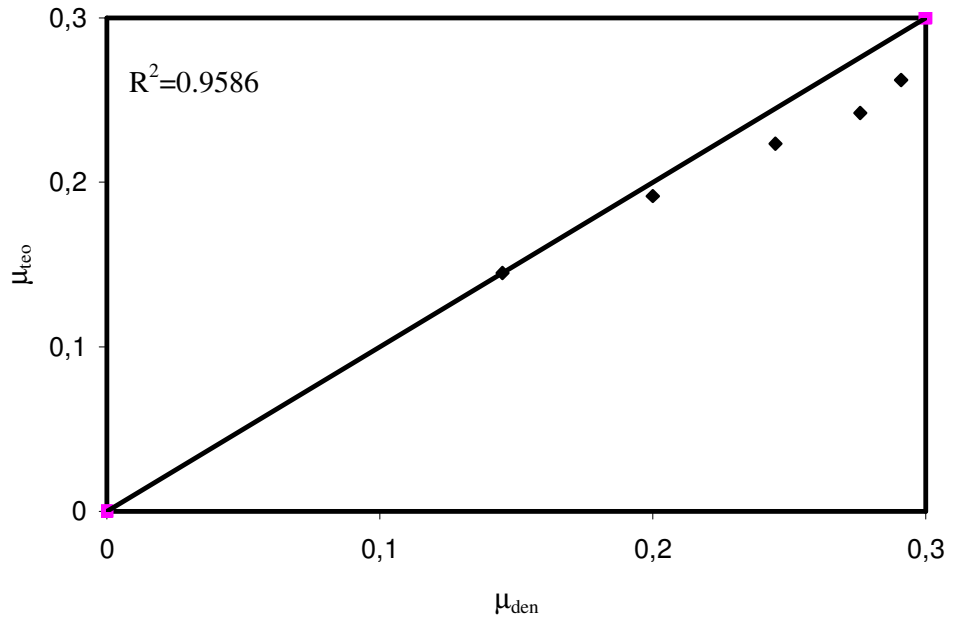
Inhibisyon türü	$K_i$ (mg/L)	Ortalama %Hata
Yarışmalı	140.29	7.03
Yarışmasız	353.77	7.06
Kısmi yarışmalı	494.06	7.11



Şekil 3.41. *R. delemar* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.42. *R. delemar* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

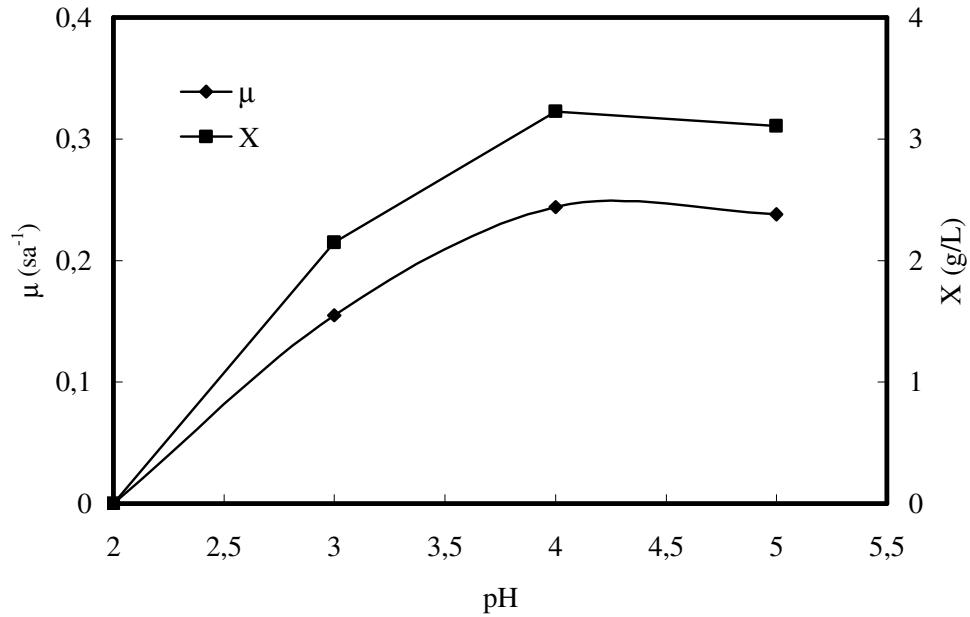


Şekil 3.43. *R. delemar* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.2.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

100.0 mg/L bakır(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelenmiş ve metal iyonu içermeyen besin ortamında bulunan sonuçlara benzer olarak yine pH 2.0'de üreme gözlenmemiş, pH 4.0'te ise maksimum özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.44).

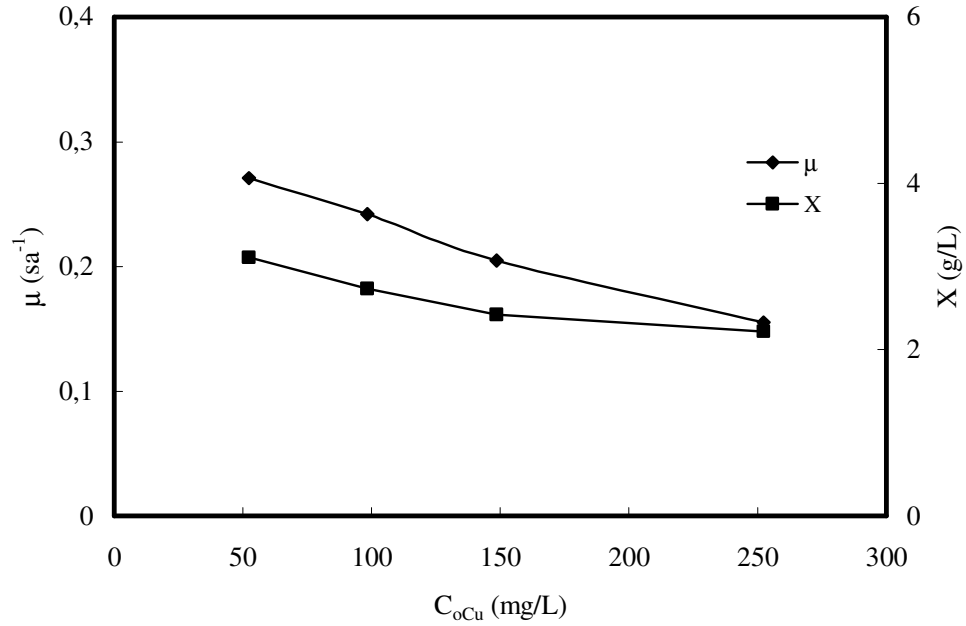


Şekil 3.44. 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Cu</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm)

#### 3.2.2.2.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Bakır(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0-250.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine karşı başlangıç bakır(II) iyon derişimi grafikleri Şekil 3.45'de sunulmuştur. Şekilden, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen besin ortamında *C. lipolytica*'nın özgül

üreme hızı  $0.244 \text{ sa}^{-1}$  ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi  $3.23 \text{ g/L}$  iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda  $100.0 \text{ mg/L}$  bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı  $0.242 \text{ sa}^{-1}$ 'e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi  $2.73 \text{ g/L}$ 'ye düşmüştür.



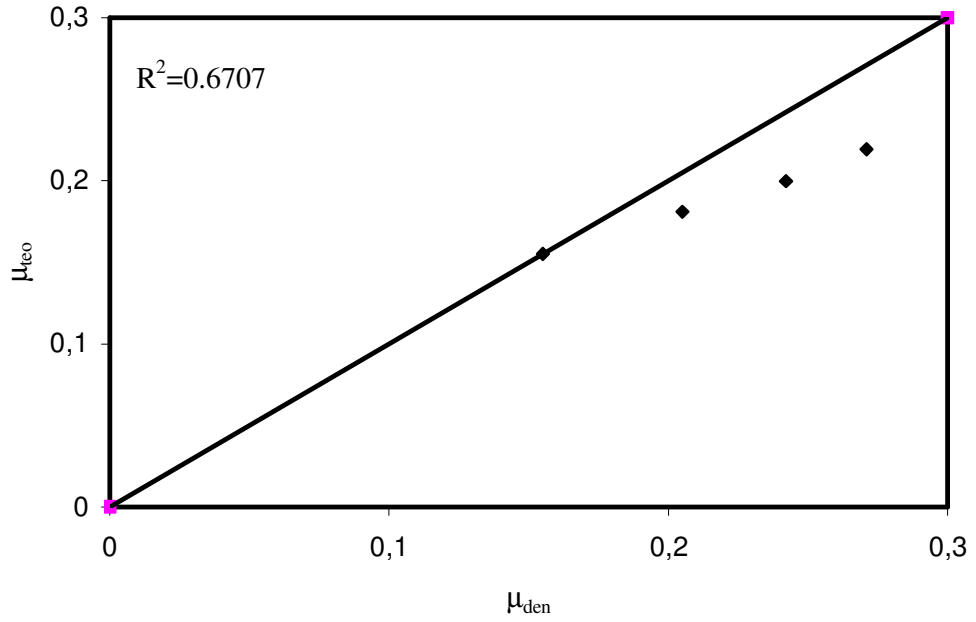
Şekil 3.45. Başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T:  $25^\circ\text{C}$ , pH: 4.0,  $S_o$ :  $10 \text{ g/L}$ , KH:  $150 \text{ rpm}$ )

### 3.2.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

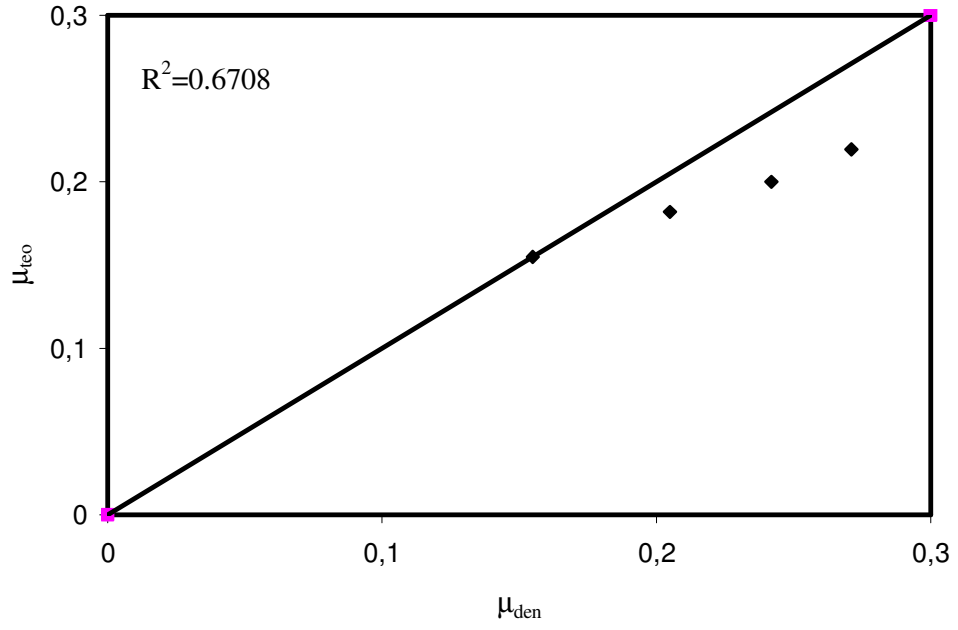
Besin ortamındaki bakır(II) iyonlarının, *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 2.16, 2.17 ve 2.18'de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin bu inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri ise ortalama %hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.12'de sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik özgül üreme hız değerleri ise deneysel özgül üreme hız değerleriyle  $R^2$ 'ler verilerek  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama %hata değerleri kıyaslanarak, bakır(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğu söylenebilir.

Çizelge 3.12. Bakır(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

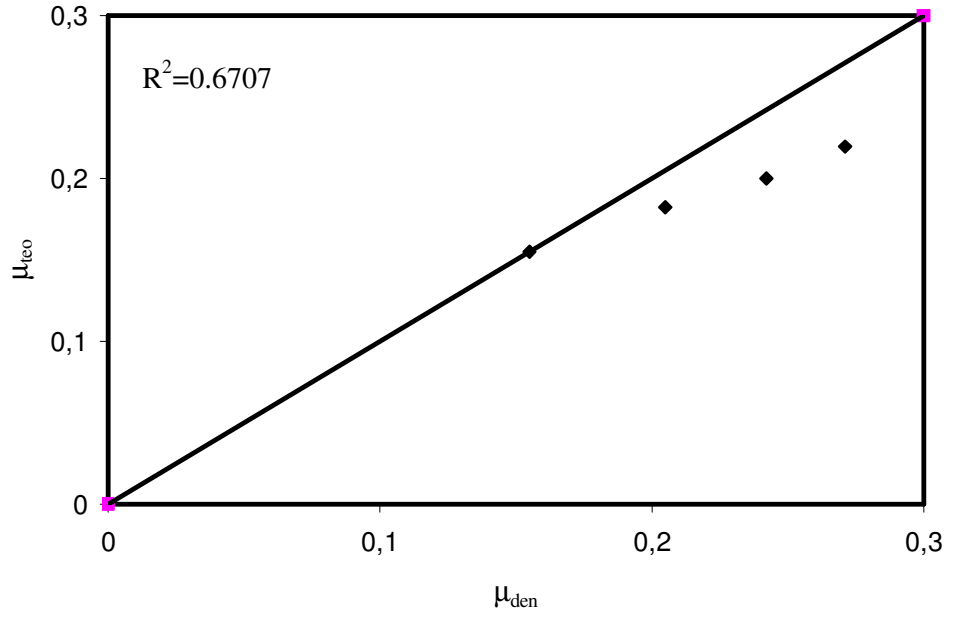
İnhibisyon türü	$K_i$ (mg/L)	Ortalama %Hata
Yarışmalı	111.25	9.37
Yarışmasız	423.67	9.48
Kısmi yarışmalı	312.42	9.53



Şekil 3.46. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.47. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



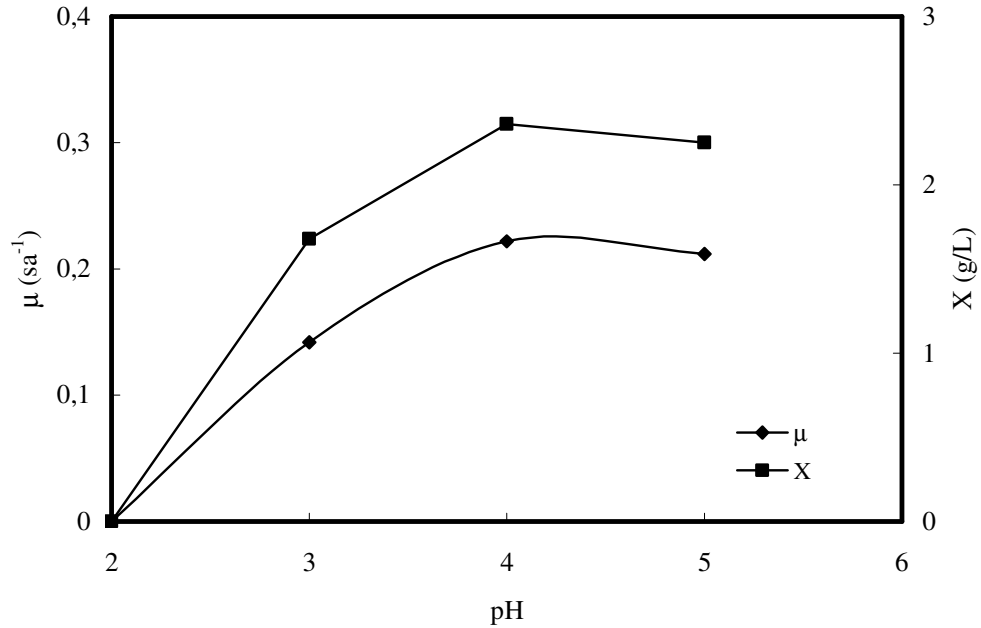
Şekil 3.48. *C. lipolytica* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.3. Nikel(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizma üreme kinetiğinin incelenmesi

#### 3.2.3.1. *R. delemar* çalışmaları

##### 3.2.3.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Nikel(II) içeren melas ortamında da başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesini nasıl etkilediğinin bilinmesi daha sonraki çalışmalara ışık tutması açısından önemlidir. Bu amaçla 100.0 mg/L nikel(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelenmiş ve metal iyonu içermeyen besin ortamında bulunan sonuçlara benzer olarak yine pH 2.0'de üreme gözlenmemiş, pH 4.0'te ise maksimum özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.49).



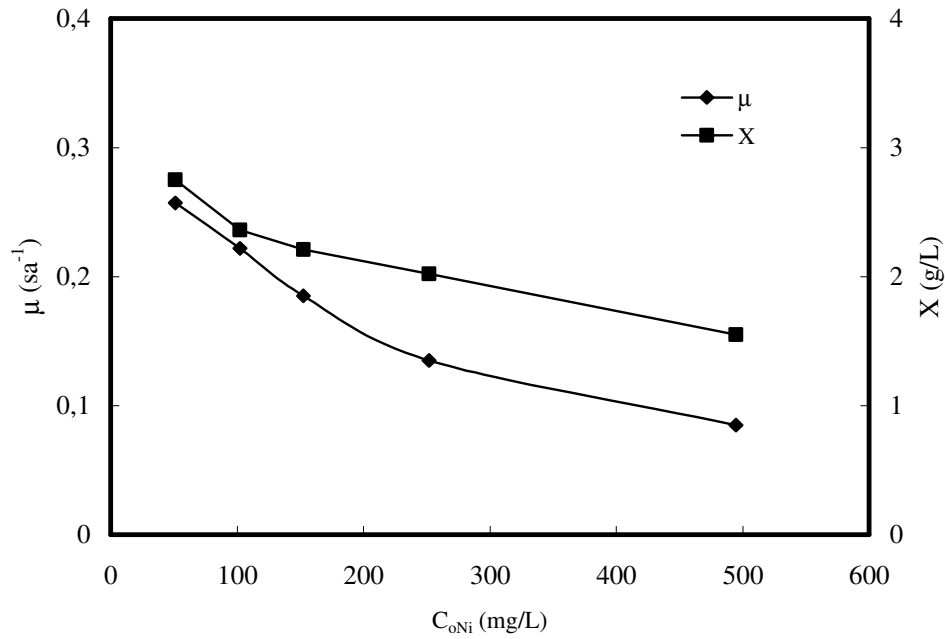
Şekil 3.49. 100.0 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, C<sub>0Ni</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm)

##### 3.2.3.1.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi

Nikel(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, 10 g/L aralığında sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 0-500.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına ve



maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine karşı başlangıç nikel(II) iyon derişimi grafiği Şekil 3.50’de sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) iyon derişiminin 500.0 mg/L’ye kadar artmasıyla özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen besin ortamında *R. delemar*’ın özgül üreme hızı 0.297 sa<sup>-1</sup> ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 3.76 g/L iken, ortamda 100.0 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.222 sa<sup>-1</sup>’e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.36 g/L’ye düşmüştür.



Şekil 3.50. Başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar*’ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

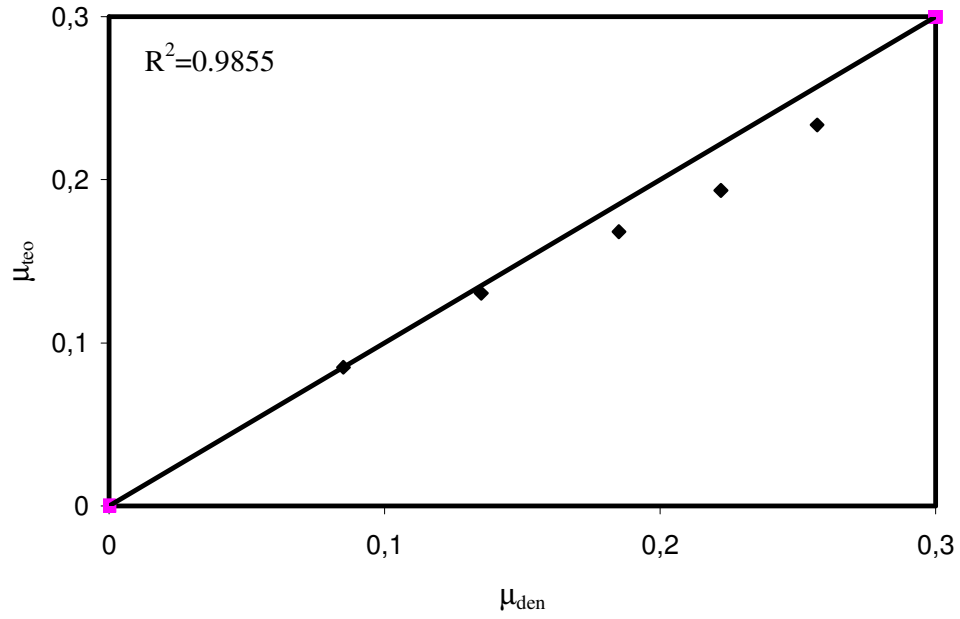
### 3.2.3.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

Besin ortamındaki nikel(II) iyonlarının, *R. delemar*’ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla yine tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 2.16, 2.17 ve 2.18’de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin bu inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri ortalama %hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.13’te sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik μ değerleri ise deneysel μ değerleriyle R<sup>2</sup>’ler verilerek 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekiller 3.51, 3.52 ve 3.53). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama %hata değerleri

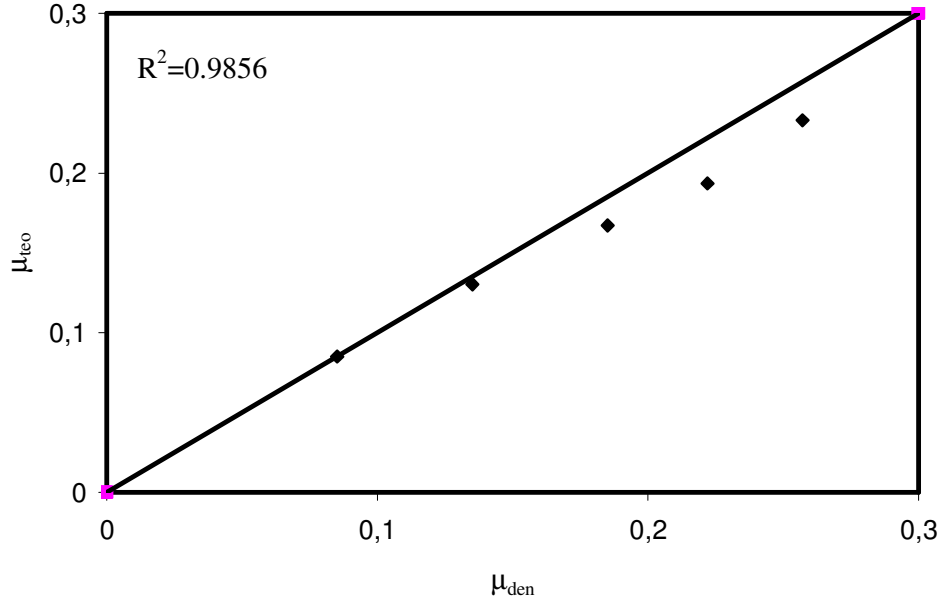
kıyaslanarak, nikel(II) iyonlarının *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeliyle tanımlanabileceği söylenebilir.

Çizelge 3.13. Nikel(II) iyonlarının *R. delemar*'ın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

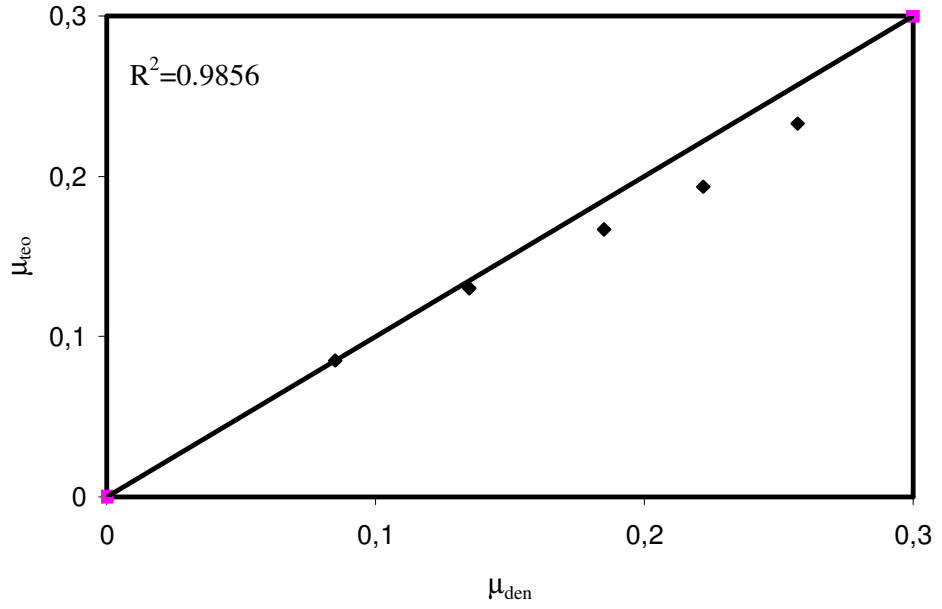
İnhibisyon türü	$K_i$ (mg/L)	Ortalama %Hata
Yarışmalı	58.64	6.89
Yarışmasız	205.34	7.14
Kısmi yarışmalı	146.69	7.07



Şekil 3.51. *R. delemar* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.52. *R. delemar* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

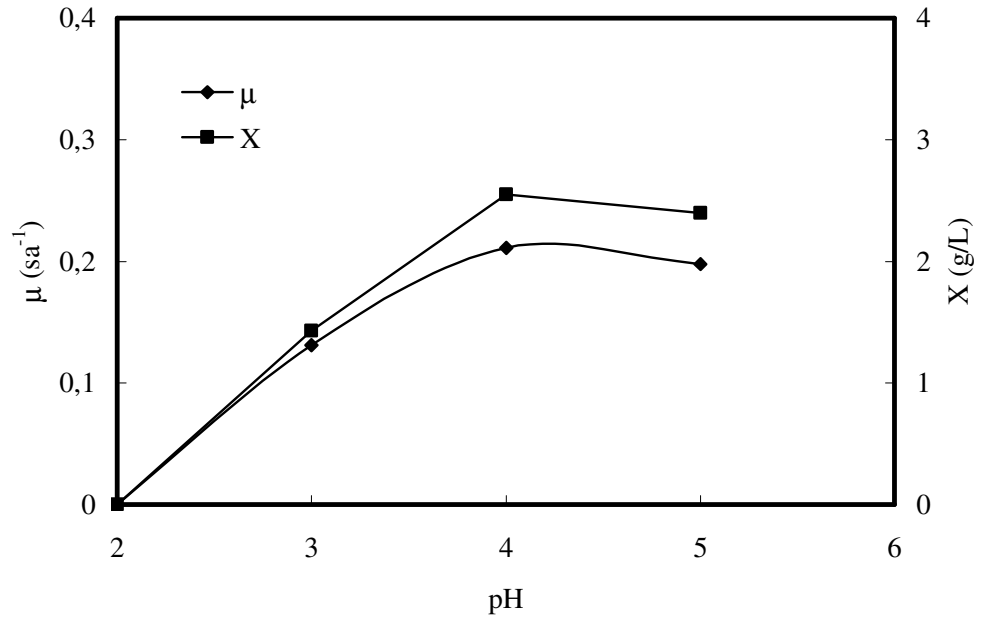


Şekil 3.53. *R. delemar* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.3.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.3.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

100.0 mg/L nikel(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelenmiş ve metal iyonu içermeyen besin ortamında bulunan sonuçlara benzer olarak pH 2.0'de üreme gözlenmemiş, pH 4.0'te ise maksimum özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.54).

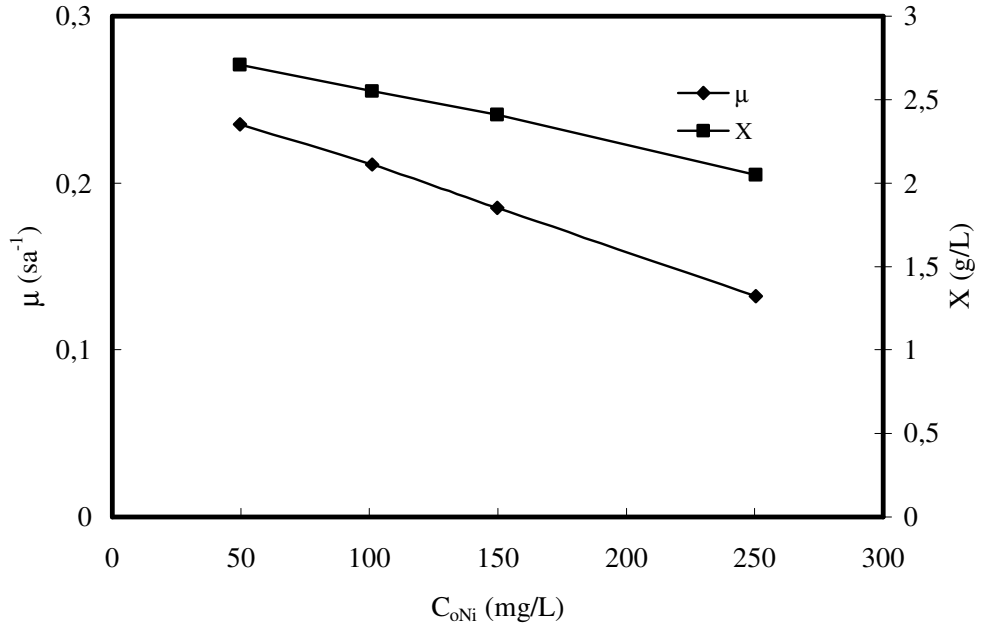


Şekil 3.54. 100.0 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>o</sub>: 10 g/L, C<sub>oNi</sub>: 100 mg/L, KH: 150 rpm)

#### 3.2.3.2.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi

Nikel(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, başlangıç nikel(II) derişiminin 0-250.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine karşı başlangıç nikel(II) iyon derişimi grafiği Şekil 3.55'te sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) iyon derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Örneğin

nikel(II) iyonu içermeyen besin ortamında *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı  $0.244 \text{ sa}^{-1}$  ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi  $3.23 \text{ g/L}$  iken, ortamda  $100.0 \text{ mg/L}$  nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı  $0.211 \text{ sa}^{-1}$ 'e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi  $2.55 \text{ g/L}$ 'ye düşmüştür.



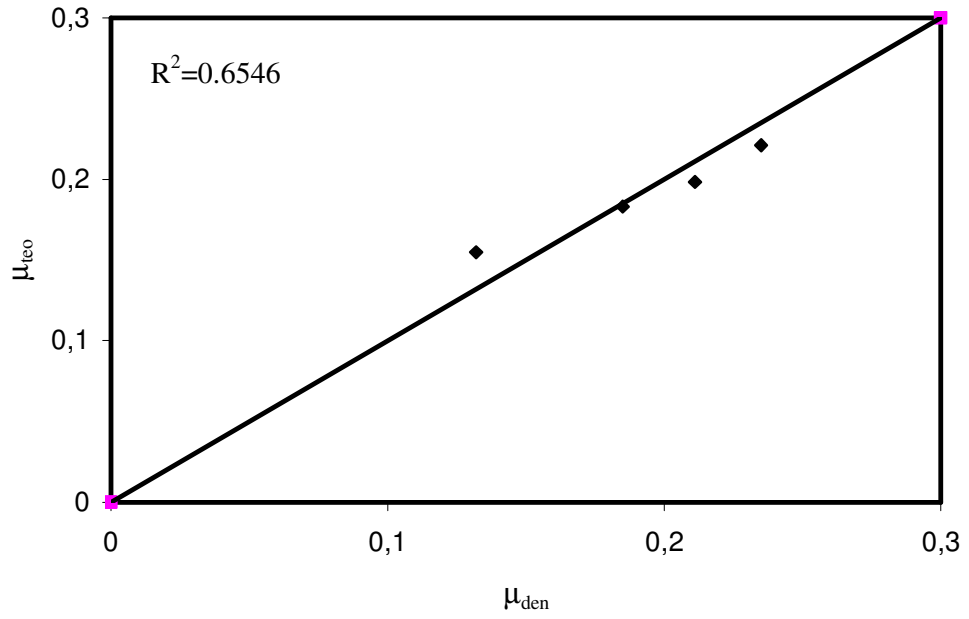
Şekil 3.55. Başlangıç nikel(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T:  $25^{\circ}\text{C}$ , pH: 4.0,  $S_0$ :  $10 \text{ g/L}$ , KH: 150 rpm)

### 3.2.3.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

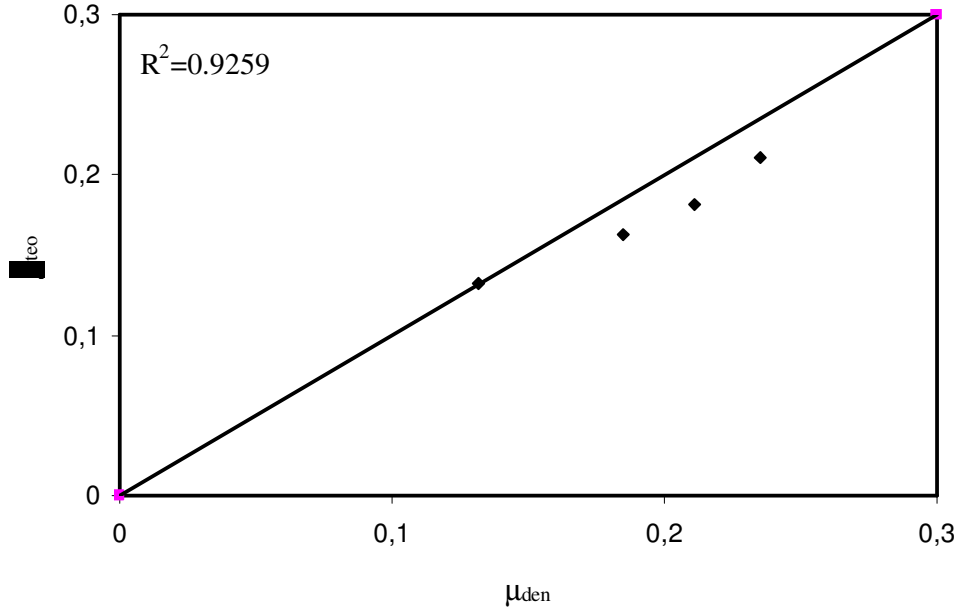
Besin ortamındaki nikel(II) iyonlarının, *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 2.16, 2.17 ve 2.18'de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin bu inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri ortalama %hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.14'te sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik özgül üreme hız değerleri ise deneysel özgül üreme hız değerleriyle  $R^2$ 'ler verilerek  $45^{\circ}$  doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekiller 3.56, 3.57 ve 3.58). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama %hata değerleri kıyaslanarak, nikel(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğu söylenebilir.

Çizelge 3.14. Nikel(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

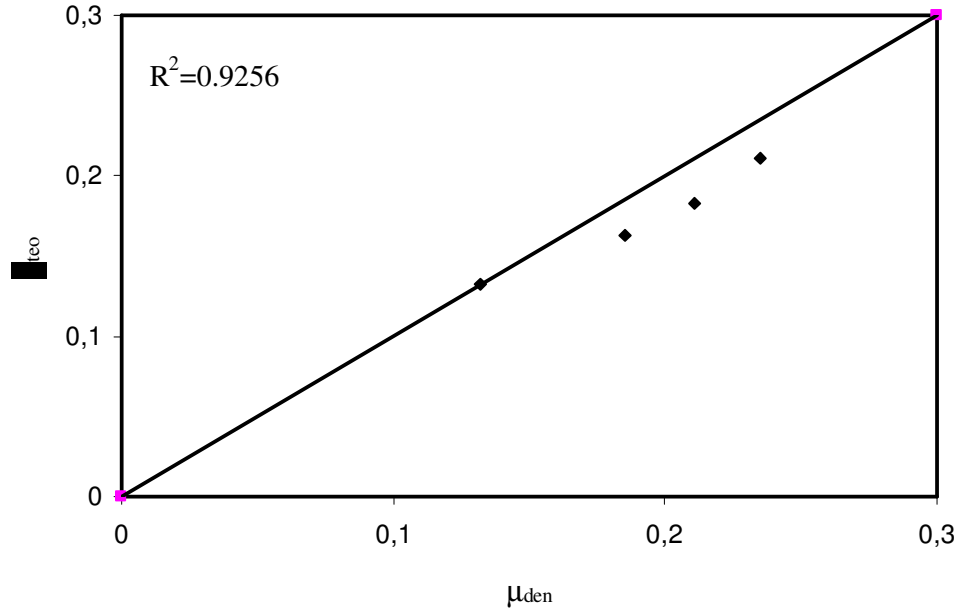
İnhibisyon türü	$K_i$ (mg/L)	Ortalama %Hata
Yarışmalı	113.83	6.01
Yarışmasız	290.56	7.18
Kısmi yarışmalı	212.97	7.21



Şekil 3.56. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.57. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.58. *C. lipolytica* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.4. Bakır(II)-nikel(II) karışımlarını birarada içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmaların üreme kinetiğinin incelenmesi

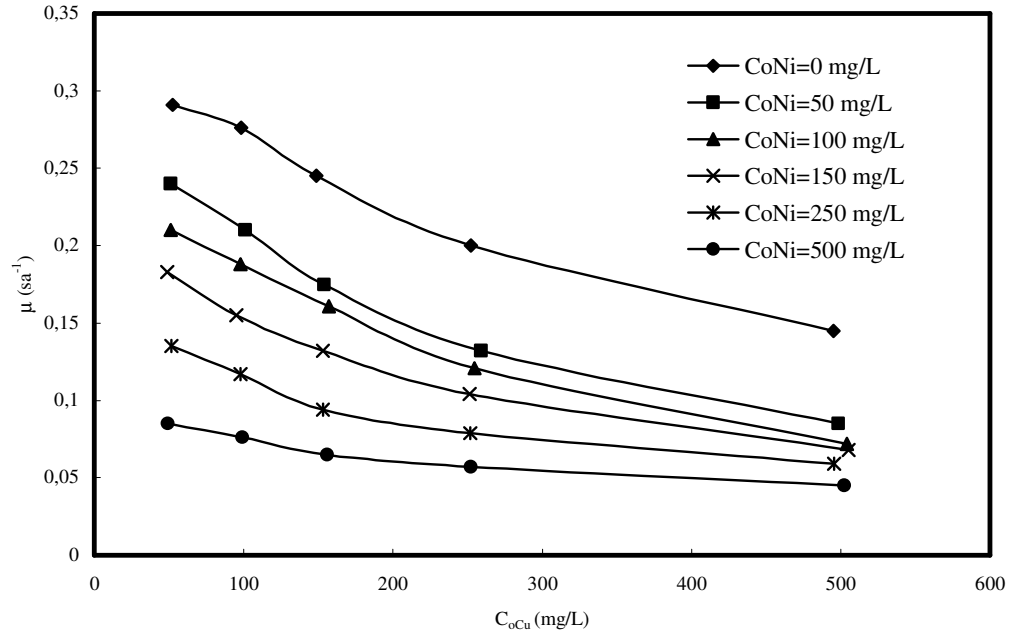
Mikroorganizmaların üreyebildiği atıksularda birden fazla türde metal iyonunun bulunması daha sık rastlanılacak bir durumdur. Bu halde bu metal iyonlarının mikroorganizmaların üremesi üzerine birleştirilmiş etkilerinin araştırılması gerekir. Deneysel çalışmaların bu kısmı pH 4.0'te ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, bakır(II) ve nikel(II) karışımlarını birarada ve maksimum 500.0 mg/L olacak şekilde içeren besin ortamında, her iki metal iyonu için de oldukça dirençli olan ve yüksek metal iyonu derişimlerine bile dayanabilen *Rhizopus delemar* ve *Candida lipolytica* mikroorganizmaları ile gerçekleştirilmiş ve her iki iyonun mikroorganizmaların büyümesine ortak etkisi araştırılmıştır.

#### 3.2.4.1. *R. delemar* çalışmaları

##### 3.2.4.1.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

*R. delemar* ile bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda sabit sakkaroz derişiminde başlangıç bakır(II) derişimi 50.0-500.0 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen bakır(II) derişim seti için 0, 50.0, 100.0, 150.0, 250.0 ve 500.0 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani  $C_{oCu}/C_{oNi}$  oranı 1 ile 10 arasında değiştirilmiştir. Şekil 3.59'da her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç bakır(II) derişiminin 500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 3.15'te ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç nikel(II) derişiminin 0'dan 500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla 50.0'den 500.0 mg/L'ye kadar artan bütün bakır(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında *R. delemar*'ın özgül üreme hızı  $0.276 \text{ sa}^{-1}$  ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 3.46 g/L iken, ortamda 100.0 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı  $0.188 \text{ sa}^{-1}$  ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.22 g/L'ye düşmüştür.





Şekil 3.59. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C,  $S_o$ : 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

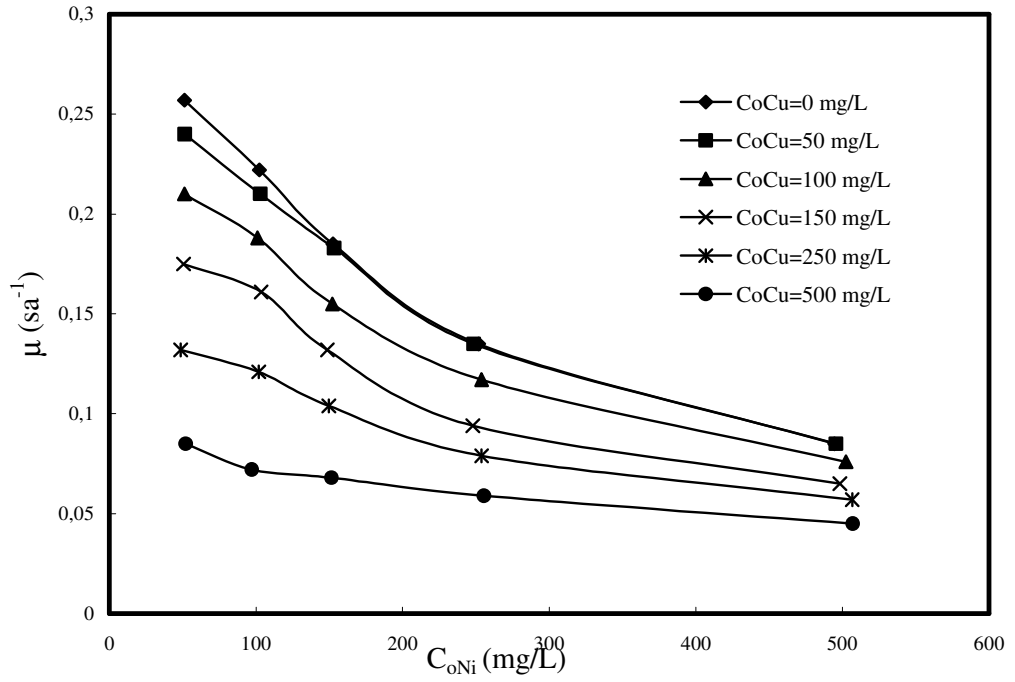
Çizelge 3.15. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *R. delemar*'ın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri

$C_{oCu}$ (mg/L)	$C_{oNi}$ (mg/L)	$\mu$ (sa <sup>-1</sup> )	X (g/L)
52.3	0	0.291	3.66
98.3	0	0.276	3.46
148.65	0	0.245	2.86
252.25	0	0.200	2.43
495.43	0	0.145	2.00
0	51.2	0.257	2.75
0	102.3	0.222	2.36
0	152.5	0.185	2.21
0	251.8	0.135	2.02
0	494.6	0.085	1.55
51.0	51.5	0.240	2.70
101.2	51.3	0.210	2.66
154.0	50.7	0.175	2.57
258.9	48.7	0.132	2.33
498.3	52.0	0.085	1.95
51.3	103.0	0.210	2.33
98.0	101.0	0.188	2.22
157.0	103.6	0.161	2.11
254.7	102.0	0.121	2.00
504.2	97.2	0.072	1.79
48.8	153.4	0.183	2.11
95.0	152.1	0.155	2.05
153.1	148.6	0.132	1.98
251.3	149.6	0.104	1.83
505.5	151.6	0.068	1.69
51.4	248.5	0.135	1.95
98.0	253.8	0.117	1.85
153.2	247.9	0.094	1.75
251.9	253.9	0.079	1.67
495.7	255.4	0.059	1.52
49.3	495.6	0.085	1.47
99.3	502.3	0.076	1.33
155.8	498.2	0.065	1.24
252.3	506.7	0.057	1.18
502.3	507.2	0.045	1.07

#### 3.2.4.1.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Sabit bakır(II) iyon derişiminde nikel(II) derişiminin mikroorganizmanın üremesine etkisi, aynı verilerle, 50.0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) iyon derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 0-500.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Şekil 3.60'da her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) derişiminin

500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak bakır(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 3.15'ten bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde *R. delemar*'ın özgül üreme hızları ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri bulunabilir. Çizelgeden başlangıç bakır(II) derişiminin 0'da 500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla 50.0'den 500.0 mg/L'ye kadar artan bütün nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hız ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişim değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *R. delemar*'ın özgül üreme hızı 0.222 sa<sup>-1</sup> ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.36 g/L iken, ortamda 100.0 mg/L nikel(II) ve 100.0 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.188 sa<sup>-1</sup>'e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.22 g/L'ye düşmüştür. Sonuç olarak ikili metal iyonu karışım çalışmalarında, nikel(II) iyonlarının mikroorganizmanın üremesini bakır(II) iyonlarından olumsuz olarak daha fazla etkilediğine karar verilmiştir.



Şekil 3.60. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>o</sub>: 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

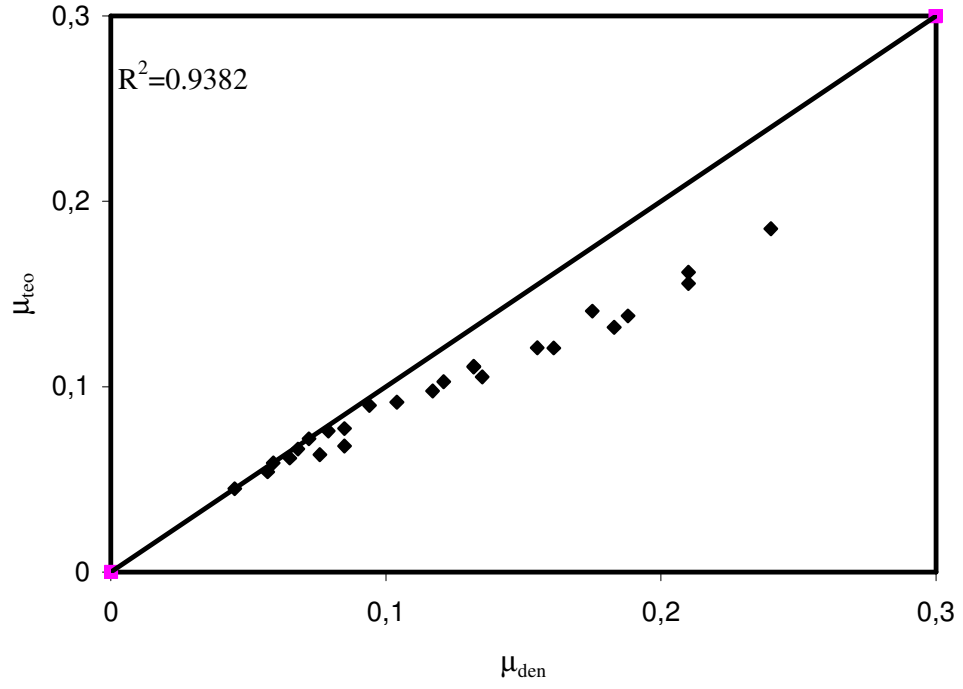
### 3.2.4.1.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

Bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında, her iki metal iyonunun *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyon etkisi, tek bileşenli inhibisyon modellerinden yola çıkılarak türetilen ve Eşitlikler 2.22, 2.23 ve 2.24'te verilen ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel özgül üreme hız değerleri kullanılarak her bir modele ait birinci ve ikinci bileşen inhibisyon sabitleri bilgisayar yardımıyla non-lineer regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sabitler kullanılarak bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin deneysel verilere uyumu, ortalama %hatalar ve ayrıca deneysel ve inhibisyon modellerinden bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde ( $R^2$ 'leri verilerek) karşılaştırılmasıyla araştırılmış, deneysel verilerin en düşük ortalama %hata veren ve  $R^2$ 'si en yüksek olan modele en iyi uyduğu varsayılmıştır.

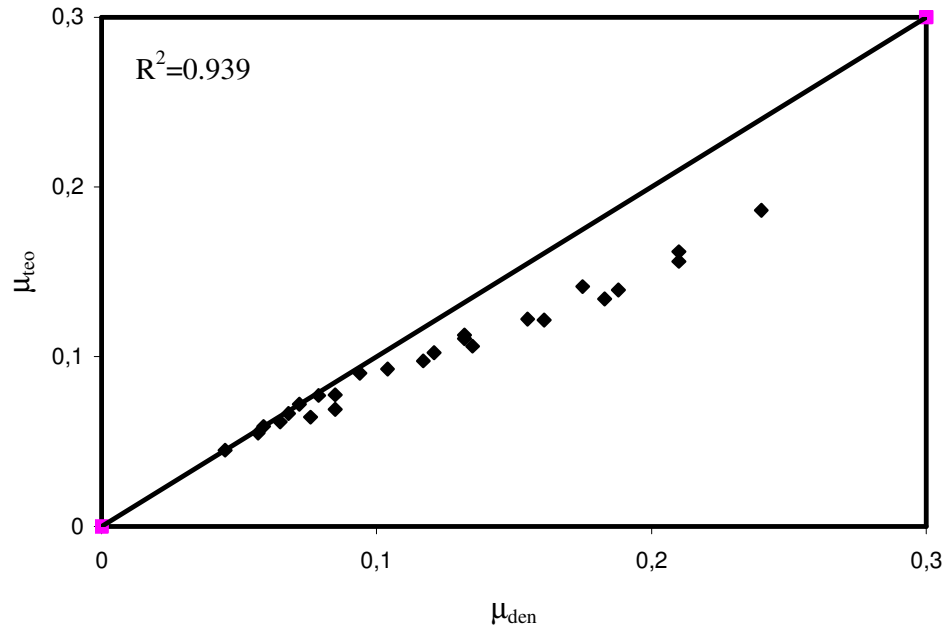
Deneysel verilere ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinin uygulanmasıyla bulunan birinci (bakır(II)) ve ikinci bileşen (nikel(II))'e ait inhibisyon sabitleri ortalama % hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.16'da sunulmuştur. Şekiller 3.61, 3.62 ve 3.63'te ise teorik ve deneysel özgül üreme hız değerleri 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller,  $R^2$ 'ler ve hesaplanan ortalama %hata değerleri karşılaştırılarak, bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının çalışılan derişim aralığında *R. delemar*'ın özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyonun ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 3.16. Bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *R. delemar*'ın üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

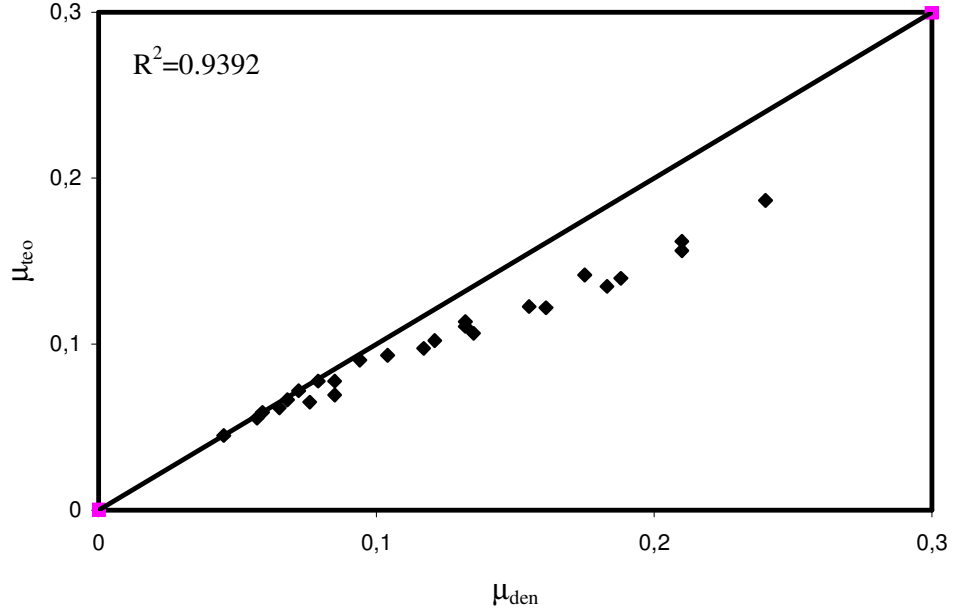
İnhibisyon türü	$K_{iCu}$ (mg/L)	$K_{iNi}$ (mg/L)	Ortalama %Hata
İkili Yarışmalı	56.71	47.44	13.35
İkili Yarışmasız	203.24	168.36	13.71
İkili Kısmi yarışmalı	146.53	120.91	13.49



Şekil 3.61. *R. delemar* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.62. *R. delemar* için deneysel ve ikili yarışsız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin  $45^\circ$  doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.63. *R. delemar* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.4.2. *C. lipolytica* çalışmaları

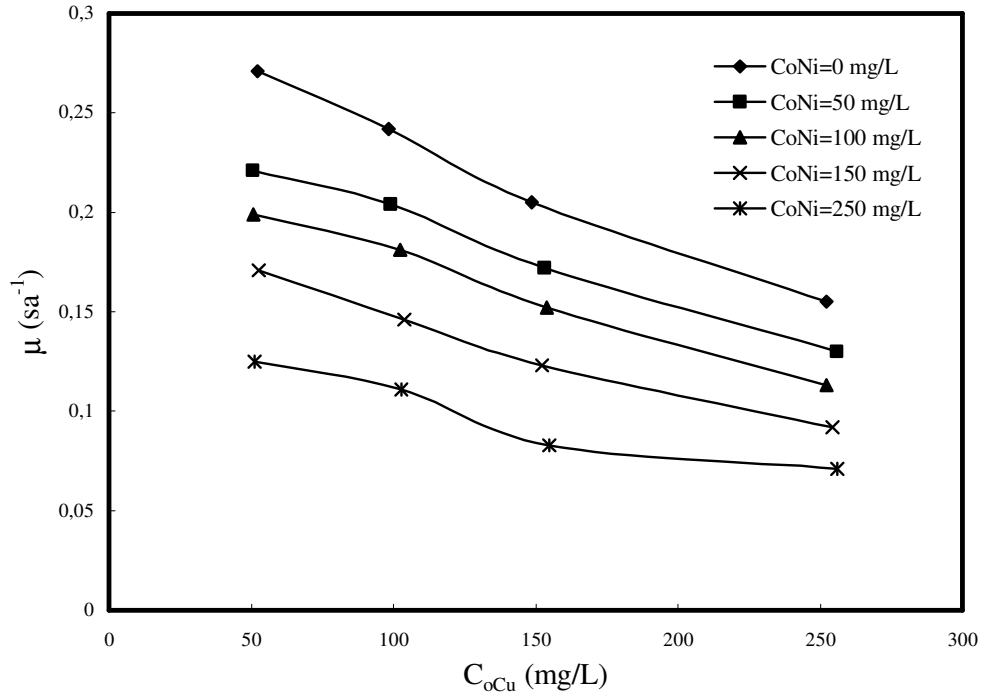
#### 3.2.4.2.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

*C. lipolytica* ile bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda sabit sakkaroz derişiminde başlangıç bakır(II) derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen bakır(II) derişim seti için 0, 50.0, 100.0, 150.0 ve 250.0 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani  $C_{oCu}/C_{oNi}$  oranı 1 ile 5 arasında değiştirilmiştir. Şekil 3.64'te her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç bakır(II) derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 3.17'de ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç nikel(II) derişiminin 0'dan 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla 50.0'den 250.0 mg/L'ye kadar artan bütün bakır(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında *C. lipolytica* mayasının özgül üreme hızı

0.242 sa<sup>-1</sup> ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.73 g/L iken, ortamda 100.0 mg/L bakır(II) ve 100.0 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.181 sa<sup>-1</sup>'e ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.11 g/L'ye düşmüştür.

Çizelge 3.17. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri

C <sub>oCu</sub> (mg/L)	C <sub>oNi</sub> (mg/L)	μ (sa <sup>-1</sup> )	X (g/L)
52.3	0	0.271	3.11
98.3	0	0.242	2.73
148.65	0	0.205	2.42
252.25	0	0.155	2.22
0	49.6	0.235	2.71
0	101.1	0.211	2.56
0	149.8	0.185	2.41
0	250.5	0.132	2.05
50.5	51.1	0.221	2.60
98.9	51.3	0.204	2.52
153.0	52.3	0.172	2.38
255.9	49.5	0.130	1.93
50.8	101.8	0.199	2.27
102.3	103.4	0.181	2.11
153.9	103.6	0.152	2.01
252.3	101.7	0.113	1.83
52.6	152.5	0.171	2.02
103.7	152.1	0.146	1.91
152.2	153.6	0.123	1.79
254.4	152.7	0.092	1.62
51.1	252.0	0.125	1.88
102.7	253.8	0.111	1.65
154.8	254.6	0.083	1.49
256.1	255.7	0.071	1.18



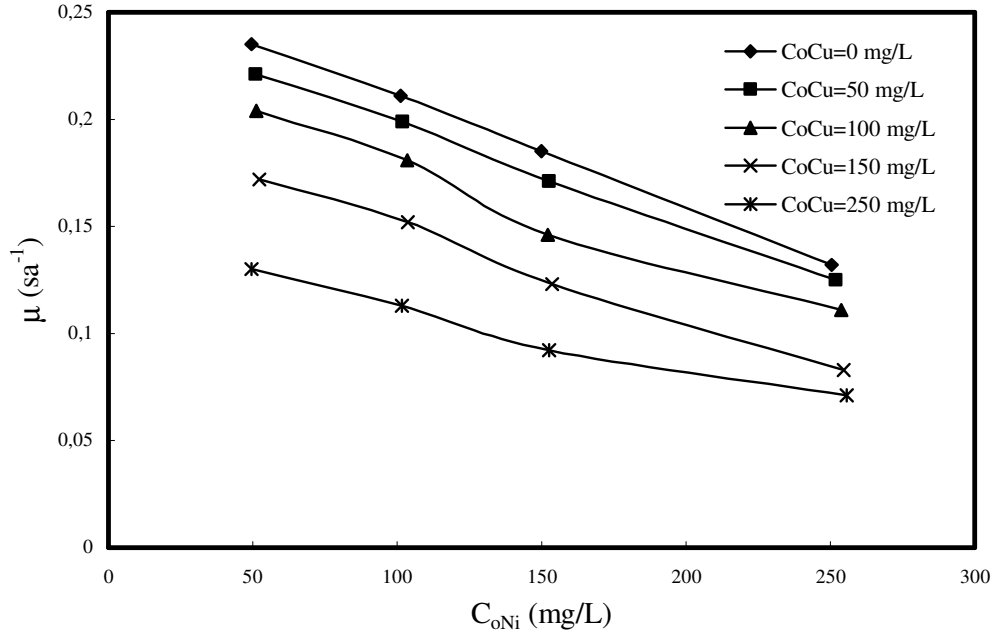
Şekil 3.64. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>o</sub>: 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

### 3.2.4.2.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Sabit bakır(II) iyon derişiminde nikel(II) iyonlarının mayanın üremesine etkisi, aynı verilerle, 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) iyon derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Şekil 3.65'te her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak bakır(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 3.17'den her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. lipolytica*'nın özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimleri bulunabilir. Çizelgeden başlangıç bakır(II) derişiminin 0'dan 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla 50.0'den 250.0 mg/L'ye kadar artan bütün nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı 0.211 sa<sup>-1</sup> ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi 2.56 g/L iken, ortamda 100 mg/L nikel(II) ve 100.0 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.181 sa<sup>-1</sup>'e ve maksimum üreyen



kuru mikroorganizma derişimi 2.11 g/L'ye düşmüştür. Sonuç olarak ikili metal iyonu karışım çalışmalarında, nikel(II) iyonlarının bu mayanın üremesini de bakır(II) iyonlarından olumsuz olarak daha fazla etkilediğine karar verilmiştir.



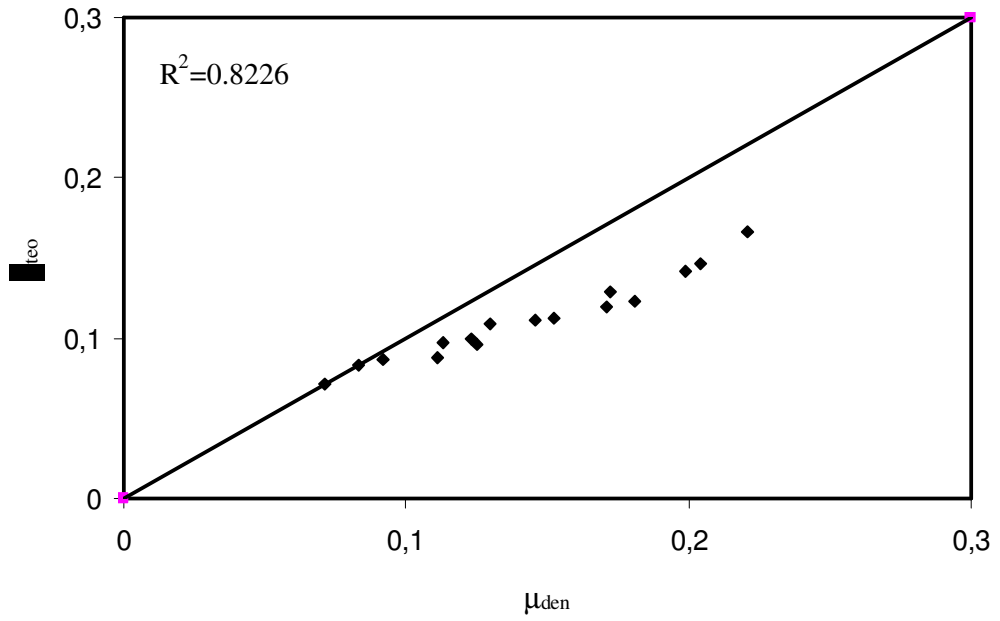
Şekil 3.65. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T: 25°C, S<sub>0</sub>: 10 g/L, pH: 4.0, KH: 150 rpm)

### 3.2.4.2.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

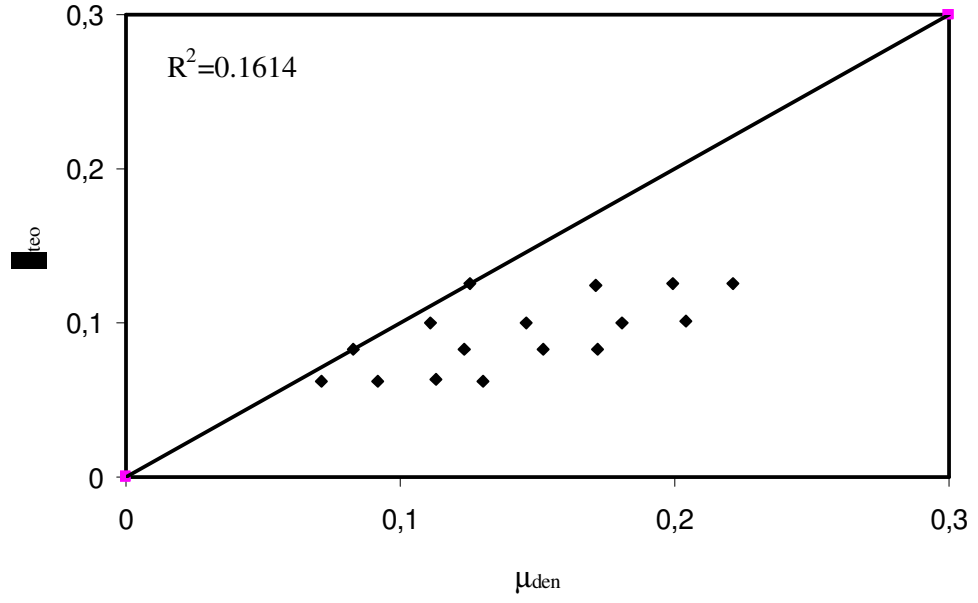
Bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyon etkisi, deneysel verilere Eşitlikler 2.22, 2.23 ve 2.24'te verilen ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinin uygulanmasıyla incelenmiş ve bu modellere ait inhibisyon sabitleri ortalama %hata değerleriyle birlikte Çizelge 3.18'de sunulmuştur. Şekiller 3.66, 3.67 ve 3.68'de ise deneysel ve teorik özgül üreme hız değerleri 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller, R<sup>2</sup>'ler ve hesaplanan ortalama %hata değerleri karşılaştırılarak, bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının çalışılan derişim aralığında *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyonun ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 3.18. Bakır(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama %hata değerleri

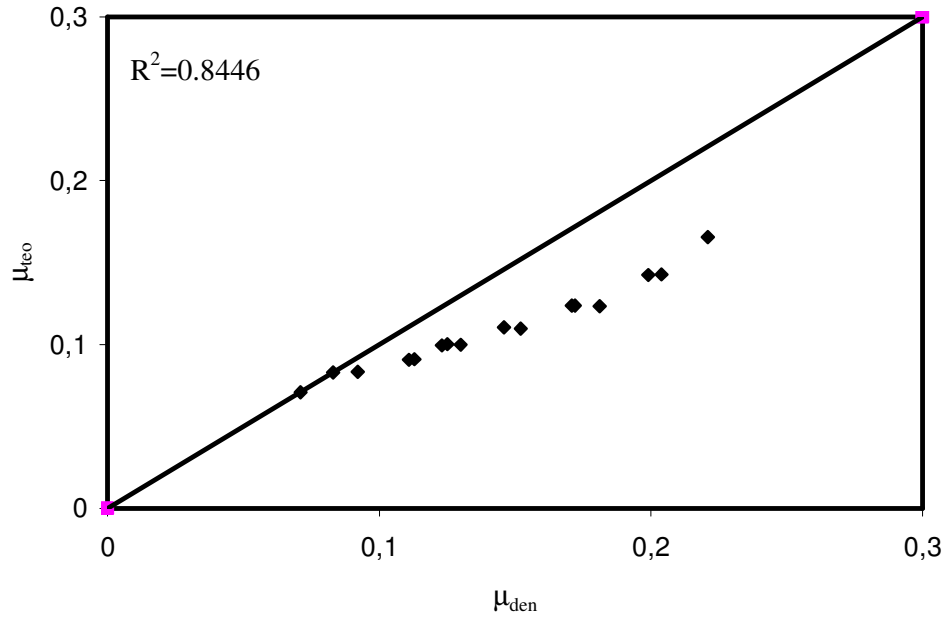
İnhibisyon türü	$K_{iCu}$ (mg/L)	$K_{iNi}$ (mg/L)	Ortalama %Hata
İkili Yarışmalı	65.75	48.95	16.71
İkili Yarışmasız	103.49	21.08	27.08
İkili Kısmi yarışmalı	152.77	152.30	17.48



Şekil 3.66. *C. lipolytica* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.67. *C. lipolytica* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 3.68. *C. lipolytica* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

### 3.2.5. Mikroorganizmalara metal biyobirikiminin incelenmesi

#### 3.2.5.1. Bakır(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmalara bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi

##### 3.2.5.1.1. *R. delemar* çalışmaları

###### 3.2.5.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

*R. delemar*'ın maksimum ürettiği pH değerinde maksimum bakır(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100.0 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.19'da sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözleendiği pH 4.0'te bakır(II) biyobirikimin de maksimum olduğu (69.8 mg Cu/L) ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına maksimum bakır(II)'nin tutulduğu (20.17mg /g k. mo.) gözlenmektedir.

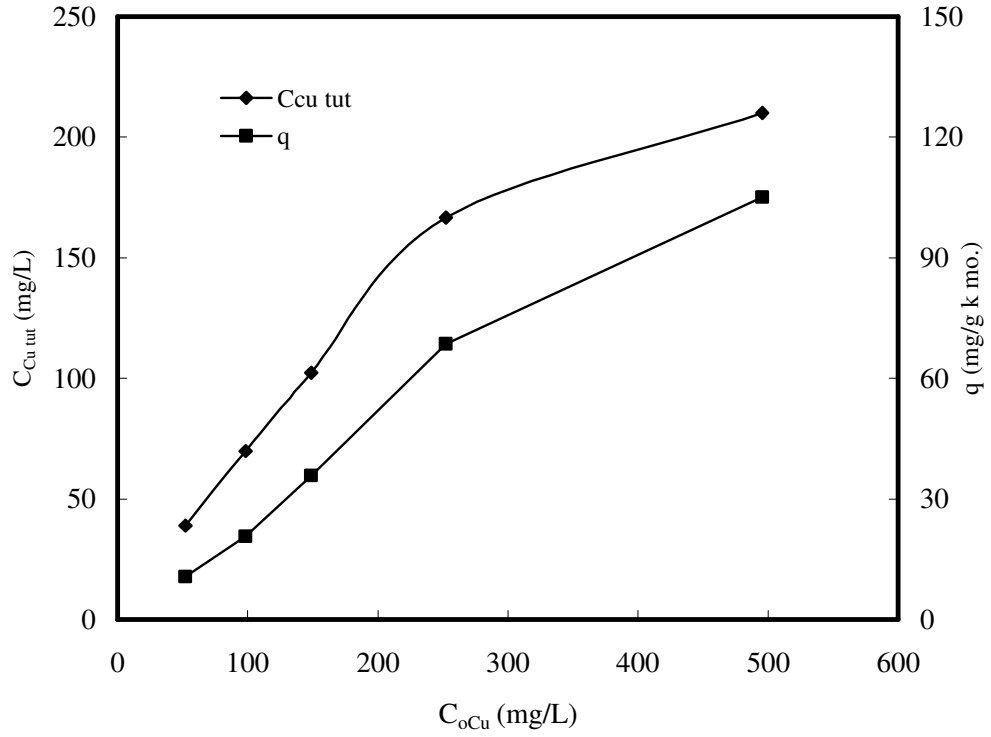
Çizelge 3.19. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına etkisi ( $C_{0Cu}$ : 100 mg/L,  $S_0$ : 10 g/L)

pH	$C_{tutCu}$ (mg/L)	$q_{Cu}$ (mg/g k. mo.)
3.0	35.0	18.23
4.0	69.8	20.17
5.0	63.0	19.38

###### 3.2.5.1.1.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Tez çalışmasının amaçlarından biri metal iyonlarına oldukça dirençli olan mikroorganizma hücrelerinin üreme ortamındaki ağır metal iyonlarını biriktirebilme yeteneğini ve kapasitesini araştırmak, bir diğeri de metal biyobirikiminin kinetik modellenmesidir. Bu amaca uygun olarak 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına ve %bakır(II) giderimine başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi 50.0-500.0 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.69'da ve Çizelge 3.20'de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden başlangıç bakır(II) iyon derişimi arttıkça maksimum biriktirilen bakır(II) derişiminin, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarının arttığı, %bakır(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin başlangıç bakır(II) derişimi 100.0 mg/L iken elde edilen maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri sırasıyla 69.8 mg/L, 20.17 mg/g k. mo. ve

%71.00 iken, başlangıç bakır(II) derişimi 500.0 mg/L'ye çıktığında bu değerler 210.2 mg/L, 105.10 mg/g k. mo. ve %42.42 bulunmuştur. Sabit sakkaroz derişiminin bu mikroorganizma için bakır(II) biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı da gözden kaçırılmamalıdır.



Şekil 3.69. Başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan bakır(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0,  $S_o$ : 10 g/L, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.20. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *R. delemar* için elde edilen maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri

$C_{oCu}$ (mg/L)	$C_{tutCu}$ (mg/L)	$q_{Cu}$ (mg/g k. mo.)	%giderim Cu
52.3	38.8	10.60	74.18
98.3	69.8	20.17	71.00
148.6	102.4	35.80	68.88
252.2	166.6	68.55	66.04
495.4	210.2	105.10	42.42

### 3.2.5.1.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.5.1.2.1. Başlangıç pH'nın etkisi

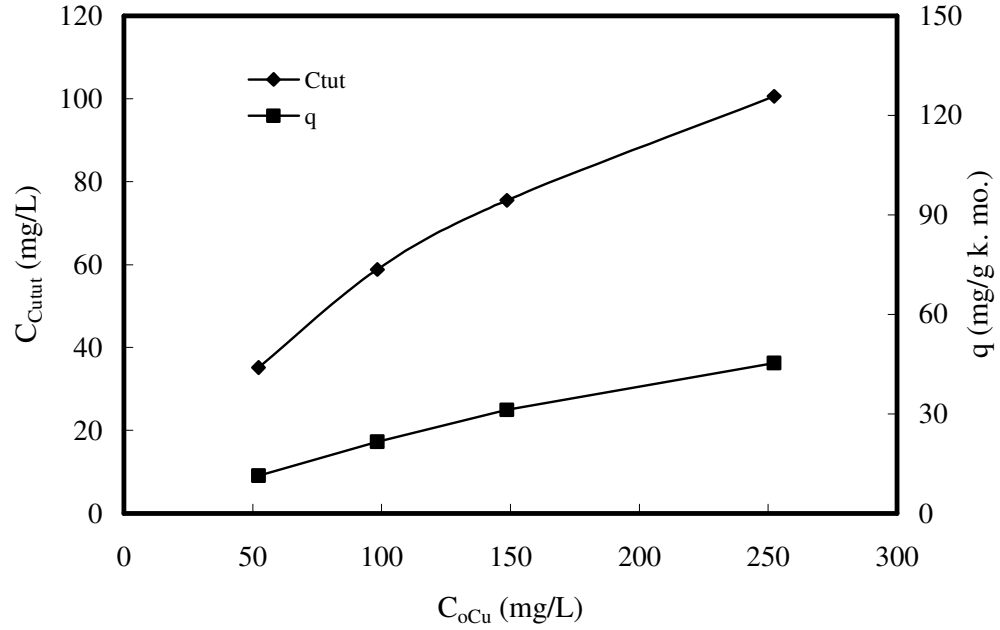
*C. lipolytica* için maksimum ürediği pH değerinde maksimum bakır(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100.0 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.21'de sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözlendiği pH 4.0'te bakır(II) biyobirikimin de maksimum olduğu (58.8 mg Cu/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum bakır(II)'nin tutulduğu (21.54 mg Cu/g k. mo.) gözlenmektedir.

Çizelge 3.21. Başlangıç pH'nın *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına etkisi ( $C_{\text{Cu}}$ : 100 mg/L,  $S_0$ : 10 g/L)

pH	$C_{\text{tutCu}}$ (mg/L)	$q_{\text{Cu}}$ (mg/g k. mo.)
3.0	30.1	16.27
4.0	58.8	21.54
5.0	52.2	20.00

#### 3.2.5.1.2.2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarına ve %bakır(II) giderimine başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi 50.0-250.0 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.70 ve Çizelge 3.22'de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden başlangıç bakır(II) iyon derişimi arttıkça maksimum biriktirilen bakır(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarının arttığı, %bakır(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin başlangıç bakır(II) derişimi 100.0 mg/L iken elde edilen maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri sırasıyla 58.8 mg/L, 21.54 mg/g k. mo. ve %59.81 iken, başlangıç bakır(II) derişimi 250.0 mg/L'ye çıktığında bu değerler 100.6 mg/L, 45.31 mg/g k. mo. ve %39.88 bulunmuştur. Sabit sakkaroz derişiminin bu maya için de bakır(II) biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı da gözden kaçırılmamalıdır.



Şekil 3.70. Başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan bakır(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0,  $S_o$ : 10 g/L, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.22. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen maksimum tutulan bakır(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve %bakır(II) giderim değerleri

$C_{oCu}$ (mg/L)	$C_{tutCu}$ (mg/L)	$q_{Cu}$ (mg/g k. mo.)	%giderim Cu
52.3	35.2	11.32	67.30
98.3	58.8	21.54	59.81
148.6	75.5	31.20	50.80
252.2	100.6	45.31	39.88

### 3.2.5.2. Nikel(II) içeren melaslı besin ortamında mikroorganizmalara nikel(II) biyobirikiminin incelenmesi

#### 3.2.5.2.1. *R. delemar* çalışmaları

##### 3.2.5.2.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

*R. delemar*'ın maksimum ürediği pH değerinde maksimum nikel(II) biyobirikimini gerçekteşirip gerçekteşmediğini gözlemek amacıyla yine pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100.0 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge 3.23'te sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözlendiği pH 4.0'te

nikel(II) biyobirikimin de maksimum olduğu (48.8 mg Ni/L) ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına maksimum nikel(II)'nin tutulduğu (20.68 mg Ni/g k. mo.) gözlenmektedir.

Çizelge 3.23. Başlangıç pH'ının *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirdiği nikel(II) derişimine ve birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi ( $C_{oNi}$ : 100.0 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L)

pH	$C_{tutNi}$ (mg/L)	$q_{Ni}$ (mg/g k. mo.)
3.0	25.0	14.88
4.0	48.8	20.68
5.0	43.0	19.11

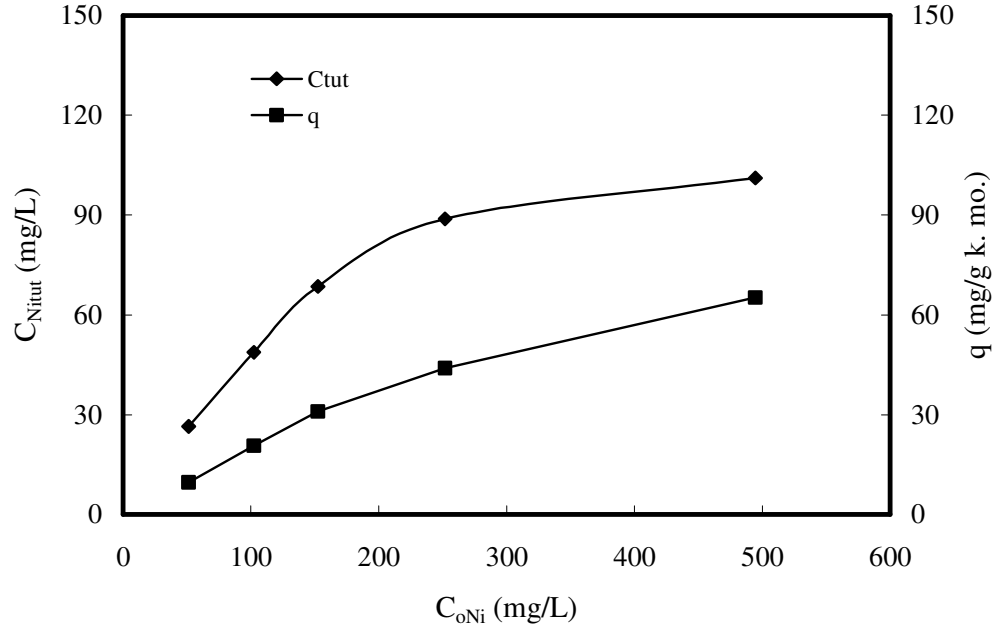
### 3.2.5.2.1.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi

Deneysel çalışmaların bu kısmında mikroorganizmaların nikel(II) iyonlarına karşı gösterdiği direnci ve biyobirikim kapasitesini araştırmak üzere 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, *R. delemar*'ın maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimine, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve %nikel(II) giderimine başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi 50.0-500.0 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.71 ve Çizelge 3.24'te sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden başlangıç nikel(II) iyon derişimi arttıkça maksimum biriktirilen nikel(II) derişiminin, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, %nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde başlangıç nikel(II) derişimi 100.0 mg/L iken elde edilen maksimum biriktirilen nikel(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri sırasıyla 48.8 mg/L, 20.68 mg/g k. mo. ve %47.70 iken, başlangıç nikel(II) derişimi 500.0 mg/L'ye çıktığında bu değerler 101.1 mg/L, 65.22 mg/g k. mo. ve %20.44 bulunmuştur. Sabit sakkaroz derişiminin mikroorganizmanın nikel(II) biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı da gözden kaçırılmamalıdır.

Çizelge 3.24. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *R. delemar* için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri

$C_{oNi}$ (mg/L)	$C_{tutNi}$ (mg/L)	$q_{Ni}$ (mg/g k. mo.)	%giderim Ni
51.2	26.5	9.63	51.75
102.3	48.8	20.68	47.70
152.5	68.5	30.99	44.91
251.8	88.9	44.00	35.30
494.6	101.1	65.22	20.44





Şekil 3.71. Başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan nikel(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0,  $S_o$ : 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.5.2.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.5.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

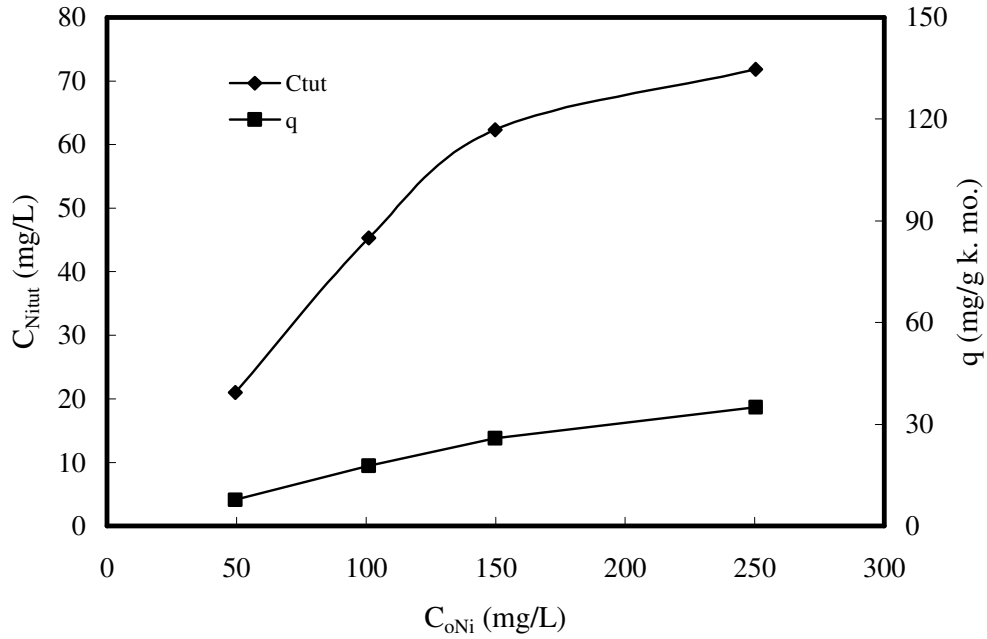
*C. lipolytica*'nın maksimum ürediği pH değerinde maksimum nikel(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100.0 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.25'te sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözleendiği pH 4.0'te nikel(II) biyobirikimin de maksimum olduğu (45.3 mg Ni/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum nikel(II)'nin tutulduğu (17.76 mg Ni/g k. mo.) gözlenmektedir.

Çizelge 3.25. Başlangıç pH'ının *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirdiği nikel(II) derişimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi ( $C_{oNi}$ : 100 mg/L,  $S_o$ : 10 g/L)

pH	$C_{tutNi}$ (mg/L)	$q_{Ni}$ (mg/g k. mo.)
3.0	20.8	14.54
4.0	45.3	17.76
5.0	38.5	16.04

### 3.2.5.2.2.2. Başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi

10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, *C. lipolytica*'nın maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve %nikel(II) giderimine başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi 50.0-250.0 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 3.72 ve Çizelge 3.26'da sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden başlangıç nikel(II) iyon derişimi arttıkça maksimum biriktirilen nikel(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, %nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde başlangıç nikel(II) derişimi 100.0 mg/L iken elde edilen maksimum biriktirilen nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri sırasıyla 45.3 mg/L, 17.76 mg/g k. mo. ve %44.80 iken, başlangıç nikel(II) derişimi 250.0 mg/L'ye çıktığında bu değerler 71.8 mg/L, 35.02 mg/g k. mo. ve %28.66 bulunmuştur. Sabit sakkaroz derişiminin mayanın nikel(II) biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı da gözden kaçırılmamalıdır.



Şekil 3.72. Başlangıç nikel(II) derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi ve birim kuru mikroorganizma kütlesi başına tutulan nikel(II) miktarı üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>0</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.26. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri

$C_{oNi}$ (mg/L)	$C_{tutNi}$ (mg/L)	$q_{Ni}$ (mg/g k. mo.)	%giderim Ni
49.6	21.0	7.75	42.33
101.1	45.3	17.76	44.80
149.8	62.3	25.85	41.58
250.5	71.8	35.02	28.66

### 3.2.5.3. Bakır(II)-nikel(II) karışımlarını birarada içeren melash besin ortamında bakır(II) ve nikel(II) biyobirikiminin incelenmesi

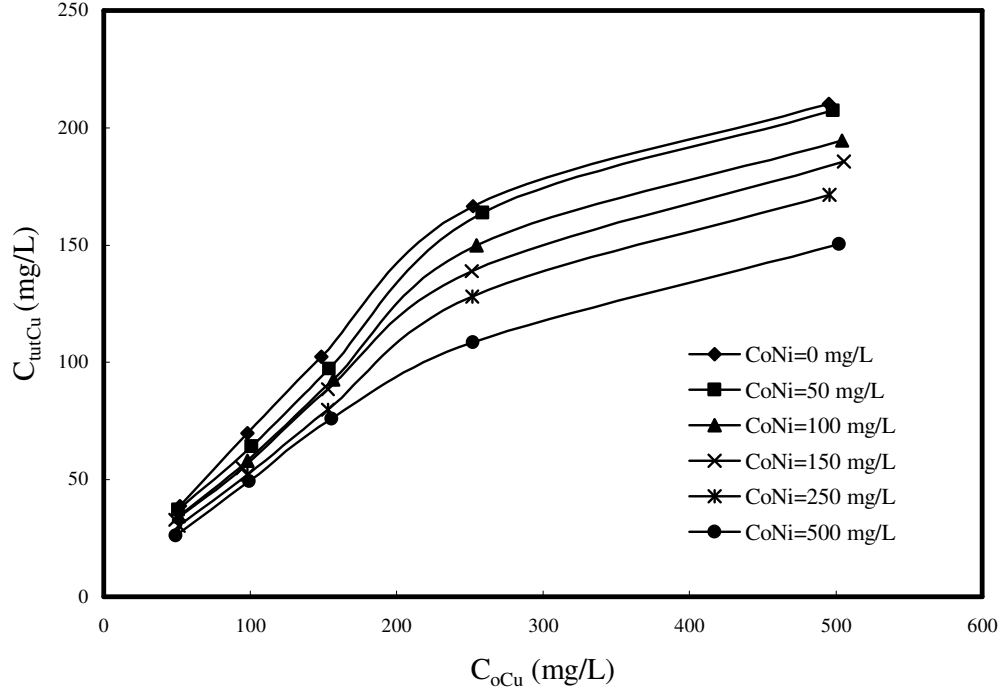
Deneysel çalışmaların bu kısmı pH 4.0'de ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, bakır(II)-nikel(II) karışımlarını bir arada *R. delemar* için maksimum toplam 1000.0 mg/L, *C. lipolytica* için ise maksimum toplam 500.0 mg/L olacak şekilde içeren besin ortamında gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.5.3.1. *R. delemar* çalışmaları

##### 3.2.5.3.1.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

*R. delemar* ile bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda sabit sakkaroz derişiminde başlangıç bakır(II) derişimi 50.0-500.0 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen bakır(II) derişim seti için 0, 50.0, 100.0, 150.0, 250.0 ve 500.0 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani  $C_{oCu}/C_{oNi}$  oranı 1 ile 10 arasında değiştirilmiştir. Her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar*'ın maksimum tutulan bakır(II) derişimine etkisi Şekil 3.73'te; maksimum biriktirilen bakır(II) ve nikel(II) derişimlerine, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) ve nikel(II) miktarlarına ve %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerlerine etkisi ise Çizelge 3.27'de gösterilmiştir. Şekilden ve çizelgeden, her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin 500 mg/L'ye kadar arttıkça her iki iyonun maksimum tutulan derişimlerinin, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan miktarlarının arttığı, %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Nikel(II) derişiminin artması ise maksimum biriktirilen bakır(II) derişimini, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarını ve %bakır(II) giderim değerlerini oldukça azaltmaktadır. Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında *R. delemar* için her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 69.8 mg Cu/L, 0 mg Ni/L; birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan miktarları 20.17 mg Cu/g k. mo., 0 mg Ni/g k. mo.; %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerleri sırasıyla %71.00, %0 iken, ortamda 100.0 mg/L bakır(II) ve 100.0 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 58.0 mg Cu/L, 46.6 mg Ni/L; birim

kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan miktarları 26.12 mg Cu/g k. mo., 20.99 mg Ni/g k. mo.; %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerleri sırasıyla %59.18, %46.13 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan iki iyonun mikroorganizmanın metal tutma kapasitesi üzerine ortak etkisinin antagonistik olduğuna karar verilmiştir.



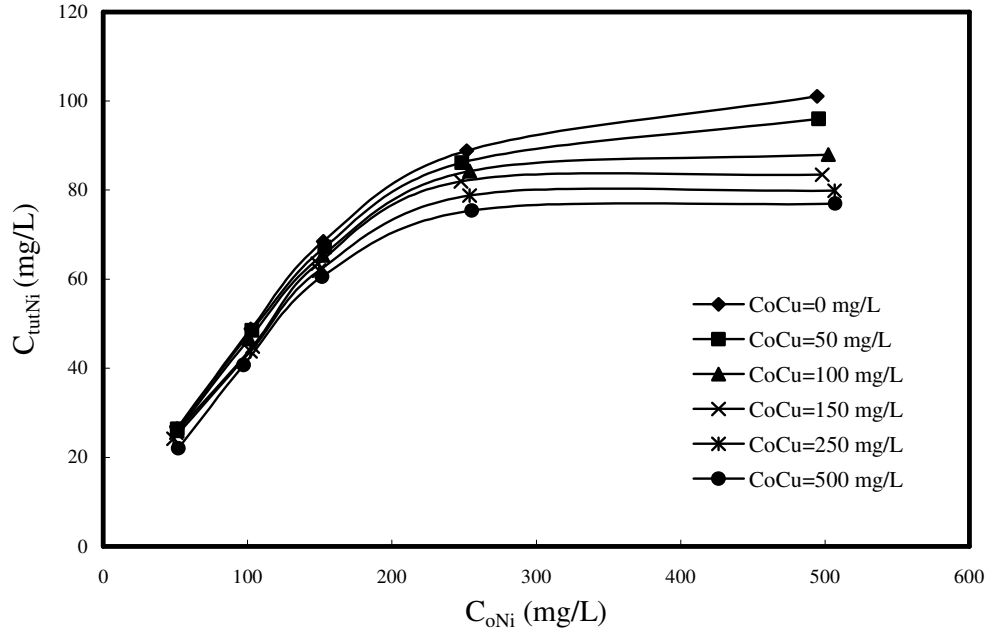
Şekil 3.73. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *R. delemar* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

Çizelge 3.27. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *R. delemar* için maksimum biyobiriktirilen bakır(II) ve nikel(II) derişimleri, birim kuru mikroorganizma tarafından tutulan bakır(II) ve nikel(II) miktarları ve %bakır(II) ve %nikel(II) giderim değerleri

CoCu (mg/L)	CoNi (mg/L)	C <sub>tu</sub> Cu (mg/L)	C <sub>tu</sub> Ni (mg/L)	C <sub>tu</sub> Cu+Ni (mg/L)	q <sub>Cu</sub> (mg/gk.mo.)	q <sub>Ni</sub> (mg/gk.mo.)	q <sub>Cu+Ni</sub> (mg/gk.mo.)	% giderim Cu	% giderim Ni	% giderim Cu+Ni
52.3	0	38.8	0	38.8	10.60	0	10.60	74.18	0	74.18
98.3	0	69.8	0	69.8	20.17	0	20.17	71.00	0	71.00
148.6	0	102.4	0	102.4	35.80	0	35.80	68.88	0	68.88
252.2	0	166.6	0	166.6	68.56	0	68.55	66.04	0	66.04
495.4	0	210.2	0	210.2	105.10	0	105.10	42.42	0	42.42
0	51.2	0	26.5	26.5	0	9.63	9.63	0	51.75	51.75
0	102.3	0	48.8	48.8	0	20.67	20.67	0	47.70	47.70
0	152.5	0	68.5	68.5	0	30.99	30.99	0	44.91	44.91
0	251.8	0	88.9	88.9	0	44.00	44.00	0	35.30	35.30
0	494.6	0	101.1	101.1	0	65.22	65.22	0	20.44	20.44
51.0	51.5	37.2	26.4	63.6	13.77	9.77	23.55	72.94	51.26	62.04
101.2	51.3	64.2	26.0	90.2	24.13	9.77	33.90	63.43	50.68	59.14
154.0	50.7	97.4	25.5	122.9	37.89	9.92	47.82	63.24	50.29	60.03
258.9	48.7	163.7	24.2	187.9	70.25	10.38	80.64	63.22	49.69	61.08
498.3	52.0	207.4	22.0	229.4	106.35	11.28	117.64	41.62	42.30	41.68
51.3	103.0	34.4	48.5	82.9	14.76	20.81	35.57	67.05	47.08	53.72
98.0	101.0	58.0	46.6	104.6	26.12	20.99	47.11	59.18	46.13	52.56
157.0	103.6	92.6	44.9	137.5	43.88	21.27	65.16	58.98	43.33	52.76
254.7	102.0	150.0	43.8	193.8	75.00	21.90	96.90	58.89	42.94	54.33
504.2	97.2	194.6	40.7	235.3	108.71	22.73	131.45	38.59	41.87	39.12
48.8	153.4	32.8	67.2	100.0	15.54	31.84	47.39	67.21	43.80	49.45
95.0	152.1	55.0	65.4	120.4	26.83	31.90	58.73	57.89	42.99	48.72
153.1	148.6	88.6	63.5	152.1	44.74	32.07	76.81	57.87	42.73	50.41
251.3	149.6	138.9	61.9	200.8	75.90	33.82	109.72	55.27	41.37	50.08
505.5	151.6	185.7	60.6	246.3	109.88	35.85	145.73	36.73	39.97	37.48
51.4	248.5	30.2	86.2	116.4	15.48	44.20	59.69	58.75	34.68	38.81
98.0	253.8	52.2	84.3	136.5	28.21	45.56	73.78	53.26	33.21	38.80
153.2	247.9	79.7	82.0	161.7	45.54	46.85	92.40	52.02	33.07	40.31
251.9	253.9	128.0	78.8	206.8	76.64	47.18	123.83	50.81	31.03	40.88
495.7	255.4	171.5	75.4	246.9	112.82	49.60	162.43	34.59	29.52	32.87
49.3	495.6	26.3	96.0	122.3	17.89	65.30	83.19	53.34	19.37	22.44
99.3	502.3	49.3	88.0	137.3	37.06	66.16	103.23	49.64	17.51	22.82
155.8	498.2	76.0	83.5	159.5	61.29	67.33	128.62	48.78	16.76	24.38
252.3	506.7	108.5	79.9	188.4	91.94	67.71	159.66	43.00	15.76	24.82
502.3	507.2	150.3	77.0	227.3	140.46	71.96	212.42	29.92	15.18	22.51

### 3.2.5.3.1.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Farklı oranlarda bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle 50.0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 0-500.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve yine Çizelge 3.27 her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde farklı nikel(II) derişimlerinde elde edilen maksimum biyobiriktirilen nikel(II) ve bakır(II) derişimleri, birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve bakır(II) miktarları ve % nikel(II) ve % bakır(II) giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek, her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimine etkisi Şekil 3.74'te sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün bakır(II) derişimlerinde, başlangıç nikel(II) derişiminin 500.0 mg/L'ye kadar artmasıyla maksimum biriktirilen nikel(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Bakır(II) derişiminin artması ise maksimum biriktirilen nikel(II) derişimini yine oldukça azaltmaktadır. Şekil 3.74 ve Çizelge 3.19'un değerlendirilmesiyle örneğin bakır(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *R. delemar* için her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 48.8 mg Ni/L, 0 mg Cu/L; birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan miktarları 20.67 mg Ni/g k. mo., 0 mg Cu/g k. mo.; %nikel(II) ve bakır(II) giderim değerleri sırasıyla %47.702, %0 iken, ortamda 100.0 mg/L nikel(II) ve 100.0 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 46.6 mg Ni/L, 58.0 mg Cu/L; birim kuru mikroorganizma kütlesi tarafından tutulan miktarları 20.99 mg Ni/g k. mo., 26.12 mg Cu/g k. mo.; %nikel(II) ve bakır (II) giderim değerleri sırasıyla %46.13, %59.18 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan iki iyonun mikroorganizmanın metal tutma kapasitesi üzerine ortak etkisinin antagonistik olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 3.74. 0-500.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *R. delemar* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.5.3.2. *C. lipolytica* çalışmaları

#### 3.2.5.3.2.1. Her bir sabit nikel(II) iyon derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

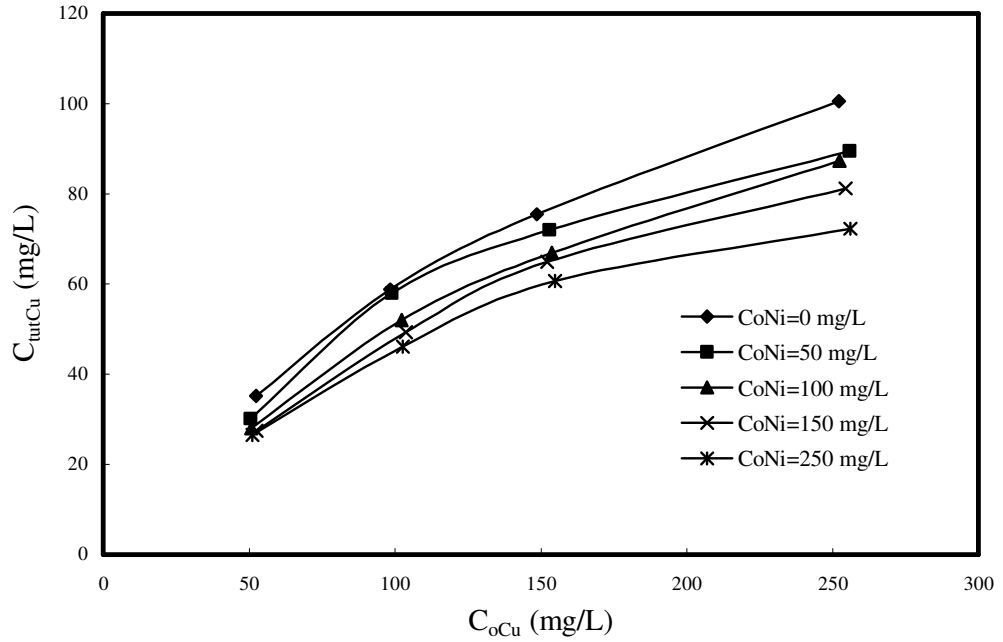
*C. lipolytica* ile bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda sabit sakkaroz derişiminde başlangıç bakır(II) derişimi 50.0-250.0 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen bakır(II) derişim seti için 0, 50.0, 100.0, 150.0 ve 250.0 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C<sub>oCu</sub>/C<sub>oNi</sub> oranı 1 ile 5 arasında değiştirilmiştir. Her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın maksimum tutulan bakır(II) derişimine etkisi Şekil 3.75'te; maksimum biriktirilen bakır(II) ve nikel(II) derişimlerine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) ve nikel(II) miktarlarına ve % bakır(II) ve nikel(II) giderim değerlerine etkisi ise Çizelge 3.28'de gösterilmiştir. Şekilden ve çizelgeden, her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar arttıkça her iki iyonun maksimum tutulan derişimlerinin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan miktarlarının arttığı, %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Nikel(II) derişiminin artması ise maksimum biriktirilen bakır(II) derişimini, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarını ve %bakır(II) giderim değerlerini oldukça azaltmaktadır. Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında *C. lipolytica* için her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 58.8mg Cu/L, 0 mg

Ni/L; birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan miktarları 21.53 mg Cu/g k. mo, 0 mg Ni/g k. mo; %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerleri sırasıyla %59.81, %0 iken, ortamda 100.0 mg/L bakır(II) ve 100.0 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğu her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 52.0 mg Cu/L, 39.5 mg Ni/L; birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan miktarları 24.64 mg Cu/g k. mo., 18.72 mg Ni/g k. mo.; %bakır(II) ve nikel(II) giderim değerleri sırasıyla %50.83, %38.20 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan iki iyonun mayanın kapasitesi üzerine ortak etkisinin antogonistik olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 3.28. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve %nikel(II) giderim değerleri

C <sub>0Cu</sub> (mg/L)	C <sub>0Ni</sub> (mg/L)	C <sub>tutCu</sub> (mg/L)	C <sub>tutNi</sub> (mg/L)	C <sub>tutCu+Ni</sub> (mg/L)	q <sub>Cu</sub> (mg/gk.mo.)	q <sub>Ni</sub> (mg/gk.mo.)	q <sub>Cu+Ni</sub> (mg/gk.mo.)	% giderim Cu	% giderim Ni	% giderim Cu+Ni
52.3	0	35.2	0	35.2	11.31	0	11.31	67.30	0	67.30
98.3	0	58.8	0	58.8	21.53	0	21.53	59.81	0	59.81
148.6	0	75.5	0	75.5	31.19	0	31.19	50.79	0	50.79
252.2	0	100.6	0	100.6	45.31	0	45.31	39.88	0	39.88
0	49.6	0	21.0	21.0	0	7.74	7.74	0	42.33	42.33
0	101.1	0	45.3	45.3	0	17.76	17.76	0	44.80	44.80
0	149.8	0	62.3	62.3	0	25.85	25.85	0	41.58	41.58
0	250.5	0	71.8	71.8	0	35.02	35.02	0	28.66	28.66
50.5	51.1	30.2	20.4	50.6	11.61	7.84	19.46	59.80	39.92	49.80
98.9	51.3	58.0	20.0	78.0	23.01	7.93	30.95	58.64	38.98	51.93
153.0	52.3	72.0	19.0	91.0	30.25	7.98	38.23	47.05	36.32	44.32
255.9	49.5	89.5	17.5	107	46.37	9.06	55.44	34.97	35.35	35.03
50.8	101.8	28.0	42.0	70.0	12.33	18.50	30.83	55.11	41.25	45.87
102.3	103.4	52.0	39.5	91.5	24.64	18.72	43.36	50.83	38.20	44.48
153.9	103.6	67.0	38.5	105.5	33.33	19.15	52.48	43.53	37.16	40.97
252.3	101.7	87.4	36.5	123.9	47.75	19.94	67.70	34.64	35.89	35.00
52.6	152.5	27.5	55.6	83.1	13.61	27.52	41.13	52.28	36.46	40.51
103.7	152.1	49.3	53.3	102.6	25.81	27.90	53.71	47.54	35.04	40.11
152.2	153.6	65.0	51.6	116.6	36.31	28.82	65.14	42.70	33.59	38.12
254.4	152.7	81.2	47.7	128.9	50.12	29.44	79.56	31.91	31.23	31.66
51.1	252.0	26.5	66.3	92.8	14.09	35.26	49.36	51.85	26.31	30.61
102.7	253.8	46.2	63.3	109.5	28.00	38.36	66.36	44.98	24.94	30.71
154.8	254.6	60.7	60.6	121.3	40.73	40.67	81.40	39.21	23.80	29.62
256.1	255.7	72.3	52.7	125.0	61.27	44.66	105.93	28.23	20.61	24.42



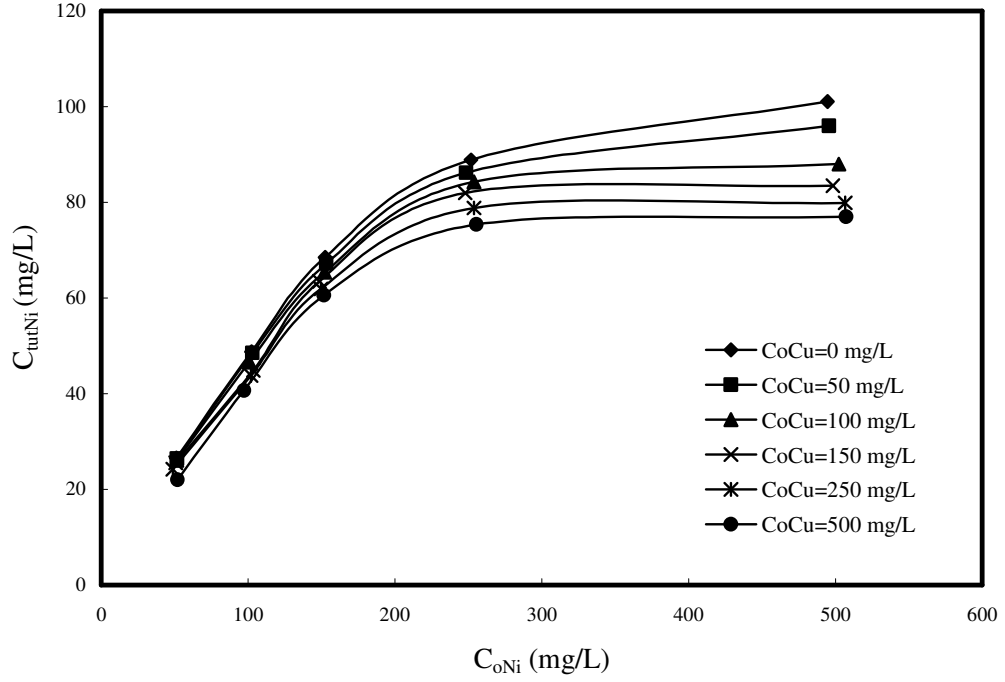


Şekil 3.75. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

### 3.2.5.3.2.2. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç nikel(II) iyon derişiminin etkisi

Farklı oranlarda bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle 50-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 0-250.0 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve yine Çizelge 3.28 her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde farklı nikel(II) derişimlerinde elde edilen maksimum biyobiriktirilen nikel(II) ve bakır(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve bakır(II) miktarları ve %nikel(II) ve %bakır(II) giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek, her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimine etkisi Şekil 3.76'da sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün bakır(II) derişimlerinde, başlangıç nikel(II) derişiminin 250.0 mg/L'ye kadar artmasıyla maksimum biriktirilen nikel(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Bakır(II) derişiminin artması ise maksimum biriktirilen nikel(II) derişimini yine oldukça azaltmaktadır. Şekil 3.76 ve Çizelge 3.20'nin değerlendirilmesiyle örneğin bakır(II) iyonu içermeyen ama 100.0 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *C. lipolytica* için her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 45.3mg Ni/L, 0 mg Cu/L; birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan miktarları 17.76 mg Ni/g k. mo., 0 mg Cu/g k. mo.; %nikel(II) ve bakır(II) giderim değerleri sırasıyla %44.80, %0 iken, ortamda 100.0 mg/L nikel(II) ve 100.0 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda her iki iyonun maksimum biriktirilen derişimleri 39.5 mg Ni/L, 52.0 mg

Cu/L; birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan miktarları 18.72 mg Ni/g k. mo., 24.64 mg Cu/g k. mo.; %nikel(II) ve bakır (II) giderim değerleri sırasıyla %38.20, %50.83 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan iki iyonun mayanın metal tutma kapasitesi üzerine ortak etkisinin antogonistik olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 3.76. 0-250.0 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T: 25°C, pH: 4.0, S<sub>o</sub>: 10 g/L, KH: 150 rpm)

#### 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan tez çalışmasında endüstriyel atıksularda oldukça sık rastlanan bakır(II)-nikel(II) tekli ve ikili ağır metal iyonu karışımlarının mantarlardan *Rhizopus delemar* ve mayalardan *Candida lipolytica* mikroorganizmaları tarafından adsorpsiyonu ve biyobirikimi kesikli düzende çalışan karıştırmalı kapta başlangıç pH'ının ve metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiştir. Genelde ağır metal kirliliği içeren atıksuların alıcı ortama deşarjı 25°C'de yapıldığından, adsorpsiyon ve biyobirikim deneylerinde sıcaklık 25°C olarak seçilmiştir.

Deneysel çalışmaların ilk kısmında adsorpsiyon deneyleri yapılmış ve adsorpsiyon çalışmalarında deneysel veriler, adsorpsiyon hızları (rad; mg metal iyonu/g kuru mikroorganizma-dk), adsorpsiyon denge değerleri ( $q_{den}$ ; mg metal iyonu/g kuru mikroorganizma ve  $C_{den}$ ; mg metal iyonu/L çözelti), adsorpsiyon ve toplam adsorpsiyon verimleri (%Ad; ((mg metal iyonu/L çözelti)/(g kuru mikroorganizma/L çözelti))<sub>den</sub> / (mg metal iyonu/L çözelti)<sub>t=0</sub>) ve (%AdTop; [((mg birinci metal iyonu/L çözelti)/(g kuru mikroorganizma/L çözelti))<sub>den</sub>+((mg ikinci metal iyonu/L çözelti)/(g kuru mikroorganizma/L çözelti))<sub>den</sub> / (mg birinci metal iyonu/L çözelti)<sub>t=0</sub>+ (mg ikinci metal iyonu/L çözelti)<sub>t=0</sub>]) cinsinden hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Ağır metal iyonlarının tekli ve ikili kombinasyonlarının adsorpsiyon çalışmalarına geçmeden önce her metal iyonu için adsorpsiyon pH'ının ve başlangıç metal iyonu derişiminin adsorpsiyon hızı ve verimliliğine etkisi araştırılmış ve adsorpsiyon sabitleri tayin edilmiştir.

Bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının *R. delemar*'a ve *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunda, başlangıç pH'ının adsorpsiyon hızı ve kapasitesini doğrudan etkileyen bir parametre olduğu görülmektedir. pH 4.0 değerinde bakır(II) ve nikel(II) iyonları maksimum adsorpsiyon gösterdiği bulunmuştur. Hücre yüzeyindeki proteinler metal bağlanmasında aktif rol oynadıklarından, pozitif yüklü metal iyonlarının izoelektrik noktanın altında katyonik karakter taşıyan protein moleküllerinin içerdiği grupların aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirdikleri düşünülebilir.

250.0-500.0 mg/L başlangıç metal iyonu derişimine kadar bakır(II) ve nikel(II) derişimindeki artışın, sürücü güç  $\Delta C$ 'nin artması nedeniyle, adsorpsiyon hızlarını ve dengede metal alma miktarlarını arttırdığı görülmüştür. Daha yüksek derişimlerde yüzeyin doğunluk derişimine ulaşmasından dolayı çalışılan derişim aralığında, bütün metal iyonları için, adsorpsiyonun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermine uyduğu gözlenmiş, her metal iyonun optimum adsorpsiyon gösterdiği pH'ta elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri toplu olarak Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Çizelgeden, elde edilen Freundlich adsorpsiyon sabitlerine dikkat edilirse, bütün metal iyonları için adsorpsiyon derecesinin adsorpsiyon olabilmesi için birden büyük olması ( $n>1$ ) şartının sağlandığı görülmektedir. Adsorpsiyon şiddetinin büyük olması, geniş bir derişim aralığında iyi bir adsorpsiyona işaret eder. Ayrıca  $K_F$  değerleri karşılaştırıldığında, bütün metal iyonları için adsorpsiyon kapasitelerinin büyük olduğu, en büyük adsorpsiyon kapasitesine ise bakır(II) iyonlarının sahip olduğu görülmektedir. Yine

Çizelge 4.1'den mikroorganizmalar için her metal iyonu için elde edilen Langmuir adsorpsiyon sabitleri karşılaştırıldığında, tek tabakalı adsorpsiyonda, mikroorganizmaların bakır(II) iyonları için en fazla sayıda aktif merkeze sahip olduğu da gözden kaçmamaktadır.

Çizelge 4.1. *R. delemar* ve *C. lipolytica* mikroorganizmaları için bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının optimum adsorpsiyon gösterdiği pH'ta elde edilen Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon sabitleri

Mikroorganizma Türü	Metal	pH	Langmuir		Freundlich	
			Q <sup>0</sup>	b	K <sub>F</sub>	n
<i>R. delemar</i>	Bakır(II)	4.0	125.00	0.033	14.236	2.624
	Nikel(II)	4.0	116.28	0.023	10.480	2.460
<i>C. lipolytica</i>	Bakır(II)	4.0	114.94	0.016	7.646	2.233
	Nikel(II)	4.0	108.69	0.015	6.810	2.178

Ağır metal iyonlarının ikili kombinasyonlarının *R. delemar*'a ve *C. lipolytica*'ya adsorpsiyon çalışmalarında, atıksularda sıklıkla birarada bulunan bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımları seçilmiştir. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımı çalışmaları, bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının en iyi adsorplanma optimum adsorpsiyon pH'larının aynı olması sebebiyle bu pH değerinde yapılmıştır. Deneyler, aynı pH'ta metal iyonlarından birinin başlangıç derişimi sabit tutulurken, diğlerinin başlangıç derişimi değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve ikili metal iyonu karışımlarının adsorpsiyon hızı ve dengede adsorplanan metal iyonu miktarları üzerine birleştirilmiş etkileri araştırılmıştır.

İkili metal iyonu karışımlarının adsorpsiyonunda, adsorpsiyon ortamının pH'ı, adsorbentin seçiciliğini ve adsorpsiyon hız ve verimliliğini, metal iyonu düzeyiyle birlikte doğrudan etkileyen en önemli parametrelerdendir. Bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımı çalışmalarında, her iki metal iyonu için de optimum adsorplanma pH'ları aynı olduğundan mikroorganizmaların pH'a bağlı seçimli metal adsorpsiyonu söz konusu değildir. Burada her iki metal iyonunun da mikroorganizmaların aktif merkezlerine adsorplanmak üzere yarışı söz konusudur ve bu durumda adsorpsiyon tam yarışmalı bir adsorpsiyon olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak her iki ikili metal iyonu karışımında, metal iyonlarından birinin derişimi sabit tutulup, diğeri artırıldığında, artan metal iyon derişimiyle o metal iyonunun adsorpsiyon hızının ve dengede adsorplanan miktarının arttığı, ancak sabit tutulan metal iyon derişimindeki artışın ise bu hızı ve dengede adsorplanan miktarı düşürdüğü gözlenmektedir. Bu durumda, metal iyonları kombinasyonundaki metal iyonu derişimine göre, mikroorganizmanın metal adsorplama kapasitesinin bir kısmı bir iyon, diğeri kısmı öteki iyon tarafından kullanılmaktadır. Aynı sonuçlarla diğeri metal iyonunun derişimi sabit tutulup, öbürü artırıldığında da karşılaşılmaktadır. Metal iyonlarının bu karşılıklı etkileşimi, olayın antogonistik, yani birbirinin etkisini azaltıcı yönde olduğunu göstermektedir.

pH 4.0'te bakır(II)-nikel(II) ikili metal iyonu karışımlarının Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerine uyumluluğunu araştırmak ve adsorpsiyon sabitlerini saptamak amacıyla bilgisayarda MS Excel programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla hesaplanan adsorpsiyon sabitleri kullanılarak teorik  $q_{den}$  değerleri bulunmuş, bu değerler deneysel  $q_{den}$  değerleriyle karşılaştırılarak sonuçta, ikili metal iyonu karışımlarının, çalışılan derişim aralığında *R. delemar*'a ve *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon modeline de uymakla beraber, Freundlich adsorpsiyon modeline daha iyi uyduğu gözlenmiştir.

Kesikli düzende karıştırılmalı tepkime kabında yapılan adsorpsiyon işlemi tek kademeli bir denge ayırma işlemidir ve bu prosesin kütle denklığı yapılarak kap tasarımına geçmek için denge eğrisi ve işletme doğrusu eşitliklerinin bilinmesi gerekir. Tez çalışmasında, iki bileşenli sisteme ait denge eşitlikleri ve eşitliklerdeki sabitler hesaplanmıştır. Çalışmaların daha sonraki aşamasında ise, her bileşene ait bu denge sabitleri kullanılarak, her bileşenin işletme doğrusu eşitlikleri türetilerek gerekli artım için atıksu hacmi ve mikroorganizma derişimi arasındaki bağıntı bulunacaktır. Böylece deneysel verilerden endüstriyel uygulanabilirliğe geçilecektir.

Sonuç olarak atıksulardaki bakır(II)-nikel(II) ikili ağır metal iyonu karışımlarının mantarlardan *R. delemar*'a ve mayalardan *C. lipolytica*'ya adsorpsiyonunun atıksuyun pH'ına ve atıksudaki metal iyonu derişimine bağılı olarak uygulanabileceği söylenebilir. Endüstriyel uygulamada, bakır(II)-nikel(II) karışımlarının aynı anda artımı adsorpsiyon verimini arttıracaktır.

Çalışmaların daha sonraki kısmında ise tek veya karışım halinde bakır(II) ve nikel(II) iyonlarını içeren ve oldukça düşük pH'a sahip toksik endüstriyel atıksuların, aktif çamur prosesleri gibi canlı mikroorganizmalarla çalışın biyolojik artım tesislerinde biyobirikim yöntemiyle gideriminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği *R. delemar* ve *C. lipolytica* ile araştırılmıştır. Bu amaçla düşük pH'larda üreyebilen ve ağır metal iyonlarına oldukça dirençli olan mikroorganizmalardan *Rhizopus delemar* ve *Candida lipolytica*'nın, sırasıyla ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında üreme kinetiği incelenmiş, daha sonra bakır(II) ve/veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında bu iyonların mikroorganizmaların üremesine inhibisyon etkisi araştırılmış ve en son olarak da bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mikroorganizmalara biyobirikimi incelenmiş ve metal giderme verimleri adsorpsiyon sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

Çalışmaların ilk kısmında metal iyonu içermeyen besin ortamında mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ının etkileri araştırılmış ve bütün mikroorganizmalar için maksimum üremenin pH 4.0'te gerçekleştiği görülmüştür.

Üremeyi kısıtlayıcı substrat (sakkaroz) ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkinin Monod eşitliğine uyduğu varsayılarak, farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde yapılan deneylerle her bir mikroorganizmaya ait bulunan kinetik sabitler Çizelge 4.2'de karşılaştırılmıştır. Çizelgeden *R. delemar*'ın maksimum özgül üreme hızına sahip olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.2. *R. delemar* ve *C. lipolytica* için pH 4.0'te Monod eşitliğinden bulunan maksimum özgül üreme hızı ( $\mu_m$ ) ve doygunluk sabiti ( $K_s$ ) değerleri

Mikroorganizma Türü	$\mu_m$ (sa <sup>-1</sup> )	$K_s$ (mg/L)
<i>R. delemar</i>	0.405	3.977
<i>C. lipolytica</i>	0.335	3.635

Ortamda metal iyonlarının bulunması mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Tekli metal iyonu çalışmalarında, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde *R. delemar*'ın 500.0 mg/L'ye ve *C. lipolytica*'nın 250.0 mg/L'ye kadar bakır(II) veya nikel(II) derişimi içeren besin ortamlarında üreyebildiği ve metal iyonlarını biriktirebildiği gözlenmiştir. Deneysel çalışmalar bu derişim aralıkları gözönüne alınarak planlanmıştır. Değişik oranlarda bakır(II)-nikel(II) ikili karışımlarını içeren besin ortamlarındaki üreme ve biyobirikim çalışmaları *R. delemar* ve *C. lipolytica* ile gerçekleştirilmiştir.

100.0 mg/L tekli bakır(II) veya nikel(II) derişimi içeren melaslı besin ortamında, başlangıç pH'mın mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimine etkileri incelenmiş ve yine pH 4.0'te bütün mikroorganizmalar için maksimum üremenin gerçekleştiği görülmüştür.

Çizelge 4.3'te sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışımdaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların üremesi üzerine etkisi sunulmuştur. Çizelgeden bütün mikroorganizmalar için, çalışılan sabit 100.0 mg/L başlangıç metal iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 10 g/L'de sabit tutulmasıyla her iki metal iyonu için de özgül üreme ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimlerinin azaldığı gözlenmiştir. Aynı etki toplam derişimin 100.0 mg/L bakır(II)-nikel(II) karışımı için de gözlenmektedir.

Çizelge 4.3. 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışımdaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların üremesi üzerine etkisi

	$S_o$ g/L	$C_{oCu}$ mg/L	$C_{oNi}$ mg/L	Bakır(II)		Nikel(II)	
				$\mu$ sa <sup>-1</sup>	$X_m$ g/L	$\mu$ sa <sup>-1</sup>	$X_m$ g/L
<i>R. delemar</i>	10.04	98.3	0.0	0.276	3.37	-	-
	9.95	-	102.3	-	-	0.222	2.36
	9.99	98.0	101.0	0.188	2.22	0.188	2.22
<i>C. lipolytica</i>	10.07	98.3	0.0	0.242	2.73	-	-
	9.95	-	101.1	-	-	0.211	2.55
	9.79	102.3	103.4	0.181	2.11	0.181	2.11

Bakır(II)/nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir mikroorganizma üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, bütün mikroorganizmalar için inhibisyonun yarışmalı

inhibisyona en iyi uyduğu belirlenmiş ve tekli ve ikili yarışmalı inhibisyon sabitleri hesaplanarak izelge 4.4'te sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Bakır(II)/nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir mikroorganizmanın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan yarışmalı inhibisyon model sabitleri

Mikroorganizma Türü	Bakır(II) İnhibisyonu	Nikel(II) İnhibisyonu	Bakır(II)+Nikel(II) İnhibisyonu	
	$K_{iCu}$	$K_{iNi}$	$K_{iCu}$	$K_{iNi}$
<i>R. delemar</i>	140.294	58.642	56.717	47.442
<i>C. lipolytica</i>	111.253	113.832	65.758	48.958

Çalışmaların son kısmında bakır(II) ve/veya nikel(II) metal iyonlarına oldukça dirençli olan mikroorganizma hücrelerinin üreme ortamındaki bu iyonları tekli veya karışım halinde biriktirebilme yeteneği ve kapasitesi araştırılmıştır. Öncelikle 100.0 mg/L bakır(II) veya nikel(II) içeren besin ortamında her bir mikroorganizmanın metal biyobirikirme hızı ve kapasitesi üzerine başlangıç pH'ının etkisi araştırılmış ve optimum üreme pH'ı olan 4.0'te maksimum biyobirikim kapasite değerleri elde edilmiştir. Daha sonra başlangıç bakır(II) veya nikel(II) derişiminin, sabit bakır(II) veya nikel(II) derişiminde ise mikroorganizmaların metal iyonu biyobirikim kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bakır(II)-nikel(II) karışım deneylerinde ise metal iyonlarından birinin başlangıç derişimi sabit tutulurken, diğerinin başlangıç derişimi değiştirilerek mikroorganizmaların metal iyonu biyobirikim kapasitesine metal iyon derişimlerinin birleştirilmiş etkileri araştırılmıştır. Çizelge 4.5'te sabit bakır(II)/nikel(II) derişiminde tekli ve ikili karışımdaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların metal biyobirikimi üzerine etkisi sunulmuştur. Çizelgeden bütün mikroorganizmalar için, sabit sakkaroz derişiminde başlangıç metal iyonu derişimindeki 100.0'den 200.0 mg/L'ye kadar olan artış, bütün mikroorganizmalarda biriktirilen metal iyonu derişimlerinin, biyobirikim kapasitelerinin önemli ölçüde artmasına, yüzde giderim değerlerinin ise azalmasına neden olmaktadır. *C. lipolytica*'nın bakır(II) ve nikel(II) biyobirikim kapasite ve giderim değerlerinin *R. delemar*'a oranla çok daha düşük olduğu yine aynı çizelgeden görülmektedir. İkili metal iyonu karışımlarında gözlenen başka bir durum da, ortamdaki ikinci metal iyonunun birincinin biyobirikim kapasitesini azaltmasıdır. Metal iyonlarının bu karışılıklı etkileşimi, olayın antagonistik, yani birbirinin etkisini azaltıcı yönde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.5. Tekli ve ikili karışımdaki bakır(II)/nikel(II) derişiminin mikroorganizmaların metal biyobirikimi üzerine etkisi

	Bakır(II)					Nikel(II)		
	C <sub>oCu</sub> (mg/L)	C <sub>oNi</sub> (mg/L)	C <sub>tutCu</sub> (mg/L)	q <sub>m</sub> (mg/g k. mo.)	%giderim	C <sub>tutNi</sub> (mg/L)	q <sub>m</sub> (mg/g k. mo.)	%giderim
<i>R. delemar</i>	98.3	0.0	69.8	20.17	71.00	-	-	-
	-	102.3	-	-	-	48.8	20.67	47.70
	98.0	101.0	58.0	26.12	59.18	46.6	20.99	46.14
<i>C. lipolytica</i>	98.3	0.0	58.8	21.54	59.81	-	-	-
	-	101.1	-	-	-	45.3	17.76	44.80
	102.3	103.4	52.0	24.64	50.83	39.5	18.72	38.201

Mikroorganizmaların, özellikle *R. delemar*'ın, ağır metal iyonlarına oldukça dirençli olduğu ve bakır(II) ve nikel(II) gibi ağır metal iyonlarının tekli ve ikili karışımlarını da oldukça yüksek bir kapasiteyle biyobirikirdiği bu tez çalışmasıyla gösterilmiştir. Tezde ayrıca bir tarımsal atık olan melasın atıksuya katılarak değerlendirilebileceği de kanıtlanmıştır. Sonuç olarak ağır metal kirliliği içeren atıksuların canlı mikroorganizmaların kullanıldığı biyolojik arıtım tesislerinde biyobirikim yöntemiyle arıtılabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.6 ve 4.7'de *R. delemar* ve *C. lipolytica* için tekli ve ikili bakır(II) ve nikel(II) iyon derişimlerinde 24 saat sonunda elde edilen birim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) miktarı ile 240 saat sonunda birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktilen bakır(II) ve nikel(II) miktarları karşılaştırılmıştır. Her iki mikroorganizma için de birim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) miktarları en yüksek derişimler hariç birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktilen bakır(II) ve nikel(II) miktarlarından daha yüksek çıkmıştır. Sonuçlar biyosorpsiyon dengesinin biyobirikim dengesine göre daha kısa sürede gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak biyosorpsiyon için hazırlanan hücrelerin üreme ve santrifüjlenerek toplama aşamaları ek süre gerektirmektedir. Doğal üreme ortamında eşzamanlı üreme ve biyobirikimin gerçekleşmesi de biyobirikimin avantajlı tarafıdır. *R. delemar*'ın her iki metal iyonu için de birim kuru mikroorganizma başına biyosorplama ve biyobiriktilme verimi *C. lipolytica*'dan fazladır. Ayrıca iki mikroorganizmanın da bakır(II) iyonlarını nikel(II) iyonlarına göre daha yüksek miktarda biyosorpladığı ve biyobirikirdiği bulunmuştur.



Çizelge 4.6. *R. delemar* ve *C. lipolytica* için tekli durumda birim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) iyonlarıyla birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktilen bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının karşılaştırılması

Mikroorganizma Türü	C <sub>oCu</sub> (mg/L)	C <sub>oNi</sub> (mg/L)	Biyosorpsiyon				Biyobirikim			
			q <sub>Cu</sub> (mg/gkmo)	q <sub>Ni</sub> (mg/gkmo)	Zaman Cu (sa)	Zaman Ni (sa)	q <sub>Cu</sub> (mg/gkmo)	q <sub>Ni</sub> (mg/gkmo)	Zaman Cu (sa)	Zaman Ni (sa)
<i>R. delemar</i>	50.0	50.0	39.0	33.0	24.0	24.0	10.60	9.63	240.0	240.0
	100.0	100.0	69.0	62.0	24.0	24.0	20.17	20.67	240.0	240.0
	150.0	150.0	82.0	73.0	24.0	24.0	35.80	30.99	240.0	240.0
	250.0	250.0	101.0	92.0	24.0	24.0	68.55	44.00	240.0	240.0
	500.0	500.0	-	-	24.0	24.0	105.1	65.22	240.0	240.0
<i>C. lipolytica</i>	50.0	50.0	30.0	28.0	24.0	24.0	11.32	7.75	240.0	240.0
	100.0	100.0	53.0	49.0	24.0	24.0	21.54	17.76	240.0	240.0
	150.0	150.0	65.0	62.0	24.0	24.0	31.29	25.85	240.0	240.0
	250.0	250.0	85.0	82.0	24.0	24.0	45.31	35.02	240.0	240.0

Çizelge 4.7. *R. delemar* ve *C. lipolytica* için ikili durumda birim kuru mikroorganizma başına biyosorplanan bakır(II) ve nikel(II) iyonlarıyla birim kuru mikroorganizma başına biyobiriktilen bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının karşılaştırılması

Mikroorganizma Türü	C <sub>oCu+Ni</sub> (mg/L)	Biyosorpsiyon		Biyobirikim	
		q <sub>Cu+Ni</sub> (mg/g k. Mo.)	Zaman Cu+Ni (sa)	q <sub>Cu+Ni</sub> (mg/g k. mo.)	Zaman Cu+Ni (sa)
<i>R. delemar</i>	100.0	62.0	24.0	23.55	240.0
	200.0	101.0	24.0	47.11	240.0
	300.0	112.0	24.0	76.82	240.0
	500.0	120.0	24.0	123.83	240.0
	1000.0	-	24.0	212.43	240.0
<i>C. lipolytica</i>	100.0	47.0	24.0	19.46	240.0
	200.0	79.0	24.0	43.36	240.0
	300.0	86.0	24.0	65.14	240.0
	500.0	101.0	24.0	105.93	240.0

## 5. KAYNAKLAR

Akar, T., Tunalı, S., 2006, Biosorption characteristics of *Aspergillus flavus* biomass for removal of Pb(II) and Cu(II) ions from an aqueous solution, Bioresource Technology, Volume 97, Issue 15, 1780-1787.

Aksu, Z., 1988, Atıksulardaki ağır metal iyonlarının yeşil alglerden *Chlorella vulgaris*'e adsorpsiyonunun kesikli düzende karıştırmalı ve akışkan yatak tepkime kaplarında incelenmesi, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Aksu, Z., Kutsal, T., 1990, A comparative study for biosorption characteristics of heavy metal ions with *Chlorella vulgaris*, Environ. Technol., 11, 979-987.

Aksu, Z., Sağ, Y., Kutsal, T., 1990, A comparative study of the adsorption of chromium(VI) ions to *Chlorella vulgaris* and *Zoogloea ramigera*, Environ. Technol., 11, 33-44.

Aksu, Z., Sağ, Y., Kutsal, T., 1992, The biosorption of copper(II) by *Chlorella vulgaris* and *Zoogloea ramigera*, Environ. Technol., 13, 579-586.

Aksu, Z., 1998, Biosorption of heavy metals by microalgae in batch and continuous systems, in wastewater treatment with algae, Landes Bioscience Publishers, Germany.

Aksu, Z., Tezer S., 2000, Equilibrium and kinetic modelling of biosorption of Remazol Black B by *Rhizopus arrhizus* in a batch system: effect of temperature, Sep. Pur Technol., 21, 285-294.

Aksu, Z., Dönmez G., 2000, The use of molasses copper(II) containing wastewaters effects on growth and bioaccumulation properties of *Kluyveromyces marxianus* Process Biochem., 36, 2000, 451-458.

Aksu, Z., Dönmez, G., 2001, Bioaccumulation of copper(II) and nickel(II) by the non-adapted and adapted growing *Candida Sp.*, Wat. Res., 15 (6), 1425-1434.

Aksu, Z., 2001, Equilibrium and kinetic modelling of cadmium(II) biosorption by *C. vulgaris* in a batch system: effect of temperature, Process Biochem., 36, 431-439.

Al-Asheh, S., Banat, F., Al-Rousan, D., 2003, Beneficial reuse of chicken feathers of heavy metals from wastewater, Journal of Cleaner Production 11, 321-326.

Atımtay, A., Yetiş, Ü., 1992, Atıksu Özellikleri ve Analizleri, Endüstriyel atıksu arıtım kitabı içinden, (Editörler; Tanyolaç, A., Çelebi, S.), TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayınları, Bölüm 3, 67-83, Ankara.

Becker, E. W., 1983, Limitations of heavy metal removal from waste water by means of algae, Water Res., 17, No:4, 459-466.

Bekbölet, M., Yenigün, O., Yücel, İ., 1999, Sorption studies of 2,4-D on selected soils, Water, Air and Soil Pollution, 111, 75-88.

Bellot, J.C., Condoret, J. S., 1993, Modelling of liquid chromatography equilibria, Process Biochemistry, 28, 365-376.

Bois, L., Borhonmé, A., Ribes, A., Pais, B., Raffin, G., Tessier, F., 2003, Functionalized silica for heavy metal ions adsorption, Colloids and Surfaces A:Physicochem. Eng. Aspects 221, 221-230.

Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, 1986, Gelişim Yayınları, 18. Cilt, 11253.

Calace, N., Nardi, E., Petronio, B. M., Pietroletti, M., Tosti, G., 2003, Metal ion removal from water by sorption on paper mill sludge, *Chemosphere*, 51(9), 797-803.

Cheremisinoff, Paul N., Ellerbusch, Fred, 1978, *Carbon adsorption handbook*, Ann Arbor Science, Michigan.

Clark, W. J., Viessman, W., Hanmer, M. J., 1971, *Water supply and pollution control*, International Textbook Company, 2nd ed., 285-566.

Crist, H. R., Oberholser, K., Shank, N., Nguyen, M., 1981, Nature of bonding between metallic ions and algal cell wall, *Environ. Science Technol.*, 15(10), 1212-1217.

Crist, H. R., Oberholser, K., Schwartz, D., Marzoff, J., Ryder, D., 1988, Interactions of metals and protons with algae, *Environ. Science and Technol.*, Vol. 22(7), 755-760.

Çalık, A., 1998, Atıksulardaki demir(III)-siyanür kompleks iyonlarının *R. arrhizus* ve *C. vulgaris* ile biyosorpsiyonunun aktif karbon adsorpsiyonuyla karşılaştırmalı olarak incelenmesi: Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Diamadopoulas, E., Samaras, P., Sakellaropoulos, G. P., 1972, The effect of activated carbon properties on the adsorption of toxic substances, *Water Science and Technology*, 25, 153-160.

Drzymala, J., Kapusniak, J., Tomasik, P., 2003, Removal of lead minerals from copper industrial flotation concentrates by xanthate flotation in the presence of dextrin, *Int. J. Miner. Process.* 70, 147-155.

D.S.İ., 1980, Metal kaplama sanayi atıksuları, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Yayını, Ankara, Kİ-703.

Dursun, A. Y., Uslu, G., Cuci, Y., Aksu, Z., 2002, Bioaccumulation of copper(II), lead(II) and chromium(VI) by growing *Aspergillus niger*, *Process Biochem.*, in press.

Eckenfelder, W. W., 1966, *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw Hill, USA, 100-118.

Forouchi, E., Gunn, D. J., 1983, Some effects on metal ions on the estimation of reducing sugars in biological media, *Biotech. Bioeng.* 25, 1905-1911.

Gardea-Torresdey, J. L., Becker-Hapak, M. K., Hosea, J. M., Darnal, D. W., 1990, Effect of chemical modification of algal carboxyl groups on metal ion binding, *Environ. Science and Technol.*, 24, 1372-1378.

Goodyear, K. L., Mc Neill, S., 1999, Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macro-invertebrates of different feeding guilds: a review, *The Science of the Total Environment*, 229, 1-19.

Göneç, I. E., 1991, Endüstriyel atıksuların ön arıtması, Su Kirlenmesi Araştırmaları Türk Milli Komitesi Teknoloji İletimi Semineri No:1, İstanbul Sanayi Odası, 16-19.

Gurnham, C. F., 1965, *Industrial waste water control*, Academic Press, USA, 168-199, 221-285, 339-357.

Haktanır, K., Arcaç, S., 1998, Çevre kirliliği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1503, 204-206, Ankara.

- Haritonidis, S., Malea, P., 1999, Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece, *Environ. Pollution*, 104, 365-372.
- Harris, P. O., Ramelow, G. R., 1990, Binding of metal ions by particulate biomass derived from *Chlorella vulgaris* and *Scenedemus Quadricauda*, *Environ. Science and Technol.*, Vol. 24, No:2, 220-227.
- Harward, D. O. Trapnel, B. M. W., 1964, *Chemisorption*, Butter Worths, 2nd Edition, USA, 60-260.
- Hasan, S. H., Talat, M., Rai, S., 2007, Sorption of cadmium and zinc from aqueous solutions by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), *Bioresource Technology*, Volume 98, Issue 4, 918-928.
- Hassler, J. W., 1974, *Purification with activated carbon*, Chemical Publishing Co., USA, 390.
- Ho, Y.-S., 2003, Removal of copper ions from aqueous solution by tree fern, *Water Research*, 37, 2323-2330.
- Holan, Z. R., Volesky, B., Prasetyo, I., 1993, Biosorption of cadmium by biomass of marine algae, *Biotech. and Bioeng.*, 41, 819-825.
- Humphrey, A. G., Millis, N. F., 1973, *Adsorption*, Biochemical Engineering, 2nd ed, Academic Press, Tokyo, 434.
- İlhan, S., Çabuk, A., Filik, C., Çalışkan, F., 2004, Effect of pretreatment on biosorption of heavy metals by fungal biomass, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, 11-17.
- Kapoor, A., Viraraghavan, T., 1997, Heavy metal biosorption sites in *Aspergillus niger*, *Biores. Technol.* 61, 221-227.
- Kargı, F., 1993, Çevre mühendisliğinde biyoprosesler, D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 234, İzmir.
- Karthikeyan, S., Balasubramanian, R., Iyer, C. S. P., 2007, Evaluation of the marine algae *Ulva fasciata* and *Sargassum sp.* for the biosorption of Cu(II) from aqueous solutions, *Bioresource Technology*, Volume 98, Issue 2, 452-455.
- Khummongkol, D., Canterford, G. S., Fryer, C., 1982, Accumulation of heavy metals in unicellular algae, *Biotech. and Bioeng.*, 24, 2643-2660.
- Kim, M.-S., Hong, K.-M., Chung, J. G., 2003, Removal of Cu(II) from aqueous solutions by adsorption process with anatase-type titaniumdioxide, *Water Research*, 37, 3524-3529.
- Kutsal, T., Aksu, Z., Sağ, Y., 1996, Endüstriyel atıksulardaki ağır metal karışımlarının çeşitli mikroorganizma türlerine adsorpsiyon yöntemi ile arıtımı, Tübitak, Ydabçağ-31, Kesin Rapor, Ankara.
- Lee, W.-Y., Wang, W.-X., 2001, Metal accumulation in the green macroalga *Ulva fasciata*: effects of nitrate, ammonium and phosphate, *The Science of the total Environment*, 278, 11-22.
- Li, Y., Zeng, X., Liu, Y., Yan, S., Hu, Z., Ni, Y., 2003, Study on the treatment of copper-electroplating wastewater by chemical trapping and flocculation, *Separation and Purification Technology*, 31, 91-95.

Macaskie, L. E., 1997, Bioaccumulation of heavy metals, and application to the remediation of acid mine drainage water containing uranium, Bacterial interaction with heavy metals in the environment, Workshop-Follow-up, 528-530.

Macaskie, L. E., Dean, A. C. R., 1989, Microbiol metabolizm, desolubilization and deposition of heavy metals, metal uptake by immobilized cell and application to the detoxification of liquid wastes, in Biological Waste Treatment, Alan, R.Liss Inc., 159-210.

Mameri, N., Boudries N., Addour, L., 1999, Batch zinc biosorption by a bacterial non-living *Streptomyces rimosus* biomass, Water Research, 33, 1347-1354.

Matis, K. A., Zouboulis, A. I., Lazaridis, N. K., Hancock, I. C., 2003, Sorptive flotation for metal ions recovery, Int. J. Miner. Process, 70, 99-108.

Mejare, M., Bülow, L., 2001, Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals, Trends in Biotechnology, 19 (2), 67-73.

Oğuz, M., 1986, Fizikokimyasal arıtım, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayını, No:13, 202, Ankara.

Özbelge, T., 1992, Atıksu fiziksel arıtım yöntemleri, Endüstriyel Atıksu Arıtımı kitabı içinde (Editörler; A. Tanyolaç, S. Çelebi), TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayını, 29, Ankara.

Pan, S.-C., Lin, C.-C., Tseng, D.-H., 2003, Reusing sewage sludge ash as adsorbent for copper removal from wastewater, Resources conservation and Recycling, 39, 79-90.

Pascucci, P. R., 1993, Simultaneous multielement study of the binding of metals in solution by an algal biomass; *Chlorella vulgaris*, Analytical Letters, 26(3), 445-455.

Patterson, J. W., 1977, Waste water treatment, Science Publishers Inc., U.S.A, 43-55, 59-67, 69-81.

Pavasant, P., Apiratikul, R., Sungkhum, V., Suthiparinyanont, P., Wattanachira, S., Marhaba, T. F., 2006, Biosorption of  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  using dried marine green macroalga *Caulerpa lentillifera*, Bioresource Technology, Volume 97, Issue 18, 2321-2329.

Pawlik-Skowronska, B., 2003, When adapted to high zinc concentrations the periphytic green alga *Stigeoclonium tenue* produces high amounts of novel phytochelatin-related peptides, Aquatic Toxicology, 62, 155-163.

Pekin, B., 1983 Biyokimya mühendisliği (Biyoteknoloji), 2. Kitap, E.Ü. Kim.Fak. Yayınları 4., İzmir, 409.

Pollard, S. T. J., Fowler, G. D., Sollars C. J., Perry, R., 1992, Low-cost adsorbents for waste and wastewater treatment a review, The Science of Total Environment, 116, 31-52.

Preetha, B., Viruthagiri, T., 2006, Bioaccumulation of Chromium (VI), Copper (II) and Nickel (II) ions by growing *Rhizopus arrhizus*, Biochemical Engineering Journal, In Press, Accepted Manuscript, Available online 2.

Ralph, A. L., 1967, Physiology and biochemistry of Algae, 3rd ed., Academic Press, USA.

Ross, S., Oliver, J. P., 1964, On Physical adsorption: John Wiley and Sons, USA, 9-11, 17-18, 126-127, 137-139.

Sağ, Y., 1993, Atıksulardaki ağır metal iyonlarının giderilmesi ve geri kazanılması için en uygun biyosorbent türünün seçilmesi ve değişik reaktör sistemlerinin matematiksel incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Sandell, E.B., 1961, Colorimetric Determination of Traces of Metals, 3rd ed., Interscience Publishers, USA., 388-409, 437-469, 522-553.

Shuler, M. L., Kargi, F., 2002, Bioprocess Engineering, 2<sup>nd</sup> ed. Prentice Hall PTR, USA.

Shumate, S. E., Standberg, G. W., McWhirter, D. A., Parrott, J. R., Bagacki, G. M., Locke, B. R., 1980, Separation of heavy metals from aqueous solutions using biosorbents-development of contacting devices for uranium removal, Biotech and Bioeng Symp., 10, 27-34.

Singh, D. M., Rupainwar, D. C., Prasad, G., Jayaprakas, K. C., 1998, Studies on the Cd(II) removal from water by adsorption, J. Hazardous Materials, 60, 29-40.

Sirianuntapiboon, S., Hongsrisuwan, T., 2007, Removal of Zn<sup>2+</sup> and Cu<sup>2+</sup> by a sequencing batch reactor (SBR) system, Bioresource Technology, Volume 98, Issue 4, 808-818.

Snell, F. D., Snell, C. T., 1959, Colorimetric methods of analysis, 3rd ed. Vol. 2, D. Van Nostrand Company, Canada, 1-46, 78-139, 279-337.

Su Kirliliği Yönetmeliği, 1988, Resmi Gazete, 4 Eylül, Sayı19919.

Sundstrom, D. W., Klei, H. E., 1979, Wastewater Treatment, Prentice Hall., Inc. U.S.A.

Teresa, M., Vasconcelos, S.D., Fernanda, M., Leal, C., 2001, Antagonistic interactions of Pb and Cd on Cu uptake, growth inhibition and chelator release in the marine algae *Emiliana huxleyi*, Marine Chemistry, 75, 123-139.

Ting, Y. P., Lawson, F., Prince, J. G., 1989, Uptake of cadmium and zinc by the alga *Chlorella vulgaris*; Part 1. Individual ion species, Biotech. Bioeng., 34, 990-999.

Treybal, R. E., 1980, Mass transfer operations, McGraw Hill, Kogakusha Ltd, Tokyo.

Tsekova, K., Petrov G., 2002, Removal of heavy metals from aqueous solution using *Rhizopus delemar* mycelia in free and polyurethane-bound form, Zeitschrift Fur Naturforschung. C, Journal Of Biosciences Volume 57, Issue 7-8, 629-633.

Tsekova, K., Petrov G., 2003, Phosphatase production and activity in copper (II) accumulating *Rhizopus delemar*, Enzyme and Microbial Technology, Volume 33, Issue 7, 926-931.

Tsezos, M., Volesky, B., 1981, Biosorption of uranium and thorium., Biotech. and Bioeng, 23, 583-604.

Uslu, O., Türkman, A., 1987, Su kirliliği ve kontrolü, TC. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları 1, 331-333, 336, Ankara.

Viel, P., Palacin, S., Descours, F., Bureau, C., Le Derf, F., Lyskawa, J., Salle, M., 2003, Electropolymerized poly-4-vinylpyridine for removal of copper from wastewater, Applied Surface Science, 212-213, 792-796.

Walker, Graeme M., 2000, Yeast physiology and biotechnology, Wiley and Sons, England.

Weber, J. R., 1972, Physicochemical Processes for Water Quality Control, Willey Interscience, USA.

Wehrheim, B., Wettren, M., 1994, Biosorption of cadmium, copper and lead by isolated mother cell walls and whole cells of *Chlorella fusca*, Appl. Microbiol. Biotechnol., 725-728.

WHO: "Recommendations", Guidelines for drinking water quality, Vol. 1, EFP782.39, WHO, Geneva, 1982, p. 82.

Wilde, E. W., Benemann, J., 1993, Bioremoval of heavy metals by the use of microalgae, Biotech. Adv., 11, 781-812.

**6. ÖZGEÇMİŞ**

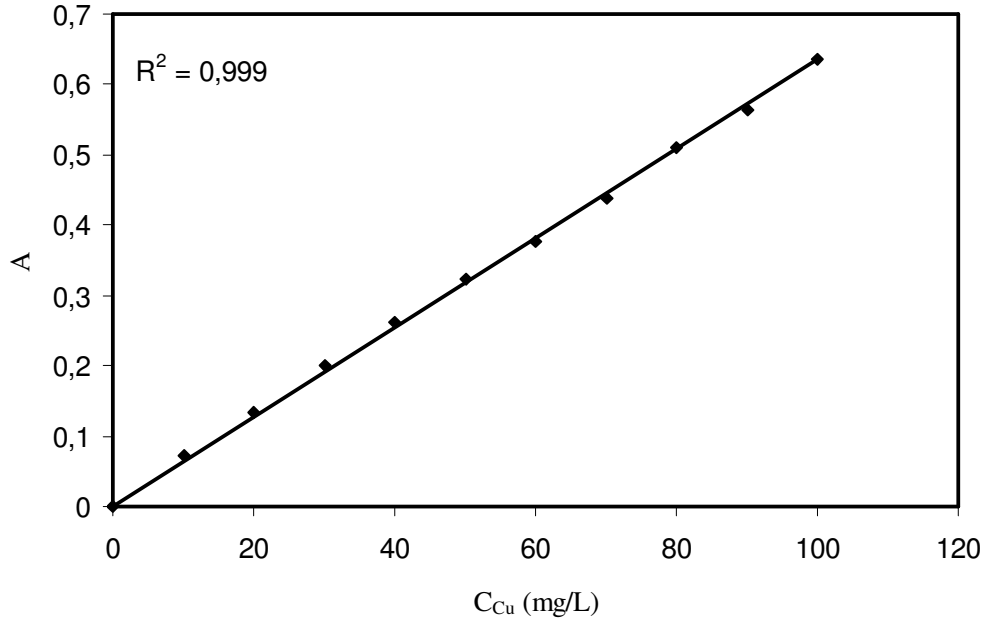
13.04.1981 tarihinde Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladıktan sonra 2003 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu.



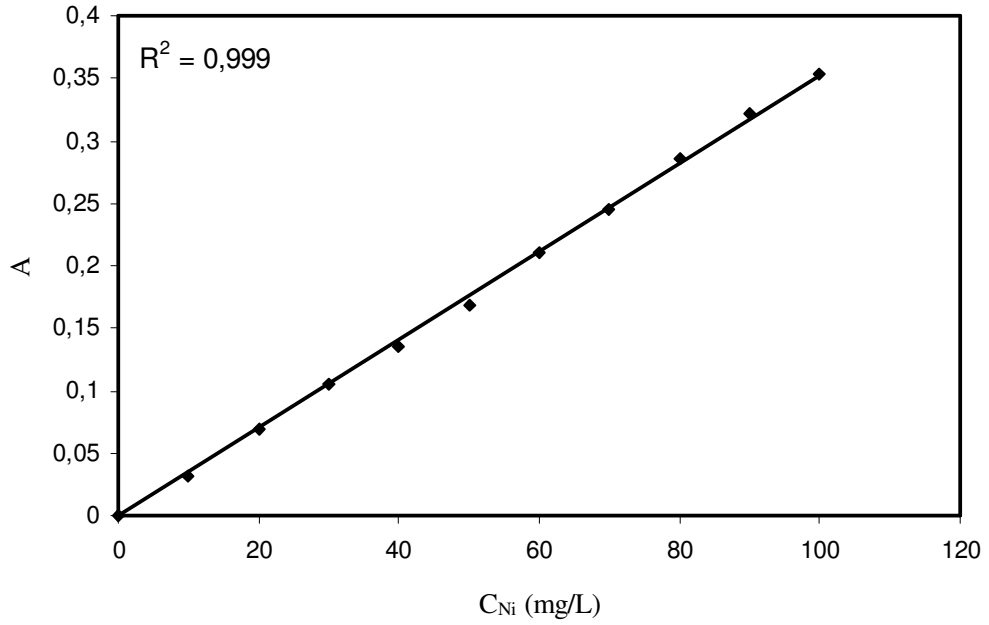
## 7. EKLER

### Ek 1. Bakır (II) ve Nikel(II) İyon Derişimlerinin Tayini

Ortamdaki serbest bakır(II) veya nikel(II) iyon derişiminin bulunması için aynı yöntem kullanılmış olup, bakır(II)/nikel(II)'nin sodyum dietil ditiyokarbomatla yaptığı sarı-kahveregi renkli kompleks yardımı ile spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Bakır(II) iyonunun sodyum dietil ditiyokarbomatla kompleks oluşturabilmesi ve kompleksin çökmemesi için ortam pH'ının 9.0'un üzerinde olması gerekmektedir. Çözelti 10.0-100.0 mg/L bakır(II) içerecek şekilde seyreltilir. Hazırlanmış örnekten 1 mL alınır ve sırasıyla 20 mL 1.5 N NH<sub>3</sub>, 0.2 mL %1'lik sodyum dietil ditiyokarbomat eklenir, hacim damıtık su ile 25 mL'ye tamamlanır. Spektrofotometrede 460 nm'de absorbansı okunur, çalışma doğrusundan mg/L cinsinden bakır(II) derişimine geçilir (Snell and Snell, 1959; Sandell, 1961; Aksu, 1988). Bakır(II) ve nikel(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğruları Şekil E.1 ve Şekil E.2'de verilmiştir.



Şekil E.1. Bakır(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu



Şekil E.2. Nikel(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu

## Ek 2. Melas Sakkarozu Derişiminin Tayini

Besin ortamdaki melas sakkarozunun derişimi, sakkarozun dinitrosalisilik asit ile yaptığı koyu turuncu renkli kompleks yardımı ile tayin edilir (Miller yöntemi). Bu yöntemde kullanılan analiz çözeltileri, hazırlama şekilleri ve analiz yöntemi aşağıda verilmiştir.

Analiz Çözeltileri:

a-DNS Çözeltisi: 10 g dinitrosalisilik asit, 10 g sodyum hidroksit ve 1.6 g fenol 1 L damıtık suda çözülür (Bu çözeltiyi kullanmadan hemen önce 100 mL'sine 1 mL %10'luk sodyum sülfid ilave edilir).

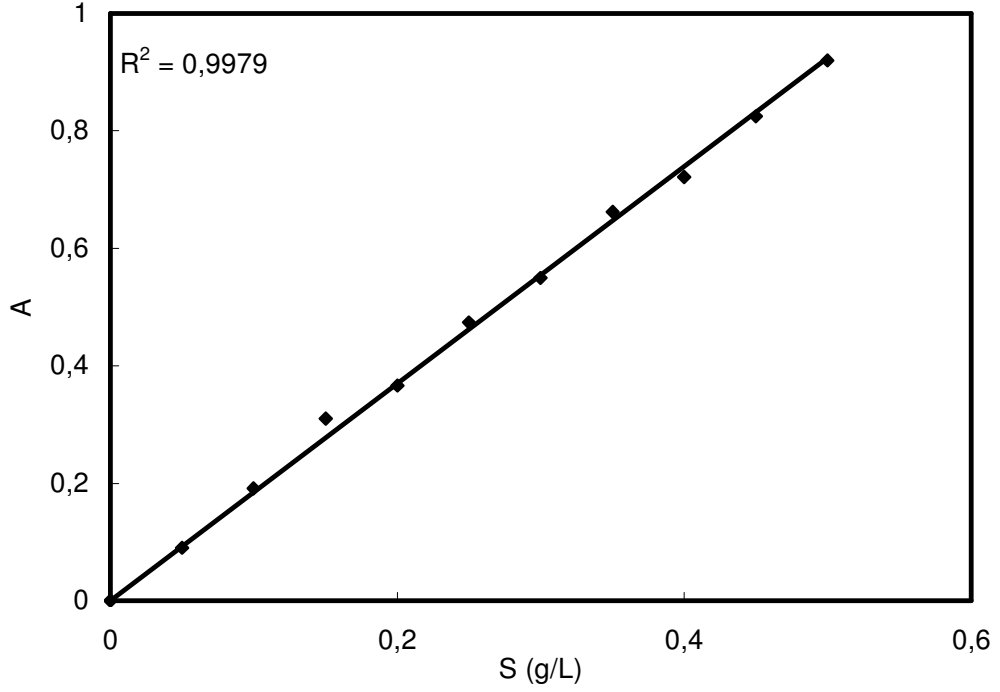
b-Rochella Tuzu Çözeltisi: 400 g potasyum sodyum tartarat 1 L damıtık suda çözülür.

c-Sodyum sülfid çözeltisi: 1 g sodyum sülfid 100 mL damıtık suda çözülür.

Yöntem:

Besin ortamından alınan örnek santrifüjlenerek mikroorganizmadan ayrılır. Çözelti içerisindeki şeker derişimi 0-0.5 g/L aralında olacak şekilde seyreltilir. Seyreltilen çözeltiden alınan 2 mL örnek bir deney tüpüne konur ve üzerine 2 mL DNS çözeltisi eklenerek kaynar suda 15 dk bekletilir. Kaynar su banyosundan alınan örneğin üzerine 1 mL Rochella tuzu çözeltisi konularak musluk suyunda soğutulur. Üzerine 5 mL damıtık su ilave edilerek 575 nm'de

absorbansı ölçülür. Kör çözeltisi olarak 2 mL örnek yerine 2 mL damıtık su konulan ve aynı işlemlerden geçirilen çözelti kullanılır.



Şekil E.3. Melas sakkarozu derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu

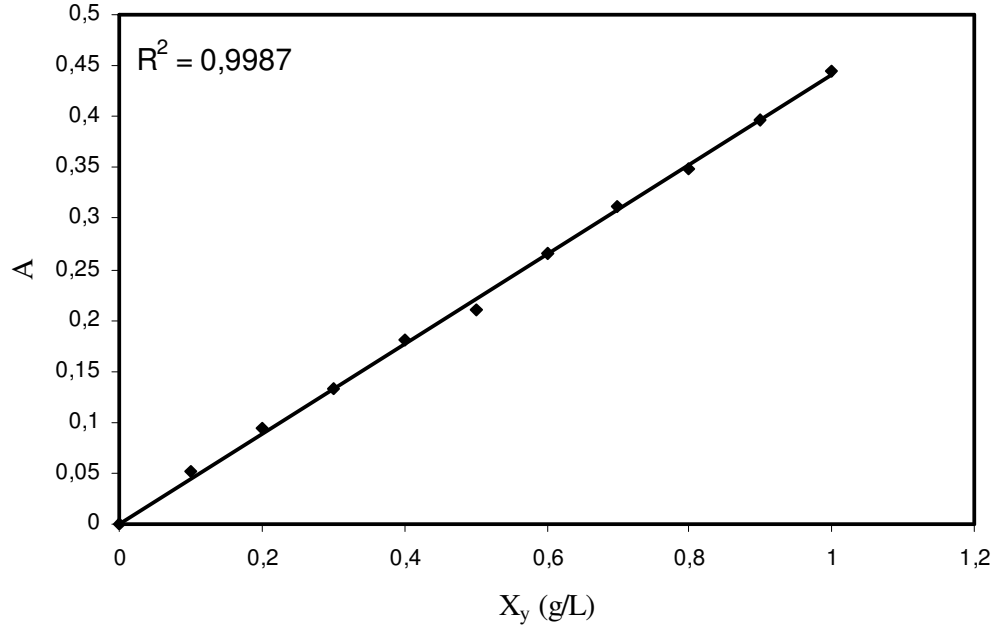
### Ek 3. Mikroorganizma Derişimi Tayini

Mikroorganizma derişimi spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Bunun için öncelikle 1 g/L'ye kadar farklı derişimlerde mikroorganizma içeren çözeltilerin, uygun dalga boyu olarak seçilen 360 nm'de absorbanslarının okunmasıyla *R. delemar* ve *C. lipolytica* için yaş mikroorganizma çalışma doğruları oluşturulmuştur (Şekil E.4, Şekil E.5).

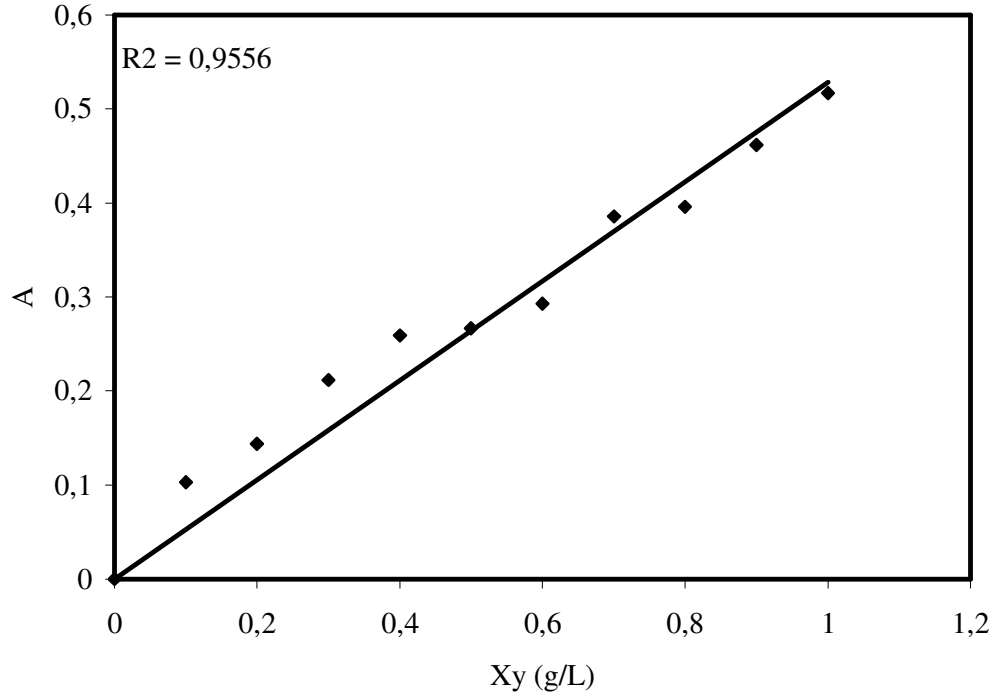
Verilerin değerlendirilmesinde kuru mikroorganizma ağırlığı kullanıldığından, yaş ve kuru ağırlık arasındaki ilişkiyi belirlemek gerekmektedir. Bunun için mikroorganizma sıvı ortamda üretilip santrifüjlenerek ayrılmış, ayrılan mikroorganizmalar farklı ağırlıklarda tartılarak 50°C'deki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlığa karşı yaş mikroorganizma ağırlığı grafiğe geçirilerek *R. delemar* ve *C. lipolytica* için yaş-kuru mikroorganizma çalışma doğruları elde edilmiştir (Şekil E.6, Şekil E.7).

Analiz için besin ortamından alınan 5 mL örnek 5000 devirde 10 dk santrifüjlenmiş, tüpte kalan mikroorganizma kütlesi saf su ile tekrar 5 mL'ye seyreltilerek 360 nm'de suya

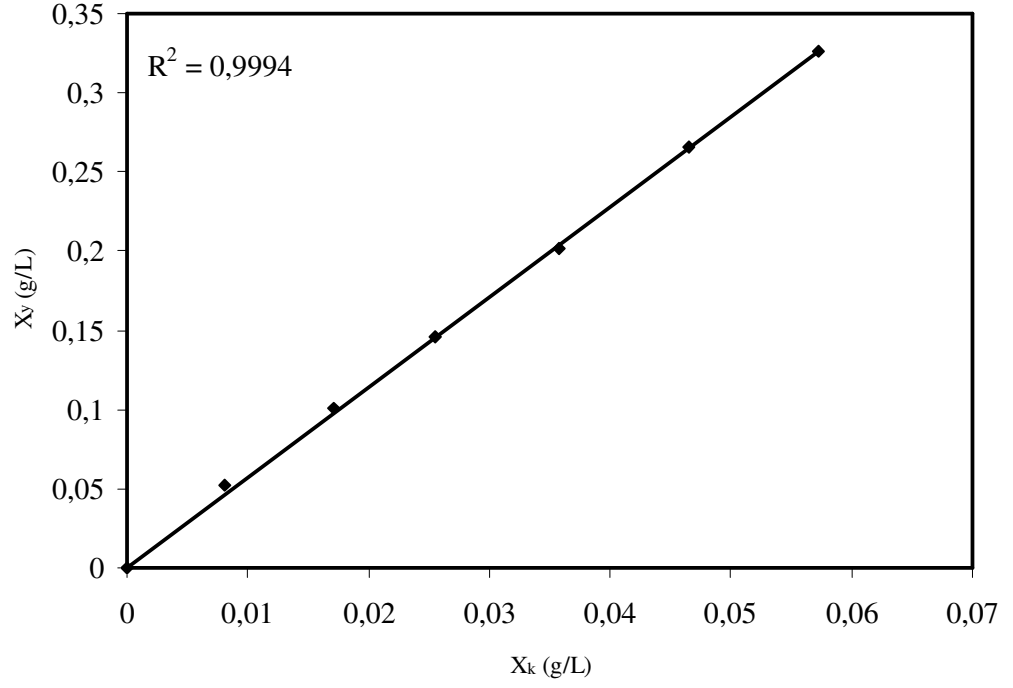
(kör çözeltisi) karşı absorbans okunmuş ve çalışma doğruları kullanılarak kuru mikroorganizma ağırlığı saptanmıştır.



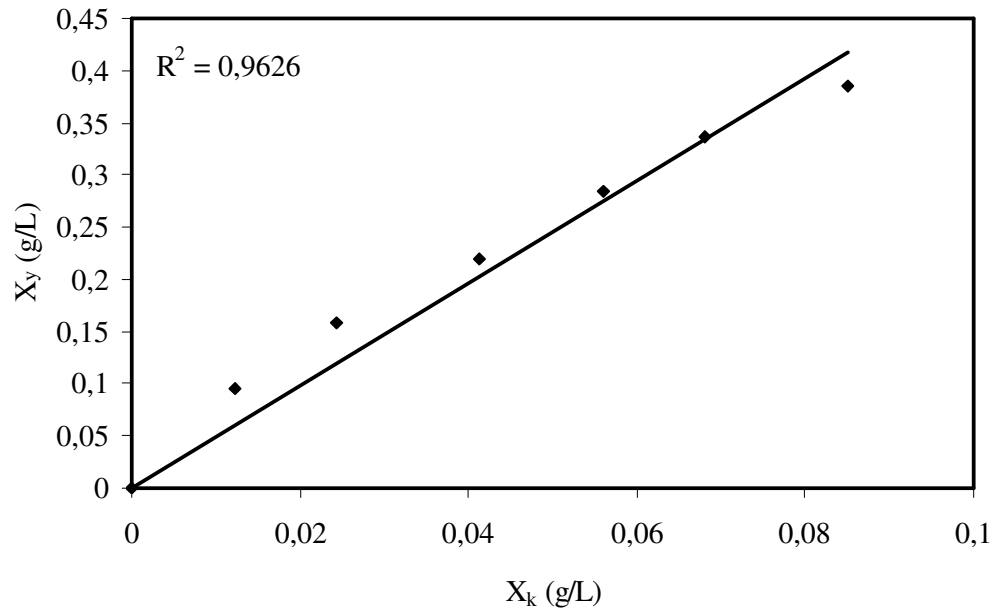
Şekil E.4. *R. delemar* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



Şekil E.5. *C. lipolytica* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



Şekil E.6. *R. delemar* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu



Şekil E.7. *C. lipolytica* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu