

**TEKLİ VE İKİLİ AĞIR METAL İYONU İÇEREN
SİSTEMLERDE ÇEŞİTLİ *Candida* TÜRLERİNİN BÜYÜME
KİNETİĞİNİN VE METAL BİYOBİRİKİMİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF GROWTH KINETICS AND METAL
BIOACCUMULATION BY DIFFERENT *Candida* SPECIES
IN SINGLE AND BINARY HEAVY METAL CONTAINING
SYSTEMS**

GÖKHAN PAŞAOĞLU

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

KİMYA Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2009

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....
Prof. Dr. Menemşe Gümüşderelioğlu

Üye (Danışman) :.....
Prof. Dr. Zümriye Aksu

Üye :.....
Prof. Dr. Süleyman Ali Tuncel

Üye :.....
Prof. Dr. Deniz Tanyolaç

Üye :.....
Prof. Dr. Gönül Dönmez

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Erdem Yazgan
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEKLİ VE İKİLİ AĞIR METAL İYONU İÇEREN SİSTEMLERDE ÇEŞİTLİ *Candida* TÜRLERİNİN ÜREME KİNETİĞİNİN VE METAL BİYOBİRİKİMİNİN İNCELENMESİ

Gökhan Paşaoğlu

ÖZ

Bu tez çalışmasında ağır metal iyonlarına oldukça dirençli olan *Candida utilis* ve *Candida tropicalis* mayalarına endüstriyel atıksularda istenmeyen derişimlerde bulunan tekli kadmiyum(II), tekli nikel(II) ve ikili karışımlarının biyobirikimi melas içeren besin ortamında ve kesikli düzende incelenmiştir.

Çalışmaların ilk kısmında metal iyonu içermeyen besin ortamında mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ının, sıcaklığın, karıştırma hızının ve başlangıç substrat (sakkaroz) derişiminin etkileri araştırılmış ve her iki maya için de maksimum özgül üreme hızının ve kuru mikroorganizma derişiminin pH 4.0'de, 30°C sıcaklık ve 120 rpm karıştırma hızında gerçekleştiği, substrat derişiminin 20 g/L'ye kadar artışıyla da özgül üreme hızının ve maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı gözlenmiştir. Özgül üreme hızı ile sakkaroz derişimi arasındaki ilişkiyi veren Monod eşitliğinden her bir mayaya ait maksimum özgül üreme hızı ve doygunluk sabiti değerleri bulunmuştur.

Çalışmaların daha sonraki kısmında, tekli kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamında, her iki mayanın yine pH 4.0'de maksimum özgül üreme hızında ürediği ve maksimum metal iyonu biriktirdiği belirlenmiştir. Tekli kadmiyum(II) veya nikel(II) iyonlarının çalışılan her bir mayanın üremesi üzerine inhibisyonunun yarışmalı inhibisyon modeline uyduğu saptanmıştır. Ayrıca, ikili kadmiyum(II)-nikel(II) karışımlarının mayalarının üremesi üzerine etkileri de sabit sakkaroz derişiminde bir metal iyonunun derişimi sabit tutulup diğerinin derişimi değiştirilerek incelenmiş ve bu kirleticilerin her bir mayanın üremesine ortak inhibisyon etkisinin yine yarışmalı olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmaların son kısmında tekli kadmiyum(II) veya nikel(II) iyonlarını içeren melas ortamında her bir mayanın biyobirikim hızı ve kapasitesi başlangıç sakkaroz ve başlangıç kirletici derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve kirletici biyobirikimi modellenerek model sabitleri bulunmuştur. Ayrıca her bir maya ile sabit sakkaroz derişiminde ağır metal iyonlarını farklı oranlarda birlikte içeren melas ortamlarında

her iki kirleticinin eşzamanlı biyobirikim çalışmaları gerçekleştirilmiş ve her bir sisteme ait kinetik sabitler bulunarak ortak iyon etkisi araştırılmıştır.

Deneysel sonuçlar, *C. utilis* ve *C. tropicalis* mayalarının her ikisinin de kadmiyum(II) iyonlarının yüksek derişimlerine dayanabildiğini ve bu metal iyonunu yüksek kapasitelerde biyobiriktirdiklerini, ancak, nikel(II) iyonları için iki mayanın da nikel(II) iyonlarına daha az direnç gösterdiğini ve kadmiyum(II) iyonlarına göre çok daha az nikel(II) iyonu biyobirikim kapasitelerine sahip olduklarını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, ağır metal, kadmiyum, nikel, biyobirikim, inhibisyon, maya, *C. utilis*, *C. tropicalis*, melas

Danışman: Prof. Dr. Zümriye AKSU, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

INVESTIGATION OF GROWTH KINETICS AND METAL BIOACCUMULATION BY DIFFERENT *Candida* SPECIES IN SINGLE AND BINARY HEAVY METAL CONTAINING SYSTEMS

Gökhan Paşaoğlu

ABSTRACT

In this study, bioaccumulation of single cadmium(II), single nickel(II) and binary mixtures of them, existing in industrial wastewaters at undesired levels, by the yeasts *Candida utilis* and *Candida tropicalis*, resistant to heavy metal ions, investigated in molasses containing growth medium at a batch system.

At the first part of the study, in the molasses medium containing no metal ions, the effects of initial pH, temperature, shaking rate and initial substrate (sucrose) concentration, on the specific growth rate and the maximum dried microorganism concentration of each yeast were investigated and the maximum growth was observed at pH 4.0, at 30°C and at 120 rpm shaking rate for both yeasts. It was also observed that the specific growth rate and the maximum dried microorganism concentration increased with increasing sucrose concentration up to 20 g/L. By using the Monod equation, that relates the specific growth rate to the initial sucrose concentration, maximum specific growth rate and saturation constant of each yeast were determined.

At the later part of the study, in the molasses medium containing single cadmium(II) or nickel(II) ions, each of the yeast again indicated the maximum growth and maximum metal bioaccumulation at pH 4.0. When the inhibition effects of these metal ions on the microbial growth were investigated, inhibition type was determined as competitive for each metal ion and for each yeast. Besides, the growth kinetics of each yeast was studied with the mixtures containing cadmium(II) or nickel(II) ions prepared at a constant sucrose concentration by varying the concentration of first metal ion as the second metal ion concentration was kept constant, and binary inhibition effects of these pollutants on the cell growth was determined as competitive again for each yeast.

At the last part of the study, bioaccumulation rate and capacity of each yeast was investigated as a function of initial sucrose and metal ion concentration in the molasses medium containing single cadmium(II) or nickel(II) ions and kinetic

model constants were determined by modelling the bioaccumulation. In addition, simultaneous cadmium(II) and nickel(II) bioaccumulation by each yeast was investigated in the molasses medium at a constant sucrose concentration with the mixtures containing cadmium(II) and nickel(II) together at different ratios and kinetic constants were determined by considering the effects of binary mixtures on bioaccumulation.

Experimental results showed that both the yeasts of *C. utilis* and *C. tropicalis* could resist to the high concentrations of cadmium(II) and bioaccumulated cadmium(II) at high levels, however, they had lower resistance for nickel(II) and they had lower capacity for nickel(II) bioaccumulation when compared to cadmium(II) bioaccumulation capacity.

Keywords: Wastewater, heavy metal, cadmium, nickel, bioaccumulation, inhibition, yeast, *C. utilis*, *C. tropicalis*, molasses

Advisor: Prof. Dr. Zümriye Aksu, Hacettepe University, Chemical Engineering Department.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın en başından itibaren bana yol gösteren, akademik bilgisini benimle paylaşan, öğrenim hayatım boyunca büyük yardımını gördüğüm tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Zümriye Aksu'ya,

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimini tamamladığım, mezunu olduğum için onur duyduğum Hacettepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümüne ve değerli tüm çalışanlarına,

Deney yöntemleri ve laboratuvar çalışmalarında bilgilerini paylaşan sayın Dr. Özlem Tunç'a,

Deney çalışmalarımın analiz kısmında yardımını gördüğüm Sayın Kim. Yük. Müh. Duygu Gülay'a,

Çalışmalarına beni kabul eden, bana yeni bir bakış açısı kazandıran, bilgisinden ve deneyiminden çok faydalandığım, kişiliğine ve sabrına hayran kaldığım Dr. Carlos F. Pena'ya,

Dostlukları ve destekleri ile yanımda olan, bana moral veren arkadaşlarım Kim. Yük. Müh. Ernur Söylemez ve Nük. En .Müh. Erhan Şenlik' e,

Destekleri ile zor anlarımda çok yardımını gördüğüm laboratuvar arkadaşlarım Arş. Gör. Pınar Karzek, Arş. Gör. Hande Günan' a ve Zeynep Uygur'a,

Hayatım boyunca her zaman desteklerini hissettiğim, eğitim ve öğrenimim için elinden gelen her şeyi yapan, sabır ve ilgilerini esirgemeyen, hep yanımda olan aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Gökhan PAŞAOĞLU

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZ	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxii
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
2. TEMEL BİLGİLER	3
2.1. Atıksular.....	3
2.1.1. Atıksular ve Genel Özellikleri	3
2.1.2. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri	9
2.1.2.1. Kadmiyum(II) Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri.....	10
2.1.2.2. Nikel(II) Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri.....	11
2.1.2.3. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Kirliliğini Birarada İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri.....	11
2.2. Mikroorganizmalar	12
2.2.1. Mikroorganizmaların Genel Özellikleri.....	12
2.2.2. Mikroorganizmaların Yapısı ve Besin Ortamı	13
2.2.2.1. Enerji kaynağı.....	13
2.2.2.2. Azot kaynağı.....	14
2.2.2.3. Mineral kaynağı	14
2.2.3. Mikroorganizmanın Büyümesine Etki Eden Fiziksel Parametreler....	14
2.2.3.1. pH.....	14
2.2.3.2. Sıcaklık	15
2.2.3.3. Çözünmüş Oksijen İhtiyacı	15

2.2.3.4. Engelleyici Maddeler (İnhibitörler).....	16
2.2.4. Mikrobiyal Üreme	16
2.2.5. Mayalar	18
2.2.5.1. <i>Candida Sp.</i>	23
2.3. Biyobirikim.....	24
2.3.1. Ağır Metal İyonlarının Biyobirikimi	26
3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI.....	30
3.1. Kesikli Sistemde Mikrobiyal Üreme.....	30
3.1.1. Mikroorganizma Özgül Üreme Hızı	30
3.1.2. Mikroorganizmanın Substrat Tüketim Hızı	30
3.1.3 Metal İyonu İçermeyen Ortamda Mikroorganizma Büyüme Kinetiği.....	31
3.1.4. Metal İyonu İçeren Ortamda Mikroorganizma Büyüme Kinetiği.....	31
3.1.4.1. Tek Bileşenli İnhibisyon Kinetiği	31
3.1.4.2. İki Bileşenli İnhibisyon Kinetiği.....	32
3.2. Kesikli Sistemde Metal Biyobirikimi	33
3.2.1. Mikroorganizmanın Metal Biyobirikim (Tutma) Hızı.....	33
3.2.2. Mikroorganizmanın Metal Biyobirikim Kinetiğinin Modellenmesi	34
4. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ	35
4.1. Mikroorganizmalar ve üretim Yöntemi	35
4.2. Mikroorganizmaların Metal İyonu İçeren Besin Ortamlarına Alıştırılması. 35	35
4.3. Deneyler	36
4.4. Analiz yöntemleri	36
4.4.1. Mikroorganizma Derişimi Analizi	36
4.4.2. Sakkaroz derişimi Analizi	37
4.4.3. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Derişimi Analizi	37
5.DENEYSEL SONUÇLAR.....	38

5.1. Metal İyonu İçermeyen Melaslı Besin Ortamında Maya Üreme Kinetiğinin İncelenmesi.....	39
5.1.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	39
5.1.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	39
5.1.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	40
5.1.1.3. Sıcaklığın Etkisi	42
5.1.1.4. Karıştırma Hızının Etkisi	43
5.1.1.5. Kinetik Sabitlerin Bulunması	44
5.1.2. <i>Candida tropicalis</i> Çalışmaları.....	45
5.1.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	45
5.1.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	46
5.1.2.3. Sıcaklığın Etkisi	48
5.1.2.4. Karıştırma Hızının Etkisi	49
5.1.2.5. Kinetik Sabitlerin Bulunması	50
5.2. Kadmiyum(II) içeren Melaslı Besin Ortamında Maya Üreme Kinetiğinin İncelenmesi	51
5.2.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	51
5.2.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	51
5.2.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	52
5.2.1.3. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	54
5.2.1.4. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	55
5.2.2. <i>Candida tropicalis</i> Çalışmaları	58
5.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi	58
5.2.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	59
5.2.2.3. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	61
5.2.2.4. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	62
5.3. Nikel(II) İçeren Besin Ortamında Maya Büyüme Kinetiğinin İncelenmesi65	
5.3.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	65

5.3.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	65
5.3.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi	66
5.3.1.3. Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi.....	68
5.3.1.5. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	69
5.3.2. <i>Candida tropicalis</i> Çalışmaları.....	72
5.3.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	72
5.3.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	72
5.3.2.3. Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi	74
5.3.2.5. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	75
5.4. Kadmiyum(II)-Nikel(II) Karışımlarını Birarada İçeren Melaslı Besin Ortamında Mayaların Büyüme Kinetiğinin İncelenmesi	78
5.4.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	78
5.4.1.1. Her Bir Sabit Nikel(II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum(II) İyon Derişiminin Etkisi	78
5.4.1.2. Her Bir Sabit Kadmiyum(II) İyon Derişiminde Başlangıç Nikel(II) İyon Derişiminin Etkisi	81
5.4.1.3. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	83
5.4.2. <i>Candida tropicalis</i> Çalışmaları.....	86
5.4.2.1. Her Bir Sabit Nikel(II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum(II) İyon Derişiminin Etkisi	86
5.4.2.2. Her Bir Sabit Kadmiyum(II) İyon Derişiminde Başlangıç Nikel(II) İyon Derişiminin Etkisi	88
5.4.2.3. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması	92
5.5. Mayalara Metal Biyobirikiminin İncelenmesi	94
5.5.1. Kadmiyum(II) İçeren Besin Ortamında Mayalara Kadmiyum(II) Biyobirikiminin İncelenmesi.....	94
5.5.1.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	94
5.5.1.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi.....	94
5.5.1.1.2. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	95
5.5.1.1.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	97

5.5.1.1.4. Kinetik Sabitlerinin Bulunması	98
5.5.1.2. <i>Candida tropicalis</i> Çalışmaları	99
5.5.1.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi	99
5.5.1.2.2. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	100
5.5.1.2.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	102
5.5.1.2.3. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması	103
5.5.2. Nikel(II) İçeren Besin Ortamında Mayalara Nikel(II) Biyobirikiminin İncelenmesi.....	104
5.5.2.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	104
5.5.2.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi.....	104
5.5.2.1.2. Başlangıç Nikel Derişiminin Etkisi	105
5.5.2.1.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	107
5.5.2.1.4. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması	108
5.5.2.2. <i>C. tropicalis</i> Çalışmaları	109
5.5.2.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi.....	109
5.5.2.2.2. Başlangıç Nikel Derişiminin Etkisi	110
5.5.2.2.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi.....	112
5.5.2.2.4. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması	113
5.5.3. Kadmiyum(II)-Nikel(II) İkili Metal İyonu Karışımlarını Birarada İçeren Besin Ortamlarında Mayalara Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Biyobirikiminin İncelenmesi.....	115
5.5.3.1. <i>Candida utilis</i> Çalışmaları	115
5.5.3.1.1. Sabit Nikel(II) Derişimlerinde Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	115
5.5.3.1.2. Sabit Kadmiyum(II) Derişimlerinde Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi.....	117
5.5.3.1.3. Kinetik Sabitlerin Bulunması.....	119
5.5.3.2. <i>C. tropicalis</i> Çalışmaları	121
5.5.3.2.1. Sabit Nikel(II) Derişimlerinde Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi	121

5.5.3.2.2.Sabit Kadmiyum(II) Derişimlerinde Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi.....	123
5.5.3.2.3. Kinetik Sabitlerin Bulunması.....	125
6. SONUÇLAR VE TARTIşMA.....	128
7. GENEL SONUÇLAR.....	136
KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	142
Ek 1. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) İyon Derişimlerinin Analizi.....	142
Ek 2. Mikroorganizma Derişimi Analizi.....	143
Ek 3. Melas Sakkarozu Derişiminin Analizi	146
ÖZGEÇMİş	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Mikroorganizma üreme evreleri	17
Şekil.2.2. Mayaların biyoteknolojik uygulamaları	22
Şekil 5.1. Başlangıç pH'ının <i>C.utilis</i> 'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	39
Şekil 5.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	41
Şekil 5.3. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. utilis</i> 'in üreme ve substrat tüketim eğrileri.....	41
Şekil 5.4. Sıcaklığının <i>C. utilis</i> ' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	43
Şekil 5.5. Karıştırma hızının <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	44
Şekil 5.6. <i>C. utilis</i> ' e ait $1/\mu-1/S_0$ grafiği.....	45
Şekil 5.7. Başlangıç pH' ının <i>C. tropicalis</i> ' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	46
Şekil 5.8. Başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C.tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	47
Şekil 5.9. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> ' in üreme ve substrat tüketim eğrileri.....	48
Şekil 5.10.Sıcaklığın <i>C. tropicalis</i> ' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi	49
Şekil 5.11. Karıştırma hızının <i>C. tropicalis</i> ' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi	50
Şekil 5.12. <i>C. tropicalis</i> ' e ait $1/\mu-1/S_0$ grafiği.....	50
Şekil 5.13. 50 mg/L kadmiyum(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.	51
Şekil 5.14. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	53
Şekil.5.15. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin <i>C. utillis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi	55

- Şekil 5.16. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 57
- Şekil 5.17. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 57
- Şekil 5.18. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 58
- Şekil 5.19. 50 mg/L kadmiyum(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'nın *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. 59
- Şekil 5.20. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....60
- Şekil.5.21. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....62
- Şekil.5.22. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 63
- Şekil 5.23. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 64
- Şekil 5.24. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 64
- Şekil 5.25. 50 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'nın *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....65
- Şekil.5.26. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi..... 67
- Şekil.5.27. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....69
- Şekil 5.28. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 70

- Şekil 5.29. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 71
- Şekil 5.30. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 71
- Şekil 5.31. 50 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'nın *C.tropicalis'* in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....72
- Şekil.5.32. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis'* in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....73
- Şekil.5.33. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis'* in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....75
- Şekil.5.34. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 76
- Şekil 5.35. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 77
- Şekil 5.36. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 77
- Şekil.5.37. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi 79
- Şekil 5.38. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi 82
- Şekil.5.39. *C. utilis* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması. 85
- Şekil.5.40. *C. utilis* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması. 85
- Şekil 5.41. *C. utilis* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması 86

- Şekil.5.42. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi..... 87
- Şekil 5.43. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi..... 90
- Şekil 5.44. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....93
- Şekil 5.45. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....93
- Şekil 5.46. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....94
- Şekil.5.47. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi.....97
- Şekil 5.48. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi.....98
- Şekil.5.49. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri...99
- Şekil.5.50. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi.....102
- Şekil 5.51. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi rpm). 103
- Şekil 5.52. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri..104
- Şekil.5.53. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....107
- Şekil.5.54. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....108

- Şekil 5.55. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....109
- Şekil.5.56. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....112
- Şekil.5.57. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....113
- Şekil 5.58. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....114
- Şekil.5.59. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis* tarafından tutulan kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi..... 117
- Şekil 5.60. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* tarafından tutulan nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....119
- Şekil.5.61. *C. utilis* için her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri. 120
- Şekil 5.62. *C. utilis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....121
- Şekil.5.63. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından tutulan kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi.....123
- Şekil 5.64. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından tutulan nikel(II) derişimi üzerine etkisi.....125
- Şekil.5.65. *C. tropicalis* için her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri..126
- Şekil 5.66. *C. tropicalis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri..... 127
- Şekil 6.2. *C. utilis* ve *C. tropicalis*' in 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L tekli kadmiyum(II) ve 100 mg/L tekli nikel(II) içeren besin ortamlarında her bir kirletici için elde edilen biyobirikim eğrileri..... 133
- Şekil E.1. *C. utilis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu 144
- Şekil E.2. *C. tropicalis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu 144
- Şekil E.3. *C. utilis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu..... 145

- Şekil E.4 *C. tropicalis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu..... 145
- Şekil E.5. Melas sakkarozu derişiminin analizi için kullanılan çalışma doğrusu.147

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri	5
Çizelge 2.2. Atıksuların atıksu alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar	6
Çizelge 5.1. <i>C. utilis</i> ' in Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim hızı değerleri	42
Çizelge 5.2. <i>C. tropicalis</i> ' in farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim hızı değerleri.....	48
Çizelge 5.3. <i>C. utilis</i> ' in her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri.....	54
Çizelge 5.4. Kadmiyum(II) iyonlarının <i>C. utilis</i> 'in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri.	56
Çizelge 5.5. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> ' in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri	61
Çizelge 5.6. Kadmiyum(II) iyonlarının <i>C. tropicalis</i> ' in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri	63
Çizelge 5.7. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri.....	68
Çizelge 5.8. Nikel(II) iyonlarının <i>C. utilis</i> 'in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri	70
Çizelge 5.9. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> ' in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri	74
Çizelge 5.10. Nikel(II) iyonlarının <i>C. tropicalis</i> ' in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri.	76

- Çizelge 5.11. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri 80
- Çizelge 5.12. Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri 83
- Çizelge 5.13. Kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. utilis* 'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri 84
- Çizelge 5.14. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri 88
- Çizelge 5.15. Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri 91
- Çizelge 5.16. Kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. tropicalis* 'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri 92
- Çizelge 5.17. Başlangıç pH'ının *C.utilis*'in kadmiyum(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına etkisi. 95
- Çizelge 5.18. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen kadmiyum(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarı ve % kadmiyum(II) giderim değerleri 96
- Çizelge 5.19. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri 99
- Çizelge 5.20. Başlangıç pH'ının *C.tropicalis*'in kadmiyum(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına etkisi 100
- Çizelge 5.21. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen kadmiyum(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarı ve % kadmiyum(II) giderim değerleri 101

- Çizelge 5.22. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri 104
- Çizelge 5.23. Başlangıç pH'nın nikel(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi..... 105
- Çizelge 5.24. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen nikel(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve % nikel(II) giderim değerleri. 106
- Çizelge 5.25. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri 109
- Çizelge 5.26. Başlangıç pH'nın *C.tropicalis*'in nikel(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi..... 110
- Çizelge 5.27. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve % nikel(II) giderim değerleri. 111
- Çizelge 5.28. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri 114
- Çizelge 5.29. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen kadmiyum(II) ve nikel(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarları ve % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderimleri 116
- Çizelge 5.30. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri 118
- Çizelge 5.31. *C. utilis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) derişimleri için ve her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler ve R^2 değerleri..... 120
- Çizelge 5.32. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri 122

- Çizelge 5.33. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri 124
- Çizelge 5.34. *C. tropicalis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) derişimleri için ve her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler ve R^2 değerleri 126
- Çizelge 6.1. *C. utilis* ve *C. tropicalis* için Monod eşitliğinden bulunan maksimum özgül üreme hız (μ_m) ve doğunluk sabiti (K_s) değerleri. 129
- Çizelge 6.2. Sabit kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde sakkaroz derişiminin ve sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışimdaki kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin *Candida utilis* ve *Candida tropicalis*' in üremesi üzerine etkileri 131
- Çizelge 6.3. Kadmiyum(II)/nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir mayanın üremesi üzerine yaptığı yarışmalı inhibisyonda elde edilen model sabitleri 132
- Çizelge 6.4. Sabit kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde sakkaroz derişiminin ve sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışimdaki kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin *Candida utilis* ve *Candida tropicalis*' in biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri..... 135

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_{oCd}	: Başlangıç kadmiyum(II) derişimi (mg Cd(II)/L)
C_{oNi}	: Başlangıç nikel(II) derişimi (mg Ni(II)/L)
C_{tut}	: Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) metal iyonu derişimi (mg/L)
C_{tutCd}	: Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) kadmiyum(II)derişimi (mg Cd(II)/L)
C_{tutNi}	: Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) nikel(II) derişimi (mg Ni(II)/L)
I	: İnhibisyona neden olan bileşen derişimi (mg/L)
I_1, I_2	: İnhibisyona neden olan birinci ve ikinci bileşen derişimleri (mg/L)
K_i	: İnhibisyon sabiti (mg/L)
K_{iCd}	: Kadmiyum(II)'ye ait inhibisyon sabiti (mg/L)
K_{iNi}	: Nikel(II)'ye ait inhibisyon sabiti (mg/L)
K_{i1}, K_{i2}	: Birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitleri (mg/L)
$K.H.$: Karıştırma hızı (rpm)
K_s	: Doygunluk sabiti (g/L)
S	: Substrat derişimi (g/L)
S_o	: Baslangıç substrat derişimi (g/L)
t	: Zaman (sa)

q_m	: Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan metal miktarı (mg/g kuru mo.)
q_{mCd}	: Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarı (mg Cd(II)/g kuru mo.)
q_{mNi}	: Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı (mg Ni(II)/g kuru mo.)
X	: Kuru mikroorganizma derişimi (g kuru mo./L)
X_0	: Başlangıç kuru mikroorganizma derişimi (g kuru mo./L)
X_m	: Maksimum kuru mikroorganizma derişimi (g kuru mo./L)
X_{mo}	: Mikroorganizma Derişimi (g/L)
Ortalama % Hata	: Ortalama yüzde hata
% Giderim	: % metal giderim değeri
v	: Mikroorganizmanın metal biyobirikim hızı (mg/g kuru mo. sa)
v_{Cd}	: Mikroorganizmanın kadmiyum(II) biyobirikim hızı (mg Cd(II)/g kuru mo. sa)
v_{Ni}	: Mikroorganizmanın nikel(II) biyobirikim hızı (mg Ni(II)/g kuru mo. sa)
α	: Luedeking and Piret modeline ait kinetik sabit (mg/g)
β	: Luedeking and Piret modeline ait kinetik sabit (mg/g sa)
η	: Substrat tüketim hızı (g substrat/g kuru mo. Sa)
μ	: Mikroorganizma özgül üreme hızı (1/sa)

- μ_{teo} : Teorik olarak elde edilen özgül üreme hızı (1/sa)
- μ_{den} : Deneysel olarak elde edilen özgül üreme hızı (1/sa)
- μ_m : Maksimum özgül üreme hızı (1/sa)
- v : Mikroorganizmanın metal biyobirikim hızı
(mg/g kuru mo. sa)
- v_{Cd} : Mikroorganizmanın kadmiyum(II) biyobirikim hızı
(mg Cd(II)/g kuru mo. sa)
- v_{Ni} : Mikroorganizmanın nikel(II) biyobirikim hızı
(mg Ni(II)/g kuru mo. sa)

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

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).

Taşıdıkları 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 BOI (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, pil ve batarya endüstrileri atıksuları önemli miktarda kadmiyum(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 (bioaccumulation) yeteneğinden yararlanarak ağır metal kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Genel olarak bu

çalışmalarda sakkaroz, glukoz gibi şekerleri içeren yapay besin ortamlarının kullandığı gözlenmiştir. Eğer besin ortamında yüksek oranda sakkaroz ve tuz bileşenleri içeren melas gibi atıklar kullanılacak olursa, mikroorganizmanın üretimini daha ekonomik olacağı düşünülebilir (Patterson, 1977; Atımtay ve Yetiş, 1992; Aksu, 1998; Aksu and Dönmez, 2000; Dönmez and Aksu, 2001).

Bu tez çalışmasının amacı, kesikli sistemde, *Candida utilis* ve *Candida tropicalis* mayalarının ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında üreme kinetiğinin incelenmesi, kadmiyum(II) ve/veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mayaların üremesine inhibisyon etkisinin araştırılması ve bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mayalara biyobirikim yöntemi ile gideriminin incelenmesidir.

Çalışmaların ilk kısmında mikroorganizmaların özgül üreme hızına ve maksimum mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ı, başlangıç substrat (sakkaroz) derişimi, sıcaklık ve karıştırma hızının etkileri araştırılmış, her bir mayaya ait kinetik sabitler Monod eşitliği kullanılarak bulunmuştur. Ortamda metal iyonlarının bulunması mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Tekli kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında, metal iyonlarının her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. Daha sonra, bu mayalar için kadmiyum(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 kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren besin ortamlarında her bir mayanın metal biyobirikirme kapasitesi başlangıç metal iyon derişiminin ve başlangıç substrat derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve metal biyobirikimi modellenerek model sabitleri bulunmuştur. Son olarak bu mayalar için sabit substrat derişiminde kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren melaslı besin ortamında her iki metal iyonunun eşzamanlı biyobirikimi çalışmaları bir metal iyonunun derişimi sabit tutulup diğeri değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve mayaların metal biyobirikimine ortak iyon etkisi araştırılmıştır.

2. TEMEL BİLGİLER

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; Atımtay ve Yetiş, 1992).

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, viskozitesi, 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 (Su Kirliliği Yönetmeliği, 1988).

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.

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

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları*			
	A	B	C	D
A. Genel fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler				
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. Çözünmüş 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 ₄ ⁺ -N/l)	0.2	1	2	>2
8. Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/l)	0.002	0.01	0.05	>0.05
9. Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	5	10	20	>50
10. Toplam fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/l)	0.02	0.16	0.65	>0.65
11. Toplam çözünmüş madde (mg/l)	500	1500	5000	>5000
12. Renk(Pt-Co standardı)	5	50	300	>300
13. Sodyum (mg/l)	125	125	250	>250
B. Organik parametreler				
1. KOI (mg/l)	25	50	70	>70
2.BOI ₅ (mg/l)	4	8	20	>20
3. Organik karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Emülsifiye yağ ve gres (mg/l)	0.02	0.3	0.5	>0.5
5. Alkil benzen sülfonat (mg/l)	0.05	0.2	1	>1.5
C. İnorganik endüstriyel kirlenme parametreleri				
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. Arsenik (µg/l)	20	50	100	>100
5. Bakır (µg/l)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) (µg/l)	20	50	200	>200
7. Krom (+6) (µg/l)	0	20	50	>50
8. Kobalt (µg/l)	10	20	200	>200
9. Nikel (µg/l)	20	50	200	>200
10. Çinko (µg/l)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) (µg/l)	10	50	100	>100
12. Florür (µg/l)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor (µg/l)	10	10	50	>50
14. Sülfür (µg/l)	2	2	10	>10
15. Demir (µg/l)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan (µg/l)	100	500	3000	>3000
17. Baryum (µg/l)	1000	2000	2000	>2000
18. Alüminyum (mg/l)	0.3	0.3	1	>1
D. Organik endüstriyel kirlenme parametreleri				
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
E. Biyolojik parametreler				
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 ₄ ⁻²	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)	-	40
Toplam fosfor (P) (mg/l)	-	10
As (mg/l)	3	10
Toplam CN ⁻ (mg/l)	10	10
Ağır Metaller		
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 ⁻ (mg/l)	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

ii) Dengeleme Havuzları: Atıksularda debi, bileşim ve kirlilik yükünün zaman içindeki değişimlerinin dengelenmesini ve arıtma tesislerine giden atık su 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 kabin 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 (Floatasyon): Atıksularda bulunan sıvı ve katı maddelerin yüzdürülerek su yüzeyinde toplanmasını ve sıyrılmasını 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 çökemeyen yağ damlacıkları da bu yöntemle yüze 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 çözünmüş organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından giderilmesi sağlanır. Mikroorganizmalar bu maddeleri aerobik koşullarda besin ve enerji kaynağı olarak kullanır. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücresine, 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 koloidal maddelerin uzaklaştırılması amacıyla uygulanmaktadır. Bu maddeler alıılmış 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 bir araya 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)_2), kostik soda (NaOH) ve soda (Na_2CO_3) kimyasal çöktürmede yaygın olarak kullanılan kimyasallardır.

v) Dezenfeksiyon: Su ya da atıksuda bulunan hastalık yapıcı mikroorganizmaların öldürülmesi işlemidir. Bu amaçla a) Oksitleyici maddeler b) Ağır metal katyonları (Ag, Au, Hg) c) Organik Bileşikler d) Isı, UV, pH gibi fiziksel faktörler uygulanabilmektedir (Atımtay ve 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 et al., 1971; Weber, 1972; Patterson, 1977).

2.1.2. Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri

Kalıcı kirleticiler olarak nitelendirilen ve bir organizmadan diğerine besin zinciri ile geçerek yüksek yapılı organizmalarda birikme özelliğine sahip olan ağır metalleri içeren atıksuların kullanım amacı ve su standartlarına göre kontrolünün yapılması ve bu iyonların atıksudaki miktarlarının istenilen seviyelere düşürülmesi gereklidir. Atıksulardaki diğer organik kirleticiler, biyolojik bozulmayla zararsız hale gelebildikleri halde, ağır metallerin bu yolla zararsız bileşiklere dönüşmeleri mümkün değildir. Bu özelliğinden dolayı ağır metal içeren atıksular insan ve çevre sağlığı için oldukça tehlikelidir ve sulardan uzaklaştırılmaları zorunludur (Denizli ve Salih, 1995).

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 (Metcalf and Eddy, 1991).

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(II), magnezyum(II), demir(II), ve düşük derişimlerde alüminyum(III), mangan(II) 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, 1971; D.S.İ., 1980; Aksu, 1988).

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

1. İndirgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemle yüksek değerlikli metal çökebilen bir şekline indirgendikten sonra nötralize edilir. Reaktifin aşırısı metali çökeltir ve istenilen metal ortamdaki 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: havalandırma, sedimentasyon, filtrasyon. 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 çökeltir ve ortamdaki uzaklaştırılır.

2.1.2.1. Kadmiyum(II) Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri

Maden, metal kaplama, elektrokaplama, metal işleme, boya ve pil endüstrileri atıksularında istenmeyen derişimlerde kadmiyum(II) kirliliğine rastlanmaktadır.

Kadmiyum(II) içeren atıksularda kadmiyum; Cd(II) veya Cd(I) (çok düşük derişimlerde), amin, halojen veya siyanürlü organik kompleksleri şeklinde bulunur. Kadmiyum düşük pH aralığında (pH 2-4.5) kadmiyum(II) olarak bulunurken, daha yüksek pH' larda (pH 8-11) Cd(OH)₂ şeklindedir.

İndirgeyerek çöktürme, iyon değiştirme, buharlaştırarak geri kazanma ve elektroliz gibi yöntemler ile bu iyonların atıksudan arıtımı sağlanır. (Gurnham, 1965; Beyazıt ve Peker, 1998).

2.1.2.2. Nikel(II) Kirliliği İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri

Kaplama banyoları, plastik kaplama, elik, pil ve boya endüstrileri atıksuları ise yüksek derişimlerde nikel(II) iyonlarını içerir. Nikel atıksularda çoğunlukla pH 2-4.5 aralığında nikel(II) olarak bulunurken aynı pH'larda düşük derişimlerde Ni(I) ve Ni(III) olarak da bulunabilir. Nikel(II) iyonlarının arıtımında kullanılan klasik yöntemler çöktürme, iyon-değiştirme, buharlaşma ve ters osmoz'dur. (Gurnham, 1965; Patterson, 1977; Gönenç, 1991).

2.1.2.3. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Kirliliğini Birarada İçeren Atıksular ve Arıtım Yöntemleri

Maden, metal kaplama, metal işleme, pil ve boya endüstrileri atıksularında yüksek derişimlerde kadmiyum(II)-nikel(II) kirliliğine rastlanmaktadır. Kadmiyum(II)-nikel(II) kirliliğini içeren atıksularda kadmiyum; kadmiyum(II) şeklinde bulunurken, nikel ise nikel(II) şeklinindedir. Kadmiyum(II)-nikel(II) kirliliğini bir arada içeren atıksuların pH'ı ise oldukça düşük ve genellikle pH 2-4.5 aralığındadır. İndirgeyerek çöktürme, iyon değiştirme, buharlaştırarak geri kazanma gibi yöntemler ile bu iyonların atıksulardan arıtımı sağlanır (Patterson, 1977; Gönenç, 1991).

Bu klasik yöntemler, ekonomik ve pratik olmamakla birlikte, atıksulardaki aşırı metal kirliliğini kabul edilebilir seviyelere indirmek için kullanılır. Ancak endüstriyel atıksuların içerdikleri metallerin ekonomik olarak geri kazanımı için, metal iyonlarının mikroorganizmalara bağlanması ve biriktirilmesi, atıksu arıtımında hızla gelişen bir alandır.

2.2. Mikroorganizmalar

2.2.1. Mikroorganizmaların Genel Özellikleri

Mikroorganizmaları çeşitli şekillerde gruplandırabilmek mümkündür. Mikroorganizmalar ribozomal RNA dizi analizlerine göre genel olarak üç ana grupta incelenebilir;

1. Bakteriler

Hücre yapıları ökaryotlara benzerdir. Çoğu bakteri bu gruba girer.

2. Arkebakteriler

Genellikle uç çevre koşullarında yaşarlar. Metan üreten bakteriler olarak adlandırılan metanojenler bu gruba aittir. Yine bu grupta yer alan termoasidofiller de yüksek sıcaklık ve düşük pH değerlerine sahip ortamlarda büyüebilirler. Sadece çok yüksek tuz derişimindeki ortamlarda büyüeyebilen halobakterilerde bu grubun diğeri bir üyesidir.

3. Ökaryotlar

Oldukça gelişmiş canlılar grubudur. Hücre yapılarında farklılıklar vardır. Mantarlar (şapkalı mantarlar, küfler ve mayalar), tek hücreli hayvanlar (protozoalar) ve su yosunları (algler) bu gruba girerler.

Bu iki 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. Mikroorganizmalar doğada, su ve toprakta, bazı gıda maddelerinde, gelişmiş canlıların deri ve bağırsaklarında, organik maddelerde hemen her yerde bulunurlar (Pekin, 1983; Aksu, 1988; Kargı, 1993; Walker, 2000).

Kullandıkları besin yönünden inorganik hammadde kullanarak çoğalan mikroorganizmalara litotrof, organik besini kullanarak çoğalanlara organotroflar denir. İhtiyacı olduğu karbonu organik bileşiklerden sağlıyorsa hetotrof, CO₂'den sağlıyorsa ototrof mikroorganizma denir. Enerji kaynağı olarak güneş ışığı

kullananlara fototrof, enerjiyi kimyasal maddelerden sağlayan mikroorganizmalara kemotrof denir. Ayrıca oksijen ihtiyacına göre de aerobik, anaerobik, fakültatif ve mikroarofilik olmak üzere dört gruba ayrılırlar.

2.2.2. Mikroorganizmaların Yapısı ve Besin Ortamı

Mikroorganizmalar uygun koşullarda büyür, gelişir ve çoğalırlar. Uygun olmayan ortamlarda üreyemezler, ya ölürler ya da bu ortamlara dayanacak şekilde adapte olurlar.

Mikroorganizmalar yapılarında (virüsler hariç) yaklaşık % 75-80 oranında su içerirler. Bakteri, maya ve tek hücreli alglerin kuru ağırlıklarının % 50'si ise proteinden içerebilirler ve bu proteinlerin çoğu enzim yapısındadır. 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.

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.

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.

Besin ortamında bulunan ve mikroorganizmanın büyümesini ve çoğalmasını etkileyen en önemli faktör olan besin maddeleri, mikroorganizmanın ihtiyacına göre enerji, azot ve mineral kaynağı olarak üçe ayrılırlar.

2.2.2.1. Enerji kaynağı

Ototrof mikroorganizmalar, büyüme ve sentez için gerekli enerjiyi karbon kaynağı olarak karbondioksiti veya çözeltideki bikarbonatları kullanarak içediği klorofil a ve b pigmentleri katalizörlüğünde güneş enerjisinden sağlar. Karanlıkta ise gerekli enerjiyi glukoz ve sakkaroz gibi organik kökenli karbon kaynaklarından temin eder. Heterotrof mikroorganizmalar ise büyüme ve sentez için gerekli enerjiyi karbon kaynağı olarak kullandıkları nişasta, şeker, organik asitler, yağlar ve hidrokarbonlardan elde eder. Özellikle şeker (glukoz, sakkaroz, laktoz, maltoz,

fruktoz) türü maddeler bu mikroorganizmaların büyümesini etkileyen ve üremeyi sınırlayan ana besin maddesidir.

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. (Ralph, 1967; Aksu, 1988).

2.2.2.2. Azot kaynağı

Azot kaynağı olarak birçok hallerde NH_4 ve 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 Fiziksel Parametreler

2.2.3.1. pH

Besin ortamındaki hidronyum iyonu derişimi (pH) mikroorganizmaların besinlerden yararlanma verimleri üzerinde etkilidir. Düşük ve yüksek pH' lar mikroorganizmaların hücre zarında bulunan ve hücre içerisine besin transfer sağlayan enzimlerin aktivitesini, dolayısıyla hücre gelişimini ve mikrobiyal üreme hızını etkiler. Dış ortamın asidik olması hücre içerisine hidronyum iyonu transferine sebep olurken, bazik olması hidroksit iyonu transferini artırır ve her durumda da hücre içerisindeki organellerin çalışması olumsuz etkilenerek hücre gelişimi yavaşlar.

Üreme için optimum pH, ürün oluşumu için gerekli olan optimum pH' tan farklı olabilir. Genellikle kabul edilebilir pH aralığı optimumdan ± 1 ile 2 pH birimi kadar

değişebilir. Farklı mikroorganizmalar farklı pH optimumlarına sahip olabilir; bir çok bakteriler için optimum pH 3.0–8.0, 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 tutacak 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 seçimlilik sağlamak için kullanılabilir.

Çoğu fermentasyonda pH önemli ölçüde değişebilir. Burada kullanılan 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 aminoasitlerin kullanımı veya bazların üretimi nedeni ile de değişebilir. CO₂'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, 1992).

2.2.3.2. Sıcaklık

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

2.2.3.3. Çözülmüş Oksijen İhtiyacı

Mikroorganizmanın gelişmesinde çok önemli bir faktör de çözülmüş oksijendir. Mikroorganizmaların verimli gelişimi için, havadan besin ortamı yüzeyine difüzyonla gerçekleşen oksijen transferinin yanı sıra karıştırma ile de oksijenin substratla devamlı teması da sağlanmalıdır (Pekin, 1983; Kargı, 1993; Walker,

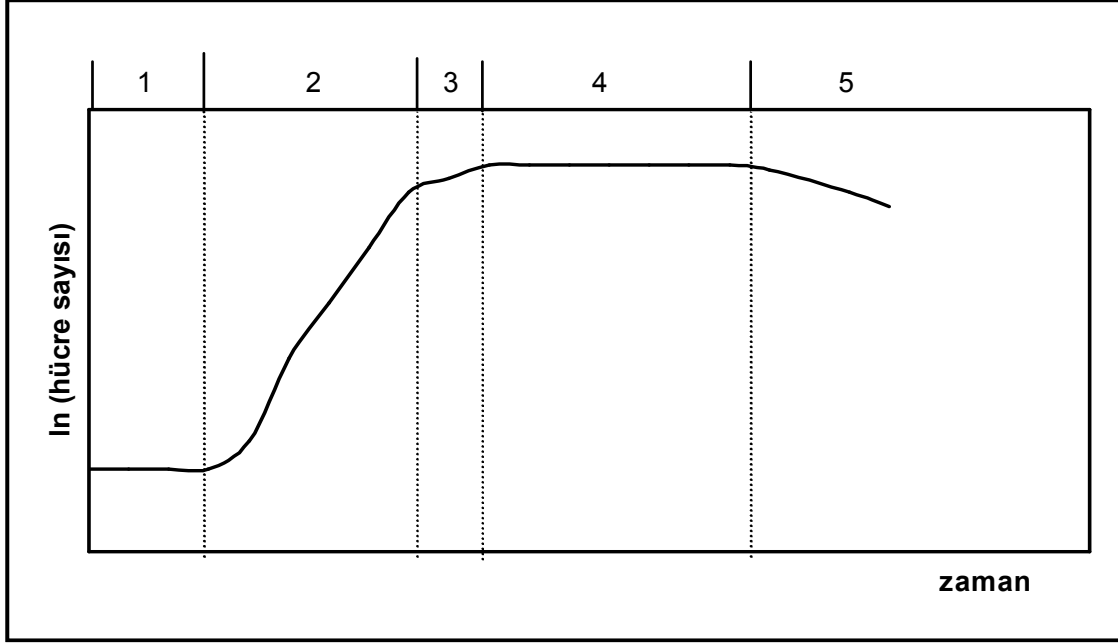
2000). Birçok fermentasyon prosesinde başlangıçta substratta mevcut olan oksijen, CO₂ veya H₂ oluşmasıyla substrattan veya substrat üstündeki hava tabakasından sürülüp atılır. Bazı durumlarda ise daha iyi bir oksijensiz koşul yaratmak için fermentasyon sıvısı içine CO₂ veya N₂ sevk edilir (Shuler ve Kargı, 1992).

2.2.3.4. Engelleyici Maddeler (İnhibitörler)

Besin ortamında, mikroorganizmaların üremesini ve üreme hızını yavaşlatan toksik ve engelleyici (inhibitör) bileşikler bulunabilir. Ağır metal iyonları, pestisitler, fenol vb. bazı kimyasallar en önemli inhibitörlerdir. Ayrıca, yüksek substrat veya ürün derişimi de mikroorganizma üzerinde inhibisyon etkisine neden olabilir. Örneğin, etil alkol veya sitrik asit fermentasyonlarında ürün inhibisyonu görülebilir (Kargı, 1992). Mikroorganizmalar arasındaki yapısal farklılıklardan dolayı, her tür mikroorganizmanın belirli bir inhibitör karşısındaki davranışı farklı olmaktadır. Örneğin, belirli bir inhibitör bazı türlerin yaşamını tamamen durdururken, diğer türler üzerinde çok az etkili veya etkisiz olabilir. Ayrıca, mikroorganizmanın inhibitör karşısındaki davranışı inhibitör derişimine bağlı olabildiği gibi, inhibisyon derecesi ortam koşullarına bağlı olabilir. Tüm koşulların aynı olması halinde bile, aynı mikroorganizma, fizyolojik durumuna bağlı olarak belirli derişimdeki bir inhibitörden farklı şekilde etkilenebilir veya metabolik özelliklerini değiştirerek adapte olabilir (Öztürk, 1999).

2.2.4. Mikrobiyal Üreme

Genel olarak mikroorganizmalarda besin ortamına üremiş ortamdan kültür ilave edilmesinden sonra görülen çeşitli üreme evreleri vardır. Bu evreler Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Mikroorganizmanın üremesine bağlı olarak da substrat tüketimi gerçekleşir. Üreme mikroorganizmanın sayısal artışı veya kütleli artışı şeklinde olur (Pekin 1983; Kargı, 1993).



(1. Gecikme evresi, 2. Logaritmik veya üstel üreme evresi, 3. Duraklama evresi, 4. Sabit evre, 5. Ölüm evresi)

Şekil 2.1. Mikroorganizma üreme evreleri

Gecikme evresi, mikroorganizmanın besin ortamına aşılındıktan hemen sonraki evredir. Hücrelerin yeni ortama uyum sağlayıp çoğalmaya başlayıncaya kadarki geçen süredir. Bu evrede hücre sayısı değişmezken, hücre kütlesinde çok az artış olabilir. Ortama adapte olan mikroorganizmaların maksimum hızda büyüdüğü evre ise logaritmik veya üstel üreme evresidir. Bu evrede hücre sayısı ve kütlesi zamanla üstel olarak artar. Bütün hücre bileşenleri aynı hızla büyüdüklerinden ortalama hücre bileşimi sabit kalır. Bir ya da daha fazla gerekli besin maddesinin tükenmesi veya toksik yan ürünlerin birikmesi sonucu büyümenin yavaşladığı evre duraklama evresidir. Duraklama evresinden sonra başlayan sabit evrede üreme hızı ölüm hızına eşittir. Bu evrede net büyüme hızı sıfır olmasına rağmen hücreler metabolik olarak aktiftir ve ikincil metabolitleri üretirler. Mikrobiyal kinetiğin son evresi ölüm evresidir. Ölme hızı üreme hızına oranla oldukça fazladır (Pekin, 1983; Shuler ve Kargı, 1992).

2.2.5. 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. 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 karbonhidratlar, 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 dönüştürür. 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 permaazlar da denilen ve dış ortamdan hücre içerisine madde transferini sağlayan enzimler de vardır.

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 boyutları bazı türlerde farklılık göstermesine karşın, genellikle hücre çapları 1-10 µm aralığında değişmektedir (Pekin, 1983; Walker, 2000).

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 4-4.5 dur. 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 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 (etl 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 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 içerdikleri organellerin işlevleriyle beraber 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. Glikonaz ve hidrolaz enzimleri içerir ve bu enzimler dış ortamdan hücre içine madde transferi sağladıkları gibi, hücre duvarının yumuşak yapısını korumasını da sağlarlar. 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 (Pekin, 1983; Walker, 2000).

Stoplazma: Maya stoplazması su içeriği fazla ve asidik (genellikle pH 4-5.5 aralığında) akışkan bir sıvıdır. İçeriğinde düşük ve büyük molekül ağırlıklı

bileşikler, çözünmüş proteinler, glikojen ve diğer çözünebilen bileşikler yer alır. Maya stoplazması içerisinde bulunan taneciklerin çeşitli işlevleri vardır. Bunlar;

- a. Ribozom: Protein ve ribonükleik asitlerden oluşan ribozomların görevi protein sentezidir.
- b. 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.
- c. Golgi aygıtı: Çift zarlı olan bu aygıtın içeriğinde lipid, protein ve ribonükleik asit bulunur. Hücrenin diğer organellerinden gelen atıklar bu aygıtta toplanarak atılmak üzere buradan vakollere verilir. Yani hücrede serbest hale gelen maddelerin kontrolü bu aygıtta yapılır.
- d. Endoplazmik retikulum: Hücre zarından başlayarak stoplazma içerisinde çekirdeğe kadar uzanan çift katlı zardan oluşmuş bir ağ örgüsüdür. Plazma iletimi yoludur.
- e. Lizozom: Mitokondride sentez edilen bazı enzimler lizozomlarda depo edilir.
- f. Sentrozom: Çekirdeğe yakın bulunan sentrozom çekirdek bölünmesinde rol oynar.
- g. Vakol (boşluk): İnce bir zarla çevrili olan bu boşlukların içerisinde düşük molekül ağırlıklı maddeleri içeren sıvı bulunur (Pekin, 1980; Walker, 2000).

Çekirdek: Stoplazma içerisinde bir zarla çevrili çekirdek bulunur. Kalıtsal genler olarak bilinen kromozomların bulunduğu çekirdek kalıtım özelliklerini barındırır. Yapısında DNA ve çeşitli proteinler vardır. Çekirdek içerisinde RNA'ca zengin küresel çekirdekcik bulunur.

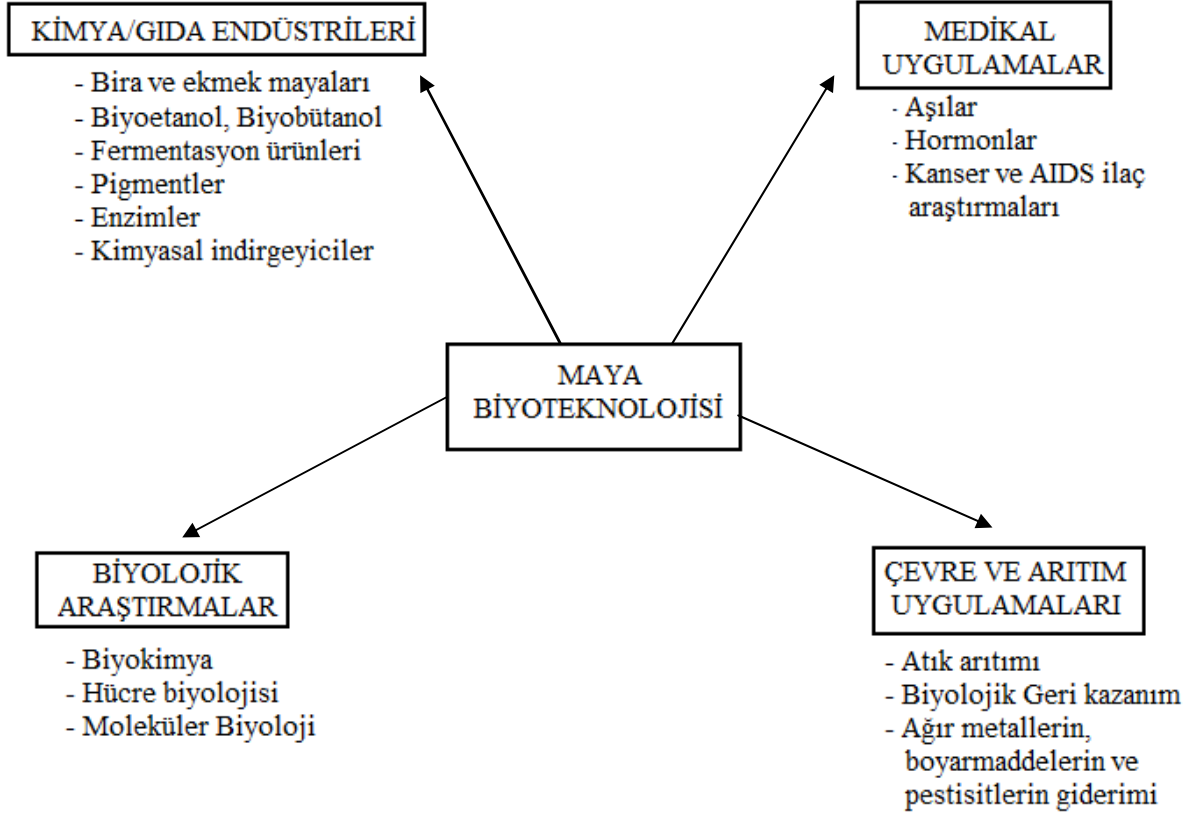
İnsanlık tarihinde ilk kullanılan mikroorganizmalar mayalardır. Mayalar binlerce yıldır insanlar tarafından değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Mayaların ilk kullanımının Babil'liler, Sümer'ler ve Mısır'lılar tarafından bira ve şarap üretiminde ve hamurun mayalanmasında olduğu sanılmaktadır. Modern çağda ise mayalar

geleneksel gıda endüstrisinde (ekmek mayası üretimi, çeşitli enzimler, pigmentler, gıda asitlendiricilerin elde edilmesi) kullanımlarının yanı sıra, 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 (Walker, 2000).

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 (Aksu ve Dönmez, 2000). Mayaların zorlu ortam koşullarında, örneğin, asidik ve toksik etkiye sahip ağır metal iyonu, boyarmadde içeren ortamlarda üreyebilme dayanıklılığı göstermesi ve bu tür maddeleri hücre içerisine alabilme özelliğinin bulunması (biyobirikim), mayaların diğer mikroorganizmalara göre üstünlüğünü göstermektedir (Pekin, 1983; Walker, 2000). Birden fazla türde metal iyonlarının birlikte bulunduğu ortamlar ise endüstriyel atıksu özelliklerini daha gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Bu durumda mikroorganizmanın üremesini ve her bir bileşenin biyobirikimini etkileyen parametrelere ek olarak bileşenin türü, her birinin derişimi, bileşenlerin karışım oranı, vb incelenmesi gerekir (Açıkel, 2003).

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 (Walker, 2000).

Mayaların biyoteknolojik uygulamaları Şekil 2.2'de ayrıntılı olarak verilmiştir. (Walker, 2000).



Şekil.2.2.Mayaların biyoteknolojik uygulamaları

Günümüze kadar yaklaşık 700 çeşit maya kültürü belirlenmiş olmakla beraber yeni maya kültürlerinin tanımlanmasına da halen devam edilmektedir. Ayrıca gelişmiş rekombinant DNA teknolojisinin kullanılması ile farklı türlerin istenen özellikleri bir arada kullanılabilir. Bazı maya türlerinin özel kullanım alanları ise aşağıda verilmiştir;

Arxula adenivorans: Nitrat ve aminlerin dönüştürülmesinde önemli rol oynar. Büyüme sıcaklığı 45°C' nin üzerindedir.

Candida türleri: Çok geniş kullanım alanları vardır. 6-aminopenisillanik asit, B6 vitamini, NAD, FAD, metil ketonlar, sitrik asit, riboflavin, triptofan, biyokütle üretimin de kullanılır.

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

Kluyveromyces marxianus: Laktoz ve polifruktosan fermentasyonun da kullanılır.

Pachysolen tannophilus: Bazı hidroliz ürünlerinde bulunan pentoz şekerlerinin fermentasyonun da kullanılır.

Phaffia rhodozyma: Gıda renklendirici olarak kullanılır.

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

Schizosaccharomyces pombe: Şarabın asit giderimi ve etanol üretiminde, maloetanolik fermentasyon ve geleneksel Afrika alkollü içecekleri fermentasyonlarında kullanılır (Walker, 2000).

2.2.5.1. Candida Sp.

Candida türleri; çoğunlukla tek hücreli, tek çekirdekli, 3-6 µm büyüklüğünde, yuvarlak veya oval, kapsülsüz mayalardır. Bununla birlikte birçoğunun fenotip değiştirme özelliği vardır. Tomurcuklanarak çoğalırlar. Tamamına yakını Gram pozitifdir.

Candida'ların 200 kadar türü bulunmaktadır. Bunların %65'inden fazlası 20-35°C' de üreyebilirler. *C. albicans* en sık saptanan tür olmakla birlikte *C. tropicalis*, *C. glabrata*, *C. utilis*, *C. parapsilosis*, *C. krusei*, *C. lipolytica*, *C. guilliermondii*, *C. lusitaniae*, *C. kefyr*, *C. dubliniensis* sıklıkla saptanan türlerdir. Bu türlerin çok azının patojenik özellikleri vardır.

Candida türleri aerobik koşullarda, substrat yönünden zenginleştirilmiş ortamda, Sabouraud dekstroz agar (SDA) gibi rutin besiyerlerinde oda ısısında veya 30°C'de 24 saat içinde genellikle kirli beyaz veya krem rengi, nemli, düzgün veya buruşuk kenarlı, düzgün yüzeyli veya göbekli; uzayan inkübasyonla birlikte kıvrımlı hale gelen, mat ya da parlak, maya kokulu yumuşak koloniler oluştururlar. Morfogenez özellikleri güçlüdür; ortamdaki inhibitör konsantrasyonlarına kolayca uyum sağlarlar ve bunlara karşı oldukça dirençlidirler. İnkübasyon süresi 2-7 gün arası değişmekle birlikte, genellikle 30-50 saat arasında üssel üreme evresinden sabit üreme evresine geçerler. Kemoheterotroflar, uygun sıcaklık (20-35°C) ve pH

(3-5) değerlerinde, besin ortamında karbon (glukoz, sakkaroz vb.) ve azot kaynağı (amonyum tuzları) bulunması üreme için yeterlidir. Bütün türler glukozu fermente eder, hiçbirisi nitratı asimile edemez. Kültürlerinde etanol, asetoin ve asetik asit, formik asit, laktik asit, propionik asit, pirüvik asit, suksinit asit gibi organik asitlerden zengin metabolik son ürünler olur. Aspartik proteinaz (sap), fosfolipaz ve lipaz enzimleri *Candida* türleri tarafından üretilen ekstrasellüler hidrolitik enzimler arasında salgısal önemli grupları oluşturmaktadır (Walker, 2000).

Candida utilis ve *Candida tropicalis* gibi bazı türler etanol üretimi, biyokütle üretimi, sitrik asit, riboflovin, triptofan gibi çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır (Walker, 2000).

2.3. Biyobirikim

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

Canlı hücrelerin ürettiği ortamdaki maddelerin hücre içine alımı, hücre içi ve dışı derişim farkından dolayı oluşan sürücü güç ile bu maddelerin hücre zarından geçerek, hücre içinde birikmesi şeklinde olmaktadır. Bu durumu Gibbs serbest enerjisi ile ifade edersek; $\Delta G = -RT \ln(C_{dış}/C_{iç})$ formülüne göre $C_{dış}$ derişimi her zaman büyük olacağına göre, bu işlemin sonucunun eksi çıkacağı açıktır. Yani ortamdaki maddelerin hücre zarından geçerek hücre içerisine girmeleri istemli bir durumdur. Canlı hücreler bu maddelerin, ne kadar zehirli etkiye sahip olsalar da 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, besinlerle beraber bu maddelerin de hücre dışından hücre içerisine transferini gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Yani ortamdaki kimyasalların 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 sentezleyemediği maddeleri stoplazma içerisindeki boşluklarda diğer hücre içi atıklarla beraber (vakol) 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. Biyobirikim, ortamdaki kimyasalın mikroorganizma hücresine

tutunmasıyla (adsorpsiyonuyla) başlar. Çoğu bilim adamının ortak görüşüne göre kimyasallar yüksek derişimli ortamdaki daha düşük derişimli ortama difüzyona eğilimindedir. Difüzyona sebep olan sürücü güç veya bunu sağlayan basınç kimyasal potansiyel olarak adlandırılır ve bu durum, hücre dışındaki kimyasal hücre içerisine hareket ettirir. Kimyasal potansiyel, yüksek kimyasal derişimlerinde veya bazı ortamlarda yüksektir. Örneğin su ile iyi karışmayan bir hidrofobik madde, hidrofilik hücre yüzeyine ve oradan hücre içerisine difüzyona eğilimlidir. Hücre içerisine giren bazı kimyasallar yüklerine, ortamın izoelektrik noktasına göre içeride proteinlere veya yağ asitlerine bağlanabilmektedir. Hücre içerisine madde transferi yavaş veya madde transferi durmuş ise, bir merkeze bağlanmış bir kimyasal eğer bağı sıkı değilse tekrar bırakılabilir. Ayrıca hücre yüzeyinde bol miktarda bulunan transferaz enzimleri besin maddelerinin yanı sıra diğer maddelerinde hücre içerisine transferini gerçekleştirmektedir.. 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 anlaşılammıştır (Macaskie and Dean, 1989; Ting et al., 1989; Kargı, 1993; Macaskie, 1997; Goodyear and Mc Neill, 1999; Haritonidis and Malea, 1999; Aksu and Dönmez, 2000; Dönmez and Aksu, 2001).

Biyobirikimi etkileyen bazı faktörler ortam pH'ı, sıcaklık ve yüzey alanı olarak sıralanabilir. Canlı hücrelerin optimum üreme pH 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 (Walker, 2000). Tam olgunluğa erişmiş hücrelerin yüzey alanı daha büyük ve hücre aktiviteleri üst seviyededir, dolayısıyla daha fazla madde transferine imkan tanımaktadır. Mayalar düşük ve yüksek sıcaklıklarda üreyebilmelerine rağmen, düşük ve yüksek sıcaklıklarda metabolik faaliyetlerinin hızı ve üreme verimleri düşüktür. Dolayısıyla optimum üreme sıcaklıklarında madde biriktirme verimleri daha yüksek olmaktadır. Yine hücre sayısının fazlalığı

birikim kapasitesinin artmasına olanak sağlar (Macaskie et al., 1989; Ting et al., 1989; Kargı, 1993; Goodyear and Mc Neill, 1999; Haritonidis, 1999; Aksu and Dönmez, 2000; Dönmez and Aksu, 2001; Macaskie, 1997; Walker, 2000; Mejare et al., 2001).

Günümüzde biyobirikim, birçok doğal fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemde önem taşımaktadır. Ayrıca biyobirikim prosesi, atıksulardaki organik ve kimyasal kirleticilerin giderilmesi işleminde, özellikle aktif çamur havuzlarında sıklıkla kullanılmaktadır. (Metcalf and Eddy, 1991).

2.3.1. Ağır Metal İyonlarının Biyobirikimi

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 boyarmadde ve ağır metal iyonlarının farklı türden alg, bakteri, maya ve küf mantarlarına tekli biyobirikimiyle ilgili bazı çalışmalara rastlanmaktadır (Ting et al., 1989; Macaskie, 1997; Aksu ve Dönmez, 2000; Mejare et al., 2001; Lee and Wang, 2001; Dursun et al., 2002; Açikel, 2003; Gültekin, 2005; Gönen, 2006).

Ağır metal iyonlarının biyobirikimiyle ilgili ilk çalışma, Ting ve arkadaşları (1989) tarafından canlı *Chlorella vulgaris* yeşil algine kadmiyum(II) ve çinko(II) iyonlarının metabolizmaya bağlı yarışmalı gideriminin ışık varlığında ve yokluğunda incelenmesiyle başlatılmıştır. Sabit ışıklandırmada ve kadmiyum varlığında, hücrel metabolizma için temel bir element olan çinko(II) iyonlarının biyobirikiminin inhibisyona neden olduğu gözlenmiştir. Kadmiyum(II) biyobirikimi ise, aynı deneysel koşullar altında çinko(II) biyobirikiminden daha düşük bulunmuştur (Ting et al., 1989).

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, substrat ve kirletici derişimleri mikroorganizmanın üremesini ve metal biyobirikimini etkileyen en önemli parametrelerdir. Dönmez ve Aksu (2001), metal iyonlarına alıştırılmış canlı *Candida sp.* mayasıyla bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının biyobirikimini başlangıç pH'ı ve başlangıç metal iyon derişiminin fonksiyonu olarak incelemişler ve 783.6 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde 36.9 mg/g; 321.5 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde ise 46.8 mg/g özgül giderim kapasitesi değerleri elde etmişlerdir (Dönmez and Aksu, 2001).

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 derişimindeki artışın Cd(II) biyobirikim miktarını önemli derecede arttırdığını, buna karşın Cr(VI) ve Zn(II) biyobirikiminin,

nitrat düzeyinden fazla etkilenmediğini göstermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında ayrıca Cd(II), Cr(VI) ve Zn(II)'nin biyobirikiminin amonyum derişiminden fazla etkilenmediğini, mikroalglerdeki Cr(VI) birikiminin ise artan fosfat derişimi ile arttığını da gözlemişlerdir (Lee and Wang, 2001).

Dursun ve arkadaşları (2003) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise Cu(II), Pb(II) ve Cr(VI) iyonlarının *Aspergillus niger*'in üremesi ve biyobirikimi üzerine başlangıç pH'ı ve başlangıç metal iyon derişiminin etkileri araştırılmış ve çalışılan tüm metal iyonu derişimlerinde *A. niger*'in üremesi üzerine metal iyonlarının inhibisyonu gözlenmiştir. Araştırmacılar 100 mg/L'lik başlangıç Cu(II) ve Pb(II) derişimlerinde sırasıyla 15.6 ve 34.4 mg/g olan maksimum giderim kapasiteleri elde etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca çok düşük Cr(VI) derişimlerinin bile *A. niger*'in üremesini inhibe ettiğini de gözlemişlerdir (Dursun et al., 2003).

Açikel (2003) tarafından yapılan bir çalışmada ise Cu(II) ve Ni(II) iyonlarının *Candida tropicalis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces cerevisiae* ve *Schizosaccharomyces pombe* mayaları üzerindeki inhibisyon ve biyobirikim etkileri araştırılmış, *Candida tropicalis* mayasının hem Cu(II) ve Ni(II) iyonlarının ayrı ayrı, hem de beraber buldukları ortamlarda, çok yüksek derişimlerde bile oldukça dirençli olduğu ve bu iyonları yüksek bir kapasiteyle biriktirdiği gözlenmiştir. Aynı

çalışmada, bu mayalar için amonyum tuzu varlığının üremeyi ve biyobirikimi çok etkilemediği, ancak substrat derişimi arttıkça hem üreme hızı ve maksimum mikroorganizma derişiminin hem de metal biyobirikiminin arttığı da belirtilmiştir (Açikel, 2003).

Uslu ve ekibi (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, kadmiyum(II) ve bakır(II) iyonlarının tekli ve ikili olarak bulunduğu ortamda, *P. putida*'nın bu iyonları biyobiriktirme kapasitesi incelenmiş ve bu iyonların 25 mg/L sabit başlangıç konsantrasyonunda tekli olarak bulunduğu ortamdaki kadmiyum(II) ve bakır(II) maksimum biyobirikim verimi yüzdeleri, sırasıyla, %30.49 ve %48.04, her iki iyonun da sabit 25 mg/L derişiminde beraber bulunduğu ortamdaki kadmiyum(II) ve bakır(II) biyobiriktirme kapasitesi ise, sırasıyla, %10.87 ve %7.49 olarak tespit edilmiştir (Gültekin, 2005).

Literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde, genellikle tek bileşenli metal biyobirikim çalışmalarının öne çıktığı, düşük metal iyonu derişimlerinde ve yapay besin ortamlarında çalışıldığı ve daha önce kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte olduğu durumun çalışılmadığı görülmektedir. Tez çalışmasında farklı mikroorganizma türleriyle ve farklı metal iyonlarıyla, karbon kaynağı olarak melas katılmış besin ortamlarında tekli ve ikili kadmiyum(II) ve nikel(II) biyobirikim çalışmalarının gerçekleştirilmesinin literatüre önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

Ortamda tek metalin bulunduğu sistemde sadece o metal iyonunun hücre zarından geçerek hücre içerisinde birikmesi, metal iyonunun hücrenin gelişimine etkisi, hücre büyümesini inhibe etme türü ve metal iyonunun hücre zarından hücrenin yaptığı besin transferine etkisi söz konusudur. Yani ortamda tek metal iyonu varken, metal iyonunun hücrenin özgül üreme hızına, maksimum üreyen hücre derişimine ve hücrenin tuttuğu metal iyonu derişimine etkisi incelenir.

Birden çok metalin bulunduğu sistemler ise, endüstriyel atıksu özelliklerini daha gerçekçi olarak yansıtmaktadır. Bu durumda çoklu metal iyonu kombinasyonlarının, mikroorganizmaların çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve ekolojik proseslerini nasıl etkilediğini bilmek ve araştırmaları bu doğrultuda sürdürülmesi önem kazanmaktadır.

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 et al., 1989).

3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI

3.1. Kesikli Sistemde Mikrobiyal Üreme

3.1.1. Mikroorganizma Özgül Üreme Hızı

Kesikli sistemde üstel üreme evresinde mikroorganizma derişiminin zamanla değişimi özgül üreme hızı ile ifade edilir ve Eşitlik 3.1 ile verilir (Pekin, 1983; Shuler ve Kargı, 1992).

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (3.1)$$

t=0 anında X=X₀, t=t anında X=X sınır koşullarında Eşitlik 3.1'in integrasyonu ile Eşitlik 3.2 elde edilir.

$$\ln \frac{X}{X_0} = \mu t \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde;

μ : Özgül üreme hızı (1/sa)

X : Kuru mikroorganizma derişimi (g kuru mo./L)

t : Zaman (sa)' dır.

3.1.2. Mikroorganizmanın Substrat Tüketim Hızı

Üstel üreme evresinde substrat tüketim hızı ise Eşitlik 3.3'de tanımlandığı şekildedir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

$$\eta = -\frac{1}{X} \frac{dS}{dt} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte;

S: Substrat derişimi (g/L)

η : Substrat tüketim hızı (g substrat / g kuru mo. sa)' dir.

3.1.3 Metal İyonu İçermeyen Ortamda Mikroorganizma Büyüme Kinetiği

Özgül üreme hızı ile mikroorganizmanın üreme hızını kontrol eden besin maddesi (substrat) arasındaki ilişki Monod eşitliği ile verilir (Eş. 3.4) (Pekin, 1983; Shuler ve Kargı, 1992).

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (3.4)$$

Burada μ_m maksimum özgül üreme hızı (1/sa) ve K_s doygunluk sabiti (g/L) 'dir. Eşitlik 3.4'ün doğrusallaştırılmış şekli Eş. 3.5 ile gösterilebilir:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S} \quad (3.5)$$

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

3.1.4. Metal İyonu İçeren Ortamda Mikroorganizma Büyüme Kinetiği

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 farklı inhibisyon modellerine göre ifade edilir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

3.1.4.1. Tek Bileşenli İnhibisyon Kinetiği

Tek bir bileşenin inhibisyona neden olduğu durumda, bu bileşenin mikroorganizmanın özgül üreme hızı üzerine gösterdiği inhibisyon etkisi literatürde yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon olarak tanımlanmaktadır. Bu üç inhibisyon tütünü ifade eden modeller Eş. 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilmiştir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

Yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s \left(1 + \frac{I}{K_I}\right) + S} \quad (3.6)$$

Yarışmasız inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m}{\left(1 + \frac{K_s}{S}\right) \left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} \quad (3.7)$$

Kısmi yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{\left(\frac{K_s}{\left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} + S \right) \left(1 + \frac{I}{K_I}\right)} \quad (3.8)$$

Burada;

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

K_I : İnhibisyon sabiti (mg/L)' dir.

I derişimi arttıkça mikroorganizma üremesini inhibe etmekte ve özgül üreme hızı ve maksimum üremiş hücre derişimi değerleri düşmektedir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

3.1.4.2. İki Bileşenli İnhibisyon Kinetiği

Farklı iki bileşenin inhibisyona 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 türetilmiş benzer modellerle gösterilmiştir. Kullanılan bu modeller Eş. 3.9, 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.

Bu modeller ikili inhibisyon türünü belirlemede ve birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitlerini bulmada kullanılabilir (Pekin, 1983; Kargı, 1993).

Yarışmalı ikili inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S \left(1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right) + S} \quad (3.9)$$

Yarışmasız ikili inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{(K_S + S)} \frac{K_{I1} K_{I2}}{(K_{I1} K_{I2} + K_{I2} I_1 + K_{I1} I_2)} \quad (3.10)$$

Kısmi yarışmalı ikili inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S + S \left(1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right)} \quad (3.11)$$

Burada;

I_1, I_2 İnhibisyona neden olan birinci ve ikinci bileşen derişimleri (mg/L)

K_{I1}, K_{I2} birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitlerini (mg/L) göstermektedir.

3.2. Kesikli Sistemde Metal Biyobirikimi

3.2.1. Mikroorganizmanın Metal Biyobirikim (Tutma) Hızı

Kesikli sistemde üstel üreme evresi sonunda birim kuru hücre miktarının birim zamanda biriktirdiği metal iyonu miktarı mikroorganizmanın metal biyobirikim hızı olarak ifade edilir ve Eşitlik 3.12 ile verilir (Açıkkel, 2003).

$$v = \frac{1}{X} \frac{dC_{ut}}{dt} \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte;

C_{tut} : Mikroorganizma tarafında tutulan metal derişimi (mg/L)

v : Mikroorganizmanın metal biyobirikim hızı (mg metal iyonu / g kuru mo.sa)

3.2.2. Mikroorganizmanın Metal Biyobirikim Kinetiğinin Modellenmesi

Zamana bağılı olarak mikroorganizma üremesi ile bu üreyen hücrelerin metal iyonlarını biyobiriktirmesi paralel yürüdüğünde, biyobirikim hızı ile mikroorganizmanın üreme hızı arasındaki ilişki Luedeking-Piret Eşitliğı ile (Eşitlik 3.13) tanımlanabilir (Leudekin and Piret, 1959).

$$\frac{dC_{tut}}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} + \beta X \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13'de eşitliğın her iki tarafı $1/X$ ile çarpılır ve gerekli düzenlemeler yapılırsa Eşitlik 3.14 elde edilir.

$$v = \alpha \mu + \beta \quad (3.14)$$

Burada α (mg/g) ve β (mg/ g sa) sabitleri v' ye karşı μ grafiğinden bulunabilir.

4. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ

4.1. Mikroorganizmalar ve üretim Yöntemi

Yapılan çalışmalarda Ankara Üniversitesi Biyoloji bölümünden temin edilen *C. utilis* ve *Candida tropicalis* mayaları kullanılmıştır.

Mayaların üretiminde karbon kaynağı olarak bir şeker endüstrisi atığı olan ve Ankara şeker fabrikasından temin edilen melas kullanılmıştır. 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 (Scneider, 1971).

Mikroorganizmalar melaslı sıvı besin ortamlarında sürekli üretilerek deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Mikroorganizmaların üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları melas sakkarozu, 1 g/L amonyumsülfat ve 1 g/L potasyum dihidrojenfosfat'tan hazırlanmıştır. Üreme çalışmaları 150 mL çalışma hacmine sahip 250 mL'lik erlenlerle sabit 25°C ve 120 rpm karıştırma hızında çalışan çalkalamalı inkübatörlerde gerçekleştirilmiştir. Üreme çalışmaları için hazırlanan besin ortamları otoklavda 21 dk süresince 121 °C ve 2 atmosfer basınçta sterillemiştir.

4.2. Mikroorganizmaların Metal İyonu İçeren Besin Ortamlarına Alıştırılması

Mikrobiyal adaptasyona mikroorganizmaların kadmiyum(II) ve nikel(II) içeren ortama uyum sağlaması amacıyla, bu mayalar için seçilen besin bileşenlerini içeren ortama ilk olarak 10 mg/L kadmiyum(II) ve nikel(II) eklenerek mayaların bu ortamda üremeye alıştırılmasıyla başlanmıştır. Bu ortamda üreyen maya hücreleri 25 mg/L kadmiyum(II) ve nikel(II) içeren besin ortamlarına aktararak ve bu şekilde aktarmalara devam edilerek, mikroorganizmaların yüksek metal derişimlerine adaptasyonu sağlanmıştır. Daha yüksek derişimde metal iyonu içeren ortama geçilmeden önce her defasında mayalar aynı metal iyonu derişimine sahip besin ortamlarına ard arda iki kez daha aktarılmıştır (Dönmez and Aksu, 2001).

Mayaların kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren ortamlara alıştıırılması ise, kullanılacak kombinasyona göre o derişimleri içeren kirletici ortamlarına ayrı ayrı alıştıırılmış hücrelerden, karışımı içeren besin ortamına birlikte aktararak sağlanmış ve bu ortamda üremiş mikroorganizma kültürü, o derişim çiftine karşı gelen ikili karışım deneylerinde kullanılmıştır.

4.3. Deneyler

Deneyisel çalışmalar sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışan karıştırmalı inkübatörlerde 250 mL'lik steril erlenlerde, 150 mL steril besin ortamında kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, mayaların kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren ve içermeyen besin ortamlarında üretilerek üstel üreme evresine gelmiş mikroorganizma çözeltisinden 3 mL aşı alınarak 150 mL'lik deney ortamına eklenmesi ile başlatılmıştır.

Sabit melas sakkarozu derişiminde başlangıç pH (2.0-5.0), sıcaklık (20-30°C) ve karıştırma hızı (80-150 rpm) parametreleri değiştirilerek mayaların üremesi için optimum ortam koşulları belirlenmiştir.

Başlangıç sakkaroz ve metal iyonu derişiminin mayaların üremesi ve substrat tüketimi üzerine etkisi, önceden belirlenen optimum ortam koşullarında (pH 4.0, T=25°C ve K.H.=120 rpm), sakkaroz derişiminin 5-20 g/L aralığında, metal iyonu derişiminin ise 0-200 mg/L aralığında incelenmiştir.

Üreme ortamlarından belirli zaman aralıklarında alınan 3 mL örnek 5000 rpm devirde 10 dakika santrifüjlenerek sıvı kısım metal ve sakkaroz tayininde, çökelen kısım ise mikroorganizmaların derişiminin bulunmasında kullanılmıştır.

4.4. Analiz yöntemleri

4.4.1. Mikroorganizma Derişimi Analizi

Deney ortamından alınan örnekteki yaş maya derişimi g/L cinsinden spektrofotometrik olarak 360 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir. Daha sonra yaş ağırlık-kuru ağırlık mikroorganizma çalışma doğrusundan yararlanarak kuru mikroorganizma derişimine geçilmiştir (Ek 2).

4.4.2. Sakkaroz derişimi Analizi

Örnekteki sakkaroz derişimi g/L cinsinden, sakarozun dinitrosalisilik asit ile verdiği turuncu-koyu kırmızı renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 575 nm'de absorbans okunarak analiz edilmiştir (Forouchi et al., 1983) (Ek 3).

4.4.3. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Derişimi Analizi

Deney ortamından alınan örnekteki serbest kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonu derişimleri sırasıyla 228.8 ve 232 nm dalga boylarında atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (UNICAM 929) absorbans değerleri okunarak yapılmıştır.

5.DENEYSEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, *Candida utilis* ve *Candida tropicalis* mayalarının belirli ortam şartlarındaki üreme ve ağır metal iyonu biyobirikim kinetikleri, metal iyonlarının mikroorganizmaların üremesi üzerine yaptığı tekli ve ikili inhibisyon etkileri de göz önünde bulundurularak kesikli sistemde incelenmiştir. Bu amaçla, *Candida utilis* ve *Candida tropicalis* mayalarının sırasıyla ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında üreme kinetikleri incelenmiş, daha sonra kadmiyum(II) ve/veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında bu iyonların mayaların üremesine inhibisyon etkisi araştırılmış ve en son olarak da bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mayalara biyobirikimi incelenmiştir.

Çalışmaların ilk kısmında ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamında mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ı, başlangıç substrat (sakkaroz) derişimi, ortam sıcaklığı ve karıştırma hızının etkileri araştırılmış, her bir mayaya ait kinetik sabitler Monod eşitliğinden bulunmuştur. Besin ortamında metal iyonlarının bulunmasının mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olduğu bilinmektedir. Çalışmaların bir sonraki evresinde tekli kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında, sabit sıcaklık ve karıştırma hızında, başlangıç pH'ının, başlangıç metal iyonu ve başlangıç sakkaroz derişimlerinin mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkileri incelenmiş ve metal iyonlarının her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. Bu aşamada ayrıca, tekli metal iyonu içeren besin ortamlarında her bir mayanın metal biyobirikim hızı ve kapasitesi, başlangıç pH'ının, başlangıç metal iyonu ve başlangıç substrat derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve metal biyobirikimi modellenerek model sabitleri bulunmuştur.

Çalışmanın son aşamasında ise, *C.utilis* ve *C. tropicalis* mayalarının hem kadmiyum(II) hem de nikel(II) iyonlarını birlikte içeren melaslı besin ortamında, her bir sabit metal iyonu derişiminde değişen diğer metal iyonu derişimine bağlı olarak mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine ortak etkileri araştırılmış, metal iyonlarının ortak inhibisyon etkisi modellenerek inhibisyon türü saptanmış ve her bir metal iyonuna ait inhibisyon sabiti

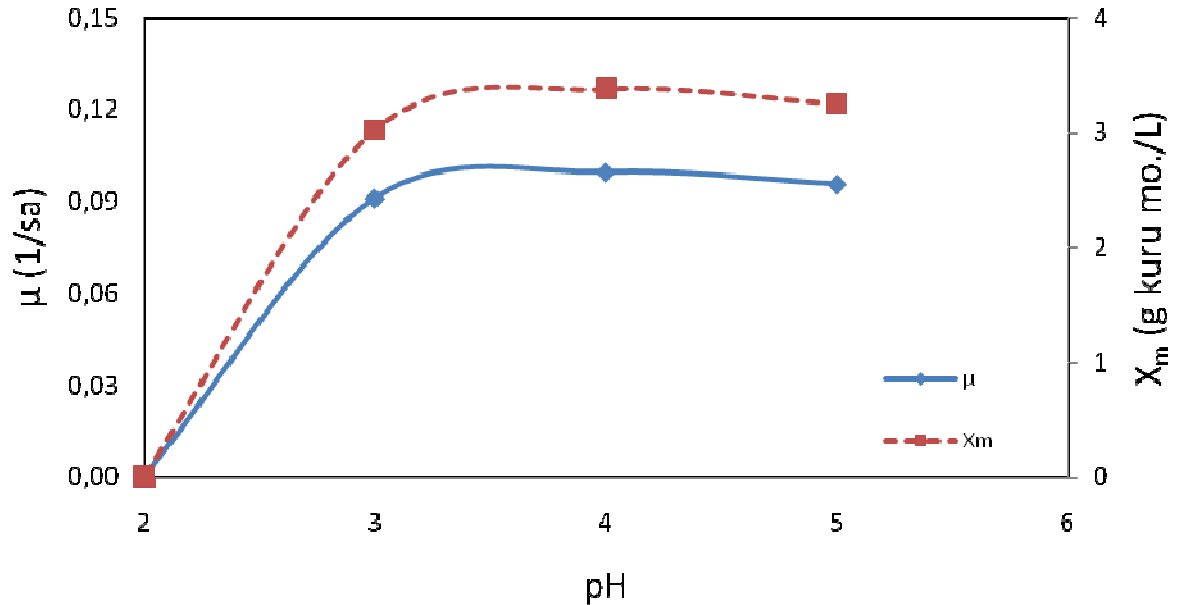
bulunmuştur. Ayrıca bu karışımlar için her bir mayanın her bir metal iyonunu biyobiriktirme hızı ve kapasitesi saptanarak ikili metal iyonlarının biyobirikime ortak etkileri de araştırılmıştır.

5.1. Metal İyonu İçermeyen Melaslı Besin Ortamında Maya Üreme Kinetiğinin İncelenmesi

5.1.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.1.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

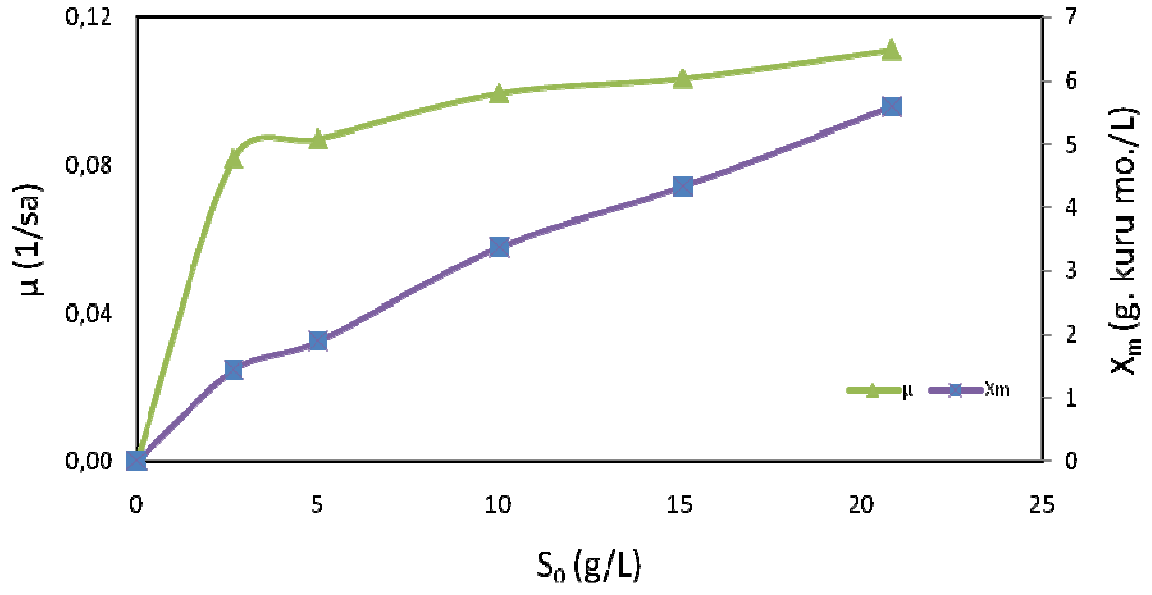
Ortam pH'ı mikroorganizmanın üremesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Ortamdaki hidronyum (H^+) iyonu derişimi mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini ve üremelerini önemli ölçüde etkiler. Mikroorganizmaların üreme hızı ve kapasitelerini en yüksek seviyede tutabilmek için, ortam pH'ının optimum değerinde kontrol edilmesi gerekmektedir. Başlangıç pH'ının *Candida utilis*' in özgül üreme hızı ve maksimum mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelendiğinde, mayaların pH 2.0'de üreyemediği, en hızlı ve verimli üremenin ise pH 4.0 başlangıç değerinde gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 5.1.). Bu pH değerinde elde edilen özgül üreme hızı 0.100 1/sa, üreme sonunda elde edilen maksimum kuru hücre derişimi ise 3.38 g.kuru mo./L'dir.



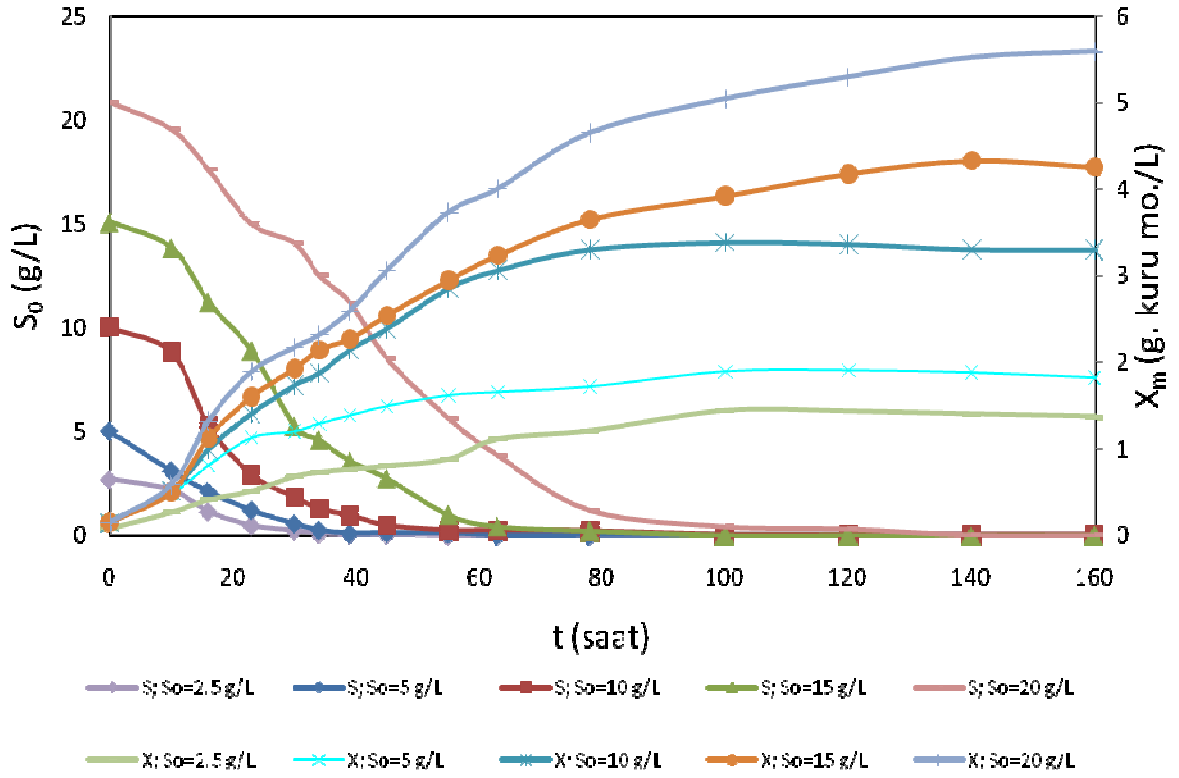
Şekil 5.1. Başlangıç pH'ının *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, S₀=10 g/L, K. H. 120 rpm).

5.1.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

Mikroorganizmanın üremesini doğrudan etkileyen ve sınırlayan ana besin maddesi (substrat), karbon ve enerji kaynağı olarak kullandıkları şeker (glukoz, sakkaroz, fruktoz vs.) türü maddelerdir. Optimum üreme hızı ve kuru mikroorganizma derişiminin elde edilmesi için, ortamdaki substrat derişiminin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük substrat derişimleri mikroorganizma üreme hızını ve üreyen maksimum mikroorganizma derişimini sınırlarken, yüksek substrat derişimleri hücreler üzerinde inhibisyon etkisi gösterebilir. Çalışmaların bu kısmında, melas sakkarozu substrat olarak kullanılmış ve başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızına etkisi, 25°C sabit sıcaklık, 120 rpm karıştırma hızı ve başlangıç pH 4.0 değerinde sakkaroz derişimi 2.5-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 5.1 ve Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2'den görüleceği üzere, başlangıç sakkaroz derişiminin 2,5 g/L'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız ve üreyen maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin arttığı, bu nedenle bu derişim aralığında substrat inhibisyonun gözlenmediği görülmektedir. Şekil 5.3'de *C. utilis* için farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen üreme ve substrat tüketim eğrileri sunulmuştur. Maya hücreleri, ortamda bulunan sakkaroz derişimine bağlı olarak, 70-120 saat arasında üremelerini tamamlamakta ve bu süre sonunda maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerine ulaşarak sabit üreme evresine girmektedir. Şekil 5.3'den, başlangıç sakkaroz derişimindeki artışa bağlı olarak mikrobiyal üremenin gecikme evresinin kısaldığı, ayrıca başlangıç sakkaroz derişimi arttıkça mayanın sakkarozu daha uzun sürede tükettiği gözlemlenebilir. Çizelge 5.1'de ise, *C. utilis*'in farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim hızı değerleri sunulmuştur. Bu Çizelgeden, başlangıç sakkaroz derişiminin 2,5 g/L'den 20.0 g/L'ye kadar artmasıyla mayanın özgül üreme hızının 0.082'den 0.111 1/sa'e; maksimum kuru mikroorganizma derişiminin 1,44'den 5.59 g kuru mo./L'ye; sakkaroz tüketim hızının ise 0.068'den 0.135 g sak/g kuru m.o. sa ' e arttığı görülebilir.



Şekil 5.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm).



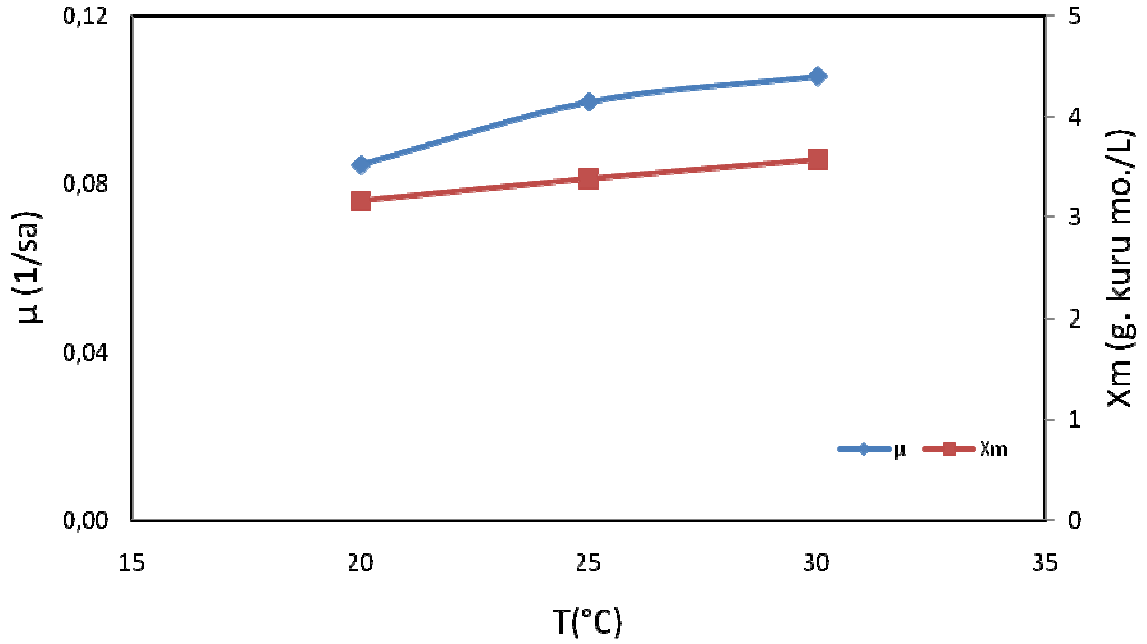
Şekil 5.3. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis*'in üreme ve substrat tüketim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

Çizelge 5.1. *C. utilis*' in Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim hızı değerleri

S_o g/L	μ 1/sa	X_m g. kuru mo./L	η g.sak/g kuru m.o. sa
2,68	0,082	1,44	0,068
5,02	0,087	1,90	0,114
10,02	0,097	3,38	0,112
15,08	0,104	4,33	0,130
20,85	0,111	5,59	0,135

5.1.1.3. Sıcaklığın Etkisi

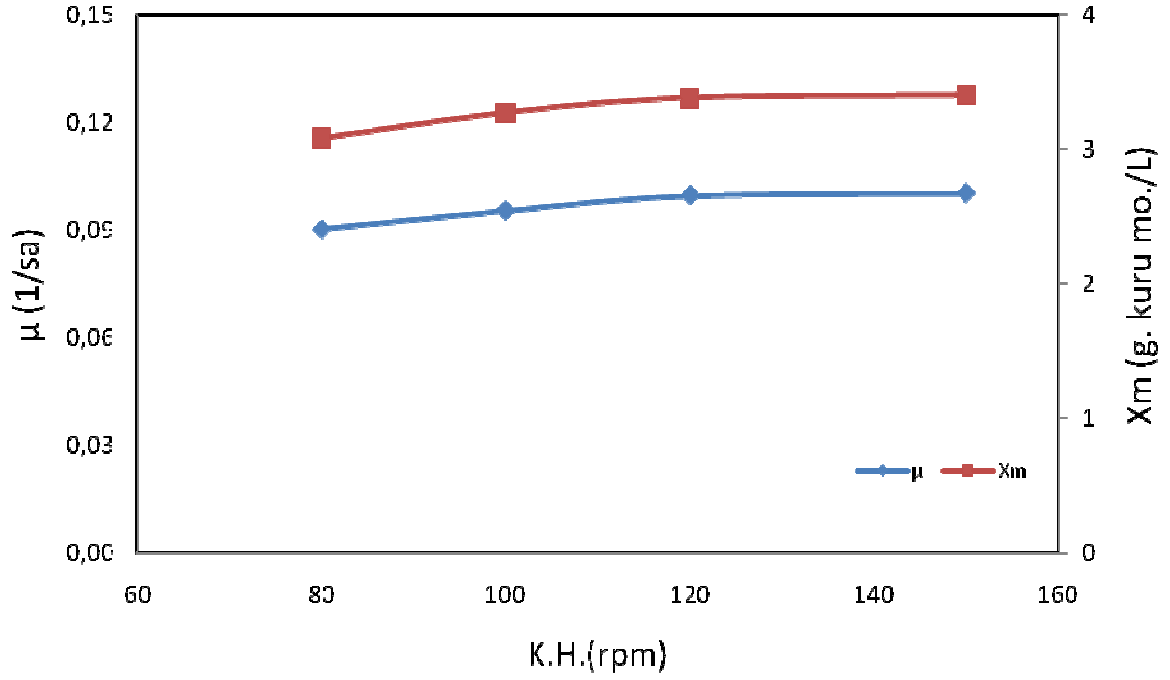
Mikroorganizmanın üremesini etkileyen bir diğer önemli parametre ise ortamdaki çözülmüş oksijen miktarını ve hücrelerin metabolik faaliyetlerini etkileyen ortam sıcaklığıdır. Düşük sıcaklıklarda mikroorganizmaların enzimatik faaliyetlerinin hızı yavaşlayarak üreme hızı azalırken, yüksek sıcaklıklar metabolik aktiviteyi inhibe ederek üremeyi durdurmaktadır. Maya hücreleri her ne kadar 0-50°C gibi geniş bir sıcaklık aralığında üreyebilirlerse de, en hızlı ve verimli üremenin 25-30°C arasında gerçekleştiği bilinmektedir. Deneysel çalışmaların bu aşamasında, 10 g/L sabit başlangıç sakkaroz derişiminde pH 4.0' de ve 120 rpm çalkalama hızı değerlerinde, 20-30°C değerleri arasında değişen inkübasyon sıcaklığının *C.utilis* 'in özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkisi incelenmiştir. Şekil 5.4'den, sıcaklık değerinin arttıkça, mayanın özgül üreme hızının arttığı, ancak maksimum mikroorganizma derişimindeki artışın daha az belirgin olduğu görülebilir. Ortam sıcaklığının 25°C'den 30°C'ye artmasıyla, özgül üreme hızı 0.085'dan 0.106 1/sa' e; maksimum kuru mikroorganizma derişimi ise 3.16'dan 3.57 g. kuru mo./L'ye artmıştır. 25°C' dan 30°C' a artan sıcaklığın, mayanın özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerini çok fazla etkilememesinden dolayı, çalışmaların bundan sonraki kısımları 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.4. Sıcaklığının *C. utilis*' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (So=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

5.1.1.4. Karıştırma Hızının Etkisi

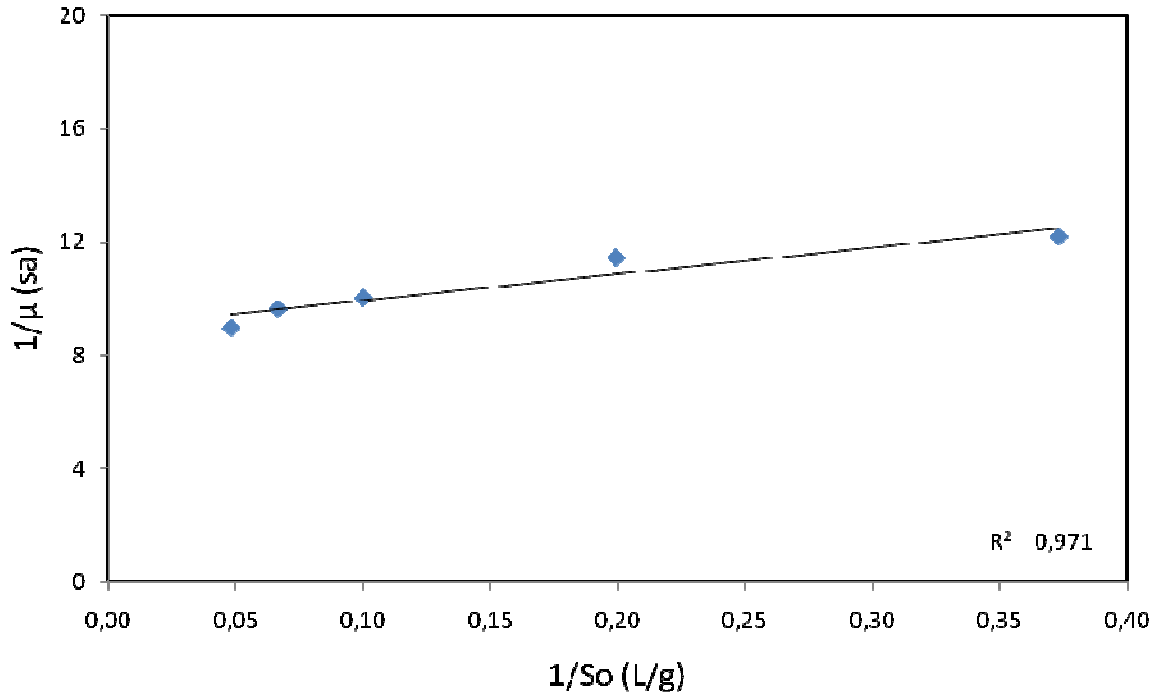
Mikroorganizmaların üreme hızını ve maksimum kuru mikroorganizma derişimini etkileyen parametrelerden birisi de karıştırma hızıdır. Yapılan çalışmaların tümünde dışarıdan herhangi bir hava akışı sağlanmadığı için, havanın besin ortamına difüzyonunu etkileyen en önemli parametre karıştırma hızıdır. Karıştırma hızı, ayrıca, mikroorganizmaların ve besin öğelerinin sıvı ortamda homojen bir şekilde dağıtılabilmesi için önemli bir parametredir. Karıştırma hızının *Candida utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkisi 80-150 rpm aralığında incelendiğinde, karıştırma hızı arttıkça üremenin ve üreme hızının arttığı, ancak 120 rpm karıştırma hızından sonra bu artışın sona erdiği ve sabitlendiği gözlenmiştir (Şekil 5.5). Çalışmaların daha sonraki aşamalarında karıştırma hızı 120 rpm seçilmiştir.



Şekil 5.5. Karıştırma hızının *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi ($S_0=10$ g/L, pH=4.0, T=25°C)

5.1.1.5. Kinetik Sabitlerin Bulunması

Monod eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla elde edilen Eşitlik 3.5'e göre çizilen $1/\mu'$ ye karşı $1/S_0$ grafiğinin (Şekil 5.6) eğiminden ve kesim noktasından mikroorganizmanın maksimum özgül üreme hızı (μ_m) 0,119 1/sa, doygunluk sabiti (K_s) ise 1,81 g/L olarak saptanmıştır.

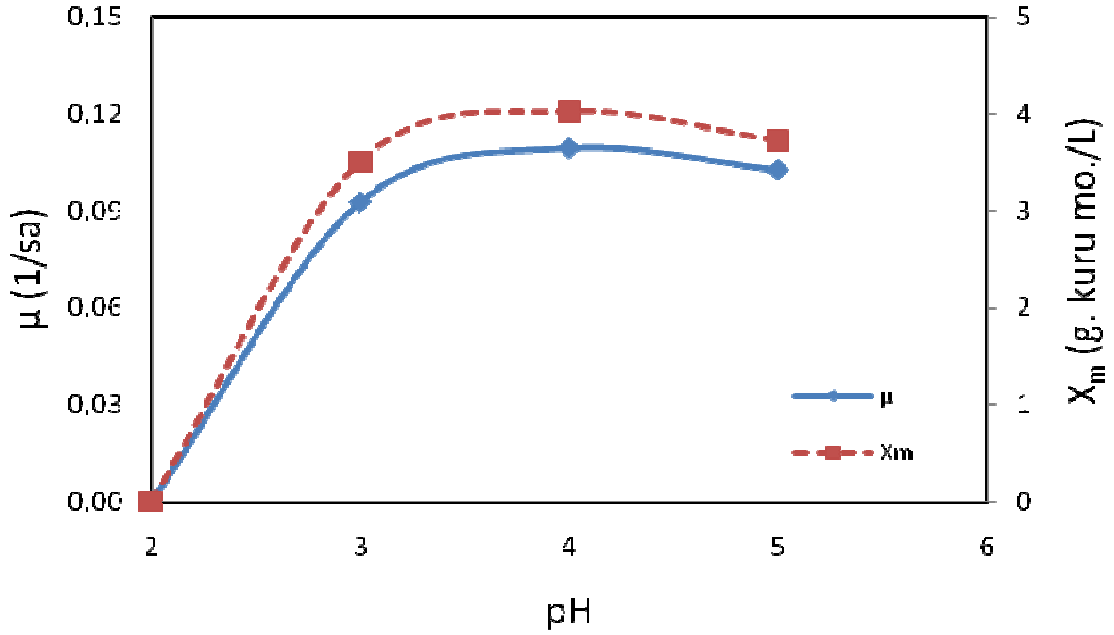


Şekil 5.6. *C. utilis*' e ait $1/\mu$ - $1/S_o$ grafiği

5.1.2. *Candida tropicalis* Çalışmaları

5.1.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

Mikroorganizmanın üremesini etkileyen en önemli parametrelerden biri olan başlangıç pH'ının *C. tropicalis* 'ın özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelendiğinde, bu mayanın da pH 2.0'de üreyemediği, en hızlı ve verimli üremeyi ise pH 4.0'de gerçekleştirdiği gözlenmiştir (Şekil 5.7). Bu pH değerinde elde edilen özgül üreme hızı 0.109 1/sa, üreme sonunda elde edilen maksimum kuru mikroorganizma derişimi ise 4.03 g. kuru mo./L'dir.

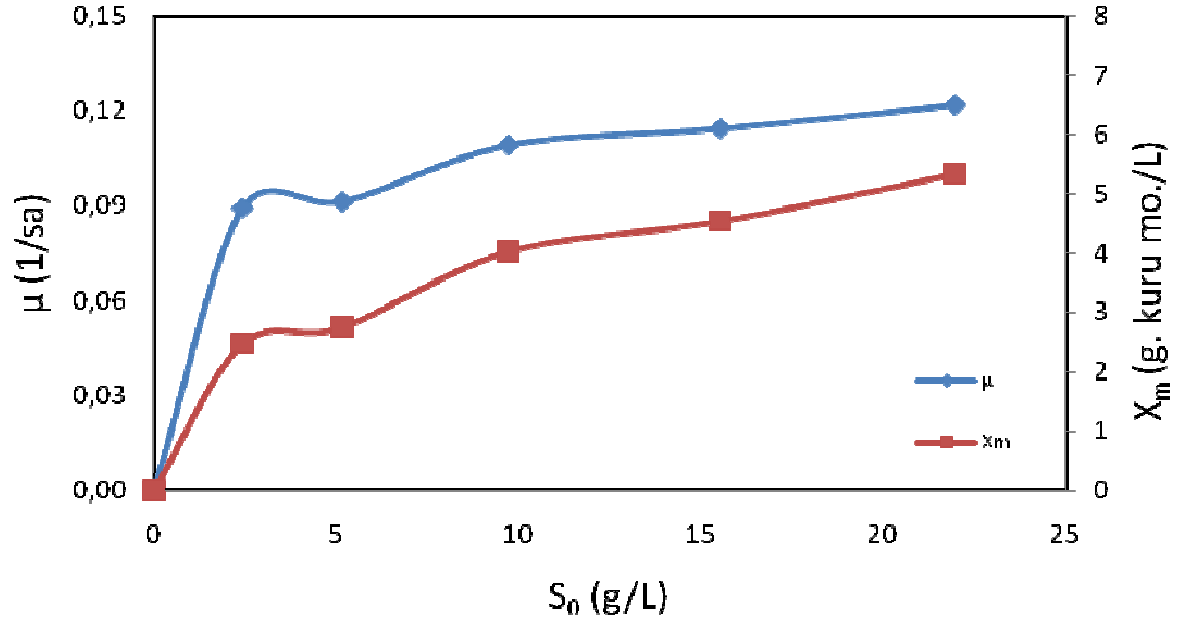


Şekil 5.7. Başlangıç pH'ının *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, So=10 g/L, K. H. 120 rpm).

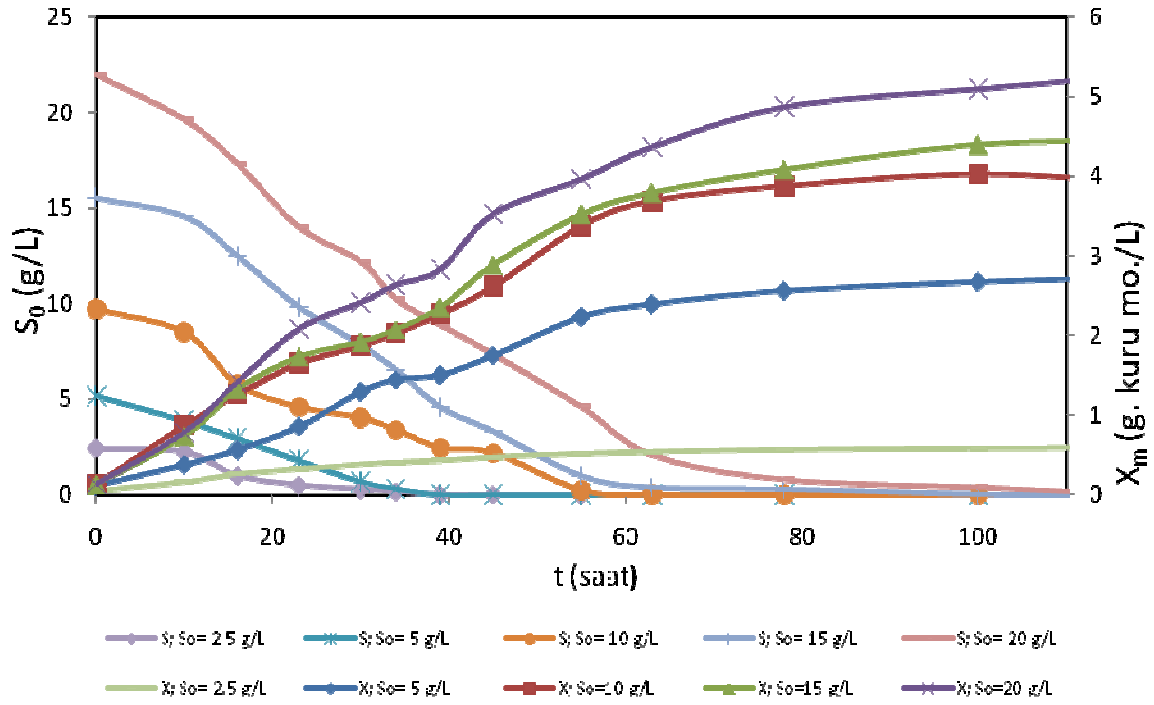
5.1.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

Mikroorganizmanın üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimini doğrudan etkileyen substrat maddesi olarak melas sakkarozu kullanılmış ve başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızına etkisi, 25°C sabit sıcaklık, 120 rpm karıştırma hızı ve pH 4.0' de, sakkaroz derişimi 2.5-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.8' de gösterilmiştir. Şekilden, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızı ile maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı ve bu derişim aralığında substrat inhibisyonun gözlenmediği görülmektedir. *C. tropicalis* için farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen üreme ve substrat tüketim eğrileri Şekil 5.9'da sunulmuştur. Bu Şekilden *C. tropicalis*'in, ortamda bulunan sakkaroz derişimine bağlı olarak, 50-100 saat arasında üremesini tamamladığı ve bu süre sonunda maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerine ulaştığı söylenebilir. Şekil 5.9' dan, ayrıca, başlangıç sakkaroz derişimindeki artışa bağlı olarak mikrobiyal üremenin gecikme evresinin kısaldığı ve başlangıç sakkaroz derişimi arttıkça mayanın sakkarozu daha uzun sürede tükettiği görülebilir. Çizelge 5.2'de ise, *C. tropicalis*'in, farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim

hızı değerleri sunulmuştur. Bu Çizelgeden, başlangıç sakkaroz derişiminin 2,5 g/L'den 20.0 g/L'ye kadar artmasıyla mayanın özgül üreme hızının 0,089'den 0,122 1/sa'e; maksimum kuru mikroorganizma derişiminin 2.47'den 5,34 g. kuru mo./L'ye; sakkaroz tüketim hızının 0,064'den 0,167 g sak/g kuru m.o. sa 'e arttığı görülebilir.



Şekil 5.8. Başlangıç sakkaroz derişiminin *C.tropicalis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)



Şekil 5.9. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*' in üreme ve substrat tüketim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

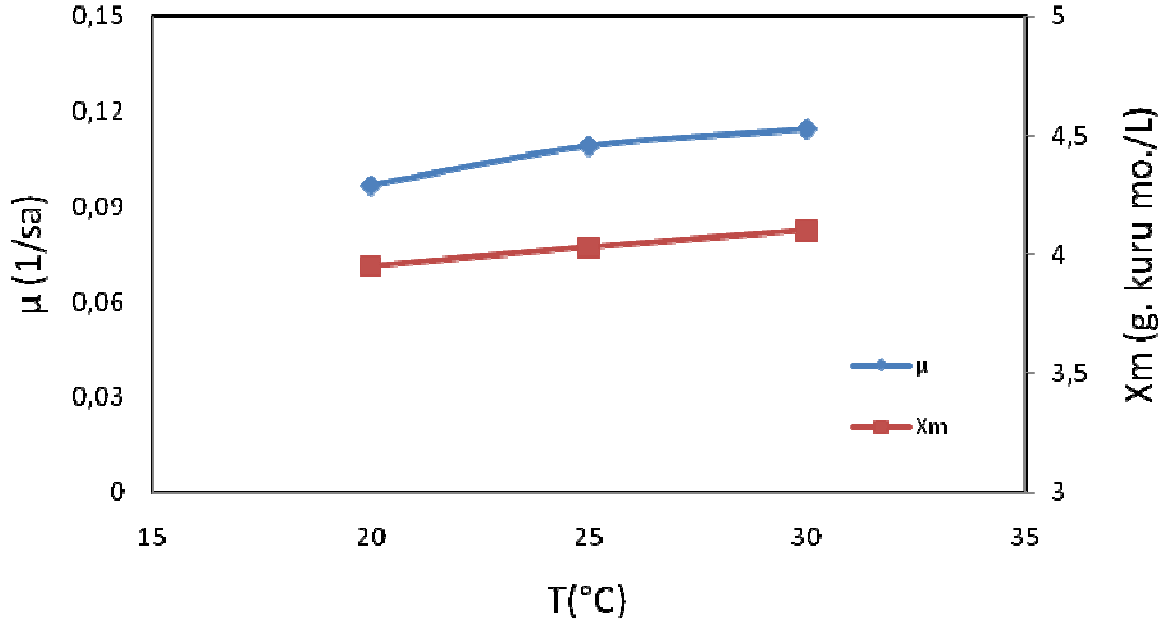
Çizelge 5.2. *C. tropicalis*' in farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ve sakkaroz tüketim hızı değerleri

S_0 g/L	μ 1/sa	X_m g. kuru mo./L	η g. sak/g kuru m.o. sa
2,43	0,089	2,47	0,064
5,17	0,091	2,75	0,116
9,72	0,109	4,03	0,135
15,53	0,115	4,54	0,144
21,96	0,122	5,34	0,167

5.1.2.3. Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın *C. tropicalis*' in üreme hızı ve maksimum kuru hücre derişimi üzerine etkisi 20-30 °C aralığında incelenmiş ve bulunan sonuçlar Şekil 5.10' da sunulmuştur. Şekilden, ortam sıcaklığının artması ile mayanın özgül üreme hızının arttığı, ancak maksimum mikroorganizma derişiminde belirgin bir artış olmadığı görülebilir. Ortam sıcaklığının 20 °C'den 30 °C'ye artmasıyla, özgül üreme hızı

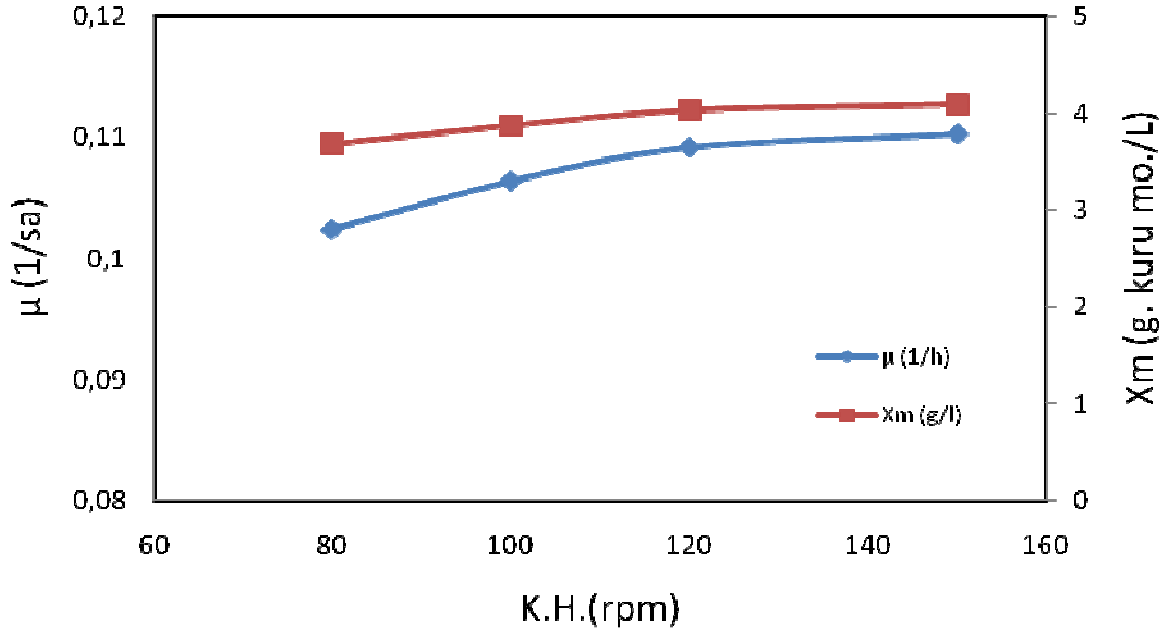
0.097'den 0.115 1/sa' e; maksimum kuru mikroorganizma derişimi ise 3.95'dan 4.10 g. kuru mo./L'ye artmiştir. 25°C' dan 30°C' a artan sıcaklığın, mayanın özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerini çok fazla etkilememesinden dolayı, çalışmaların bundan sonraki kısımları 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10. Sıcaklığın *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (So=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

5.1.2.4. Karıştırma Hızının Etkisi

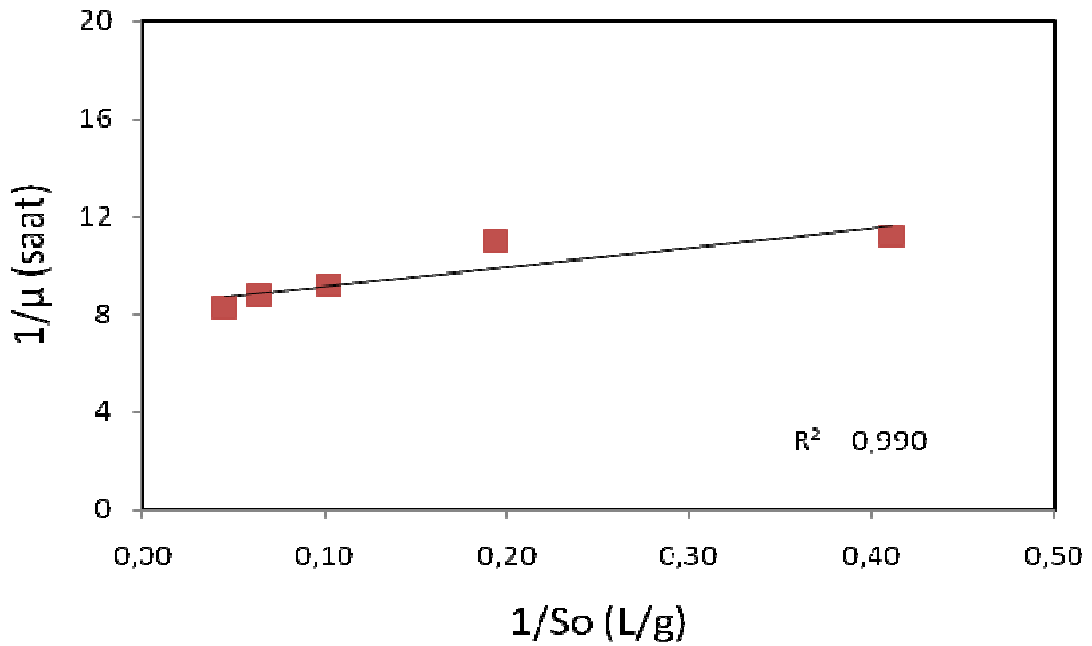
Çalışmanın bu aşamasında, 80-150 rpm arasında değişen karıştırma hızının, *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkisi incelendiğinde, Şekil.5.11. 'den görülebileceği üzere, karıştırma hızı arttıkça maya üreme hızı ve kapasitesinin attığı, 120 rpm' den yüksek karıştırma hızlarının hücre üreme hızına ve kuru mikroorganizma derişimine etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda karıştırma hızı 120 rpm olarak sabit tutulmuştur.



Şekil 5.11. Karıştırma hızının *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi ($S_0=10$ g/L, pH=4.0, $T=25^\circ\text{C}$)

5.1.2.5. Kinetik Sabitlerin Bulunması

Monod eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla elde edilen Eşitlik 3.5'e göre çizilen $1/\mu$ 'ye karşı $1/S_0$ grafiğinden (Şekil 5.12) *C. tropicalis*' in maksimum özgül üreme hızı (μ_m) 0.135 1/sa, doygunluk sabiti (K_s) ise 2.43 g/L olarak bulunmuştur.



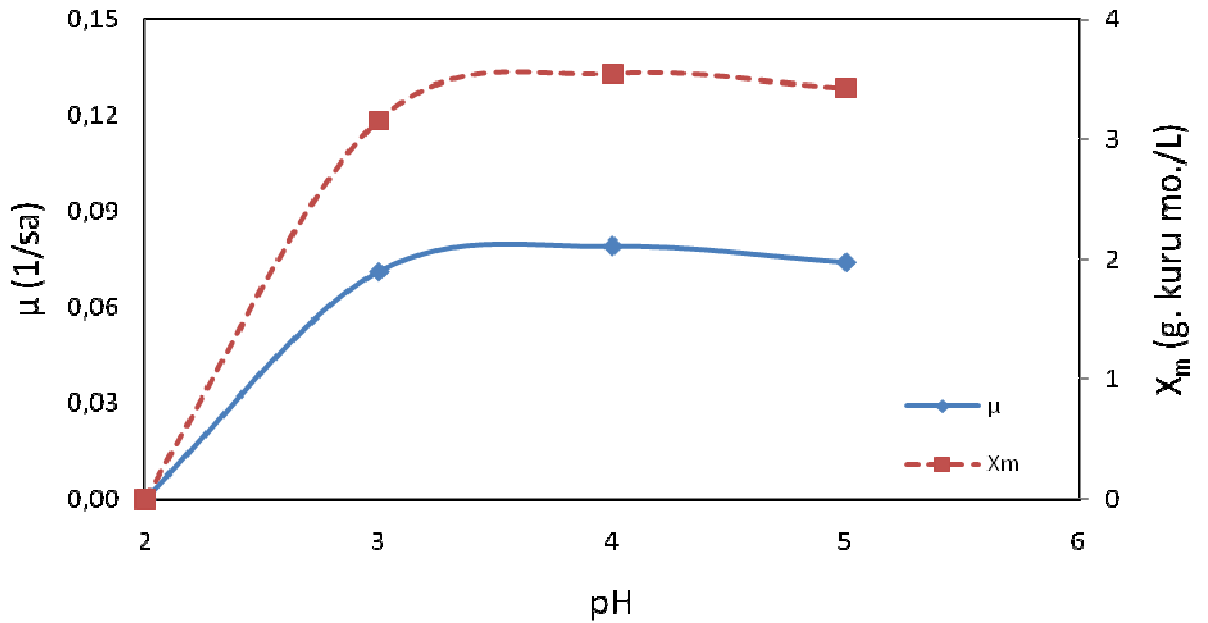
Şekil 5.12. *C. tropicalis*' e ait $1/\mu-1/S_0$ grafiği

5.2. Kadmiyum(II) içeren Melaslı Besin Ortamında Maya Üreme Kinetiğinin İncelenmesi

5.2.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.2.1.1. 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 50 mg/L kadmiyum(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *C. utilis*' in özgül üreme hızına ve maksimum 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'de ise maksimum özgül üreme hızı (0.085 1/sa) ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi (2.63 g. kuru mo./L) değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.13). Ancak, aynı optimum pH değerinde, 50 mg/L kadmiyum(II) içeren ortamdaki özgül üreme hızı ve kapasitesi değerlerinin, metal iyonu içermeyen ortamdakilerden daha düşük olduğu görülmüştür.

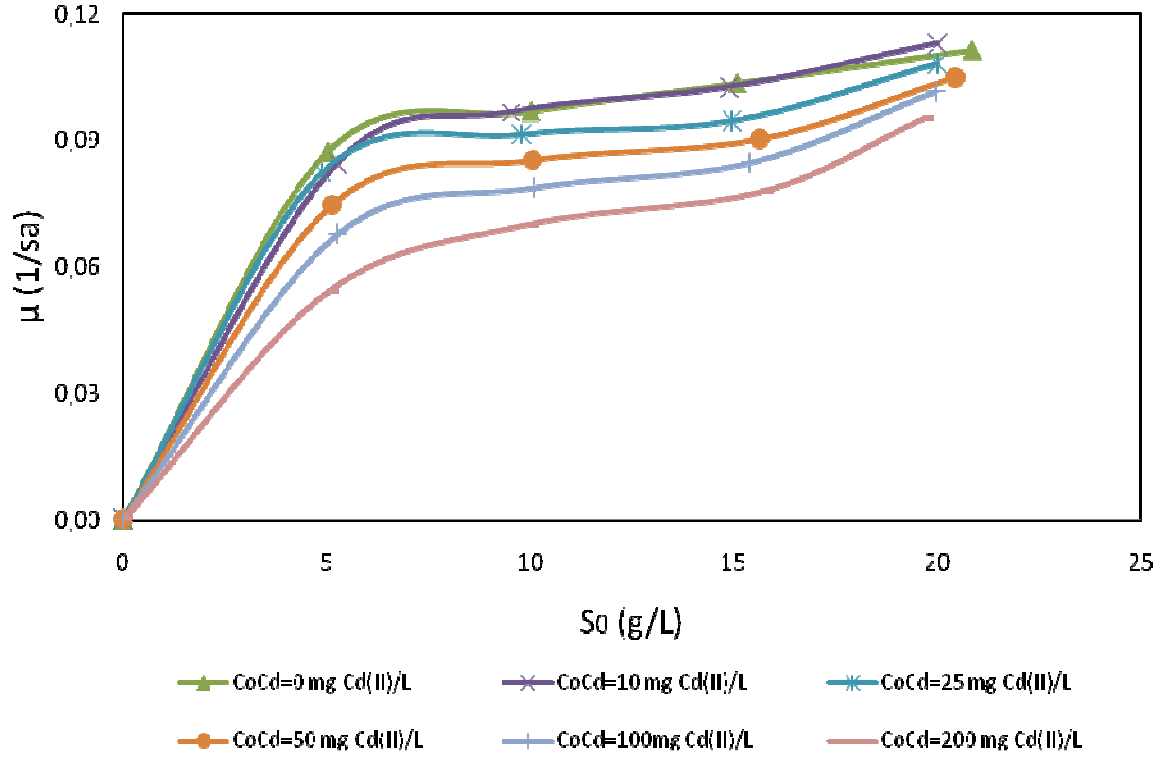


Şekil 5.13. 50 mg/L kadmiyum(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, So=10 g/L, CoCd=50 mg/L, K. H. 120 rpm).

5.2.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

Tez çalışmasının bu kısmında, kadmiyum(II) iyonlarının maya hücreleri üzerindeki inhibisyon etkisinin incelenmesi için, sabit kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin mayanın özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişimi 5-20 g/L aralığında değiştirilerek elde edilen sonuçlar Şekil 5.14'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimi için, başlangıç sakkaroz derişiminin 5'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla mayanın özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin arttığı, ancak kadmiyum(II) içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, kadmiyum(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini büyük ölçüde azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.3'te ise her bir sabit kadmiyum(II) derişimi için, farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis*'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden, 10'dan 200 mg/L'ye kadar artan bütün kadmiyum(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hızının, sakkaroz tüketim hızının ve maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı, ancak kadmiyum(II) derişimindeki artışın bu değerleri düşürdüğü gözlenmektedir.

Örnek olarak, kadmiyum(II) iyonu içermeyen ve 10 g/L başlangıç sakkaroz içeren besin ortamında *C. utilis*'in özgül üreme hızı 0.097 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.112 g sak/g kuru m.o. sa, maksimum kuru mikroorganizma derişimi 3.38 g. kuru mo./L iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.079 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.096 g sak/g kuru m.o. sa 'e, maksimum kuru mikroorganizma derişimi ise 2.63 g. kuru mo./L'ye düşmüştür.



Şekil 5.14. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

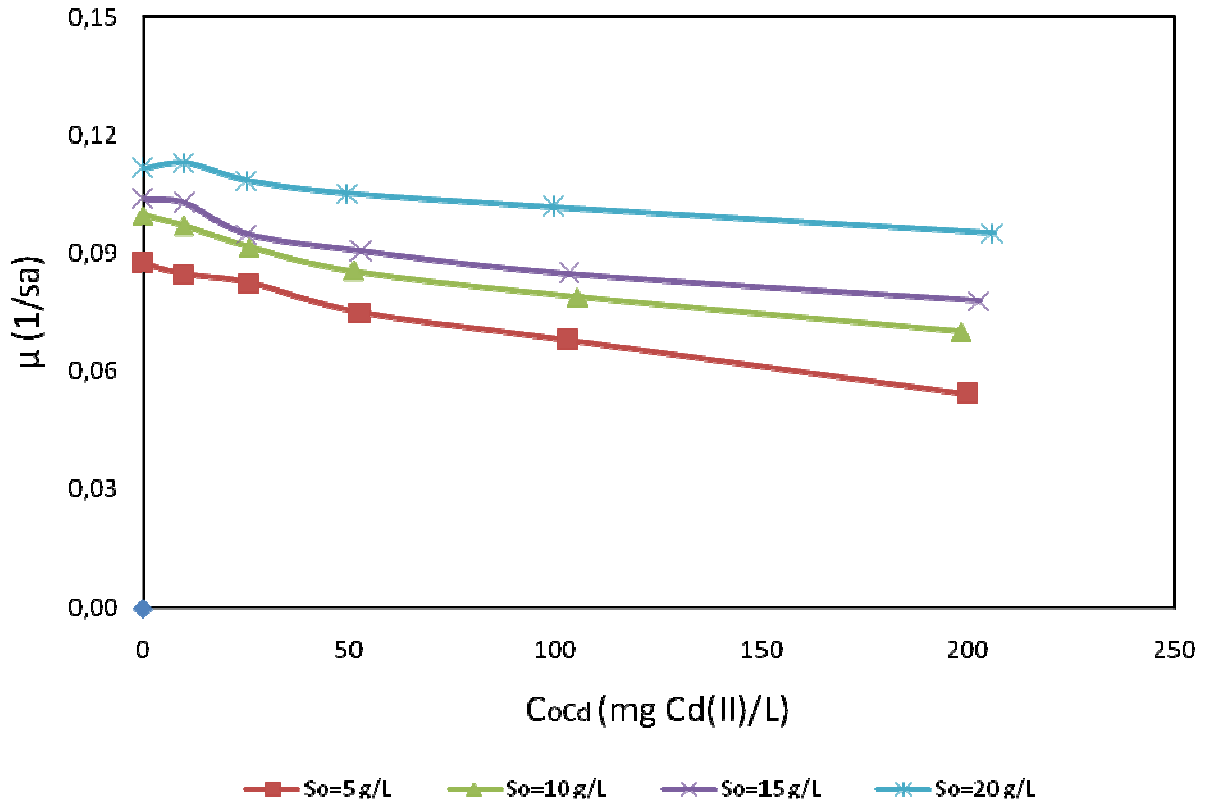
Çizelge 5.3. *C. utilis*' in her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri

S ₀ g/L	C _{0Cd} mg Cd(II)/L	μ 1/sa	X _m g. kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
5,02	0,00	0,087	1,90	0,114
10,02	0,00	0,097	3,38	0,112
15,08	0,00	0,104	4,33	0,129
20,85	0,00	0,111	5,59	0,135
5,26	9,87	0,085	1,78	0,111
9,54	9,75	0,097	3,05	0,116
14,89	10,22	0,103	3,77	0,126
20,01	9,88	0,113	4,91	0,134
4,88	25,76	0,082	1,64	0,106
9,79	25,79	0,091	2,89	0,111
14,95	25,27	0,095	3,39	0,117
20,01	25,27	0,108	4,45	0,129
5,13	52,58	0,075	1,50	0,092
10,07	50,86	0,085	2,63	0,102
15,64	52,87	0,09	3,10	0,107
20,45	49,29	0,105	4,03	0,114
5,26	103,15	0,068	1,35	0,085
10,10	105,36	0,079	2,38	0,096
15,39	103,29	0,085	2,40	0,102
19,97	99,65	0,102	3,82	0,109
5,05	199,65	0,054	1,02	0,069
9,98	198,3	0,07	1,69	0,085
15,72	202,8	0,078	1,94	0,095
19,69	205,87	0,095	2,81	0,099

5.2.1.3. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

Kadmiyum(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, Çizelge 5.3' te verilen aynı verilerle, 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 10-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de

incelenebilir. Verilerin bu Şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına karşı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimi eğrileri Şekil 5.15'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla mayanın özgül üreme hızı değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 5.15. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

5.2.1.4. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

Besin ortamındaki kadmiyum(II) iyonlarının, *C. utilis*' in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu belirlemek amacıyla tek bileşenli inhibisyon için Eş. 3.6., 3.7. ve 3.8.' de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak bilgisayar

yardımla 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 Eş. 5.1'de tanımlanmıştır.

$$\text{Ortalama \%Hata} = \frac{((\mu_{den} - \mu_{teo}) / \mu_{den}) \times 100}{N} \quad (5.1)$$

Burada N deney sayısını göstermektedir

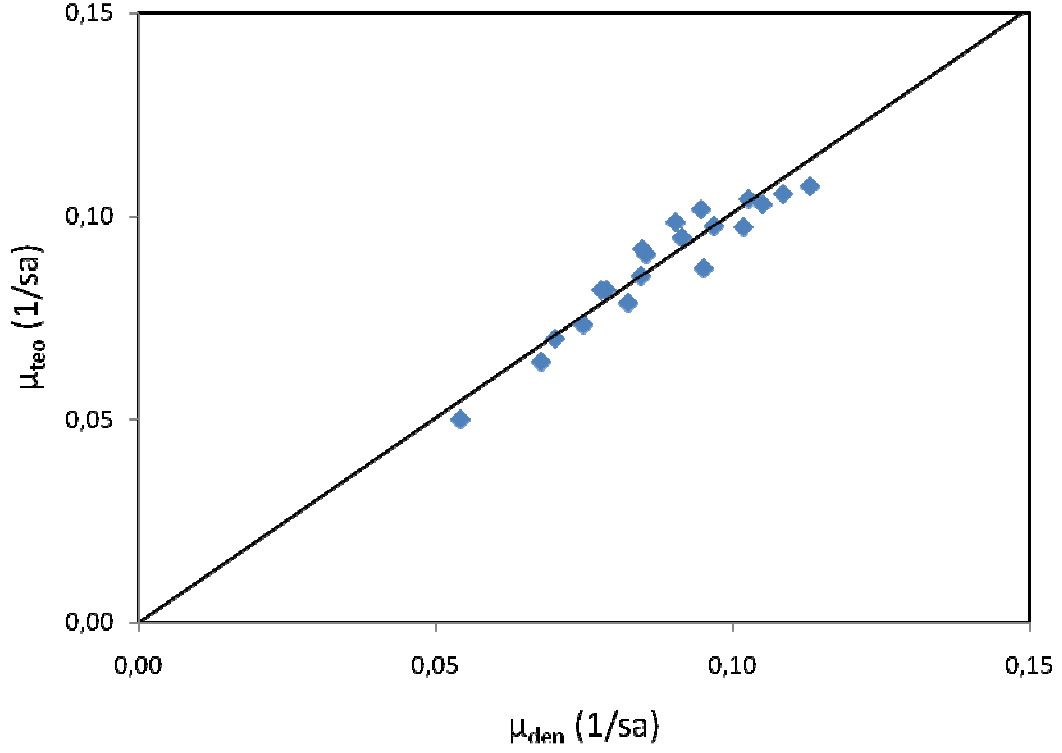
İkinci durumda, deneysel ve inhibisyon modellerinden bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin birbirine matematiksel uyumu R^2 (non-lineer regresyon katsayısı) cinsinden de ifade edilebilir. Bu yöntemde, deneysel ve teorik özgül üreme hızı değerlerinin 45° doğrusuna yakınlığı, bu değerlerin birbirine uyumunu gösterir.

Deneysel verilerin tek bileşen için türetilmiş yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri ortalama % hata ve R^2 değerleriyle birlikte Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik μ değerleri ise deneysel μ değerleriyle R^2 'ler verilerek 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 5.16., 5.17. ve 5.18.).

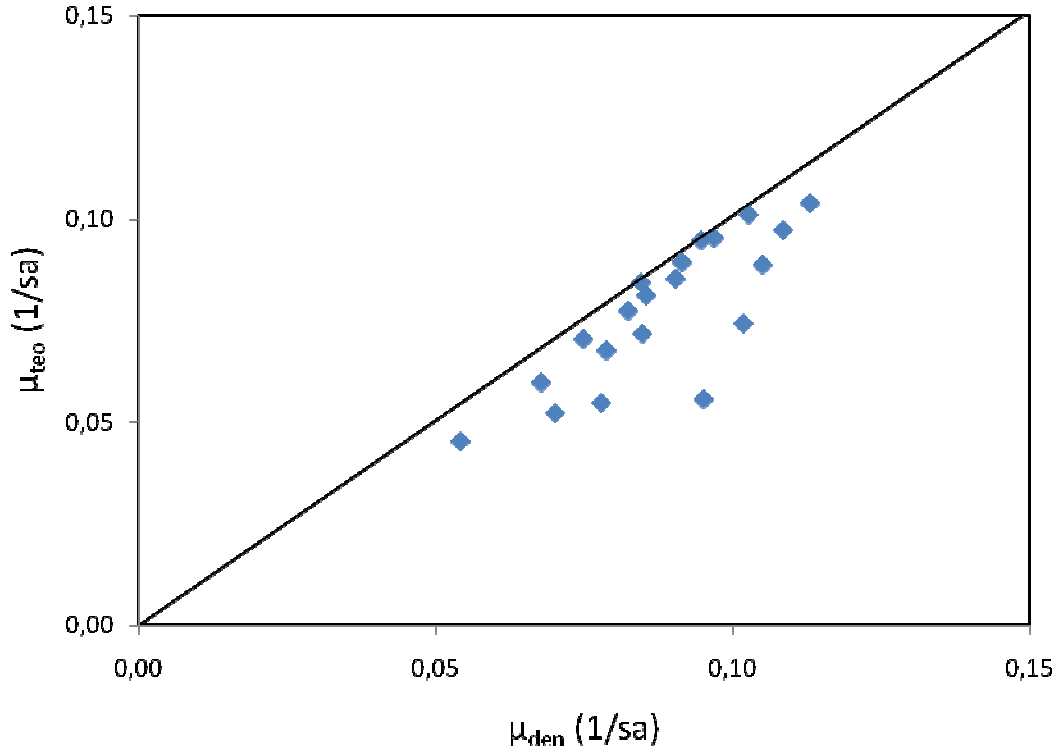
Bu Şekiller ile Çizelge 5.e' teki non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama % hata değerleri kıyaslanarak, kadmiyum(II) iyonlarının *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kadmiyum(II) iyonlarının *C. utilis*'in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri

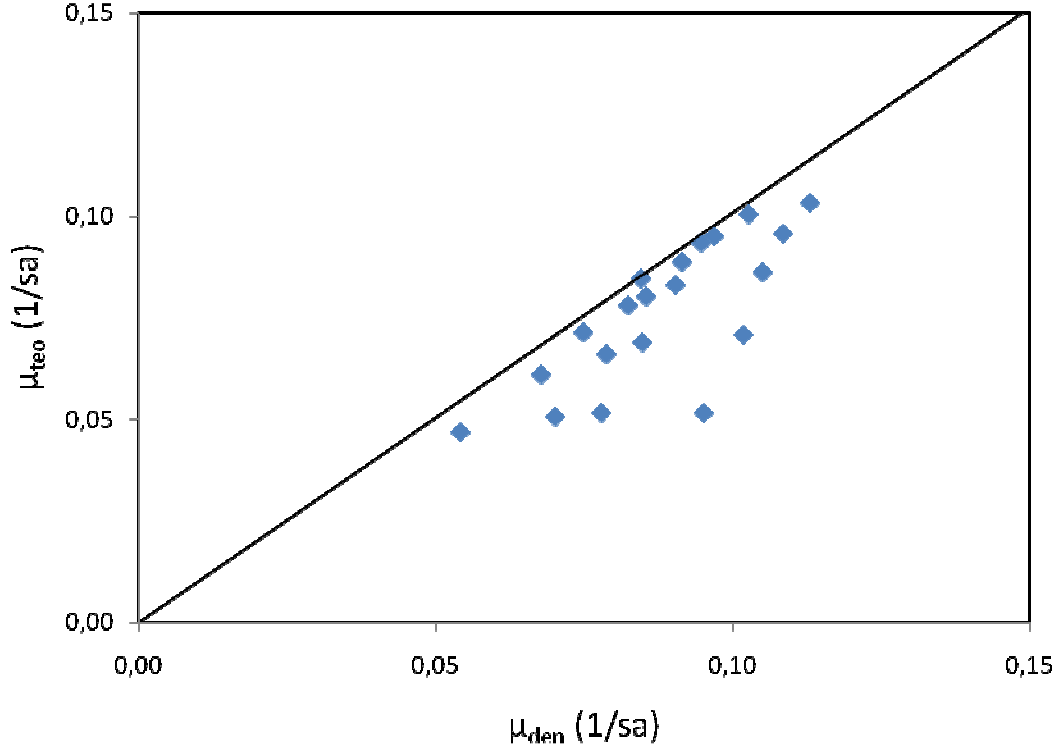
Inhibisyon türü	K_i (mg/L)	Ort % Hata	R^2
Yarışmalı	70,12	4,43	0,909
Yarışmasız	215,77	12,14	0,663
Kısmi yarışmalı	170,84	13,32	0,589



Şekil 5.16. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.17. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması

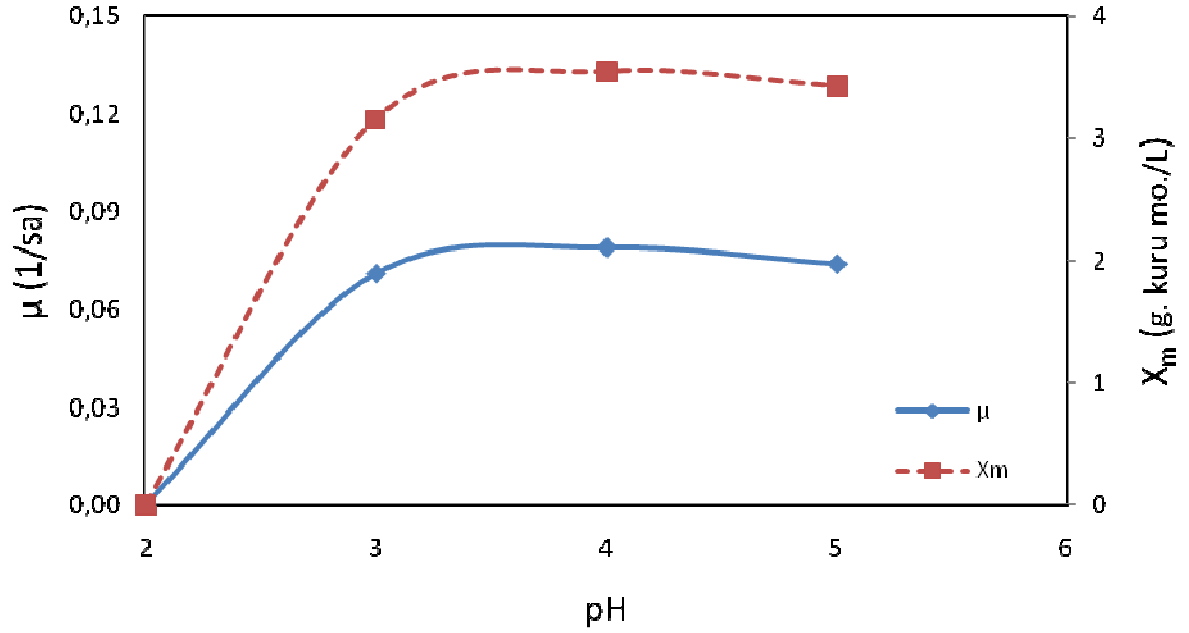


Şekil 5.18. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.2.2. *Candida tropicalis* Çalışmaları

5.2.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

50 mg/L kadmiyum(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *C. tropicalis*' in özgül üreme hızına ve maksimum 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'de ise maksimum özgül üreme hızı ve mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.19). Ancak kadmiyum(II) içeren ve içermeyen ortamlarda bulunan optimum üreme pH değerleri aynı olsa da, kadmiyum(II) içeren ortamda elde edilen maksimum özgül üreme hız (0.079 1/sa) ve kuru mikroorganizma derişim (3.54 g. kuru mo./L) değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.

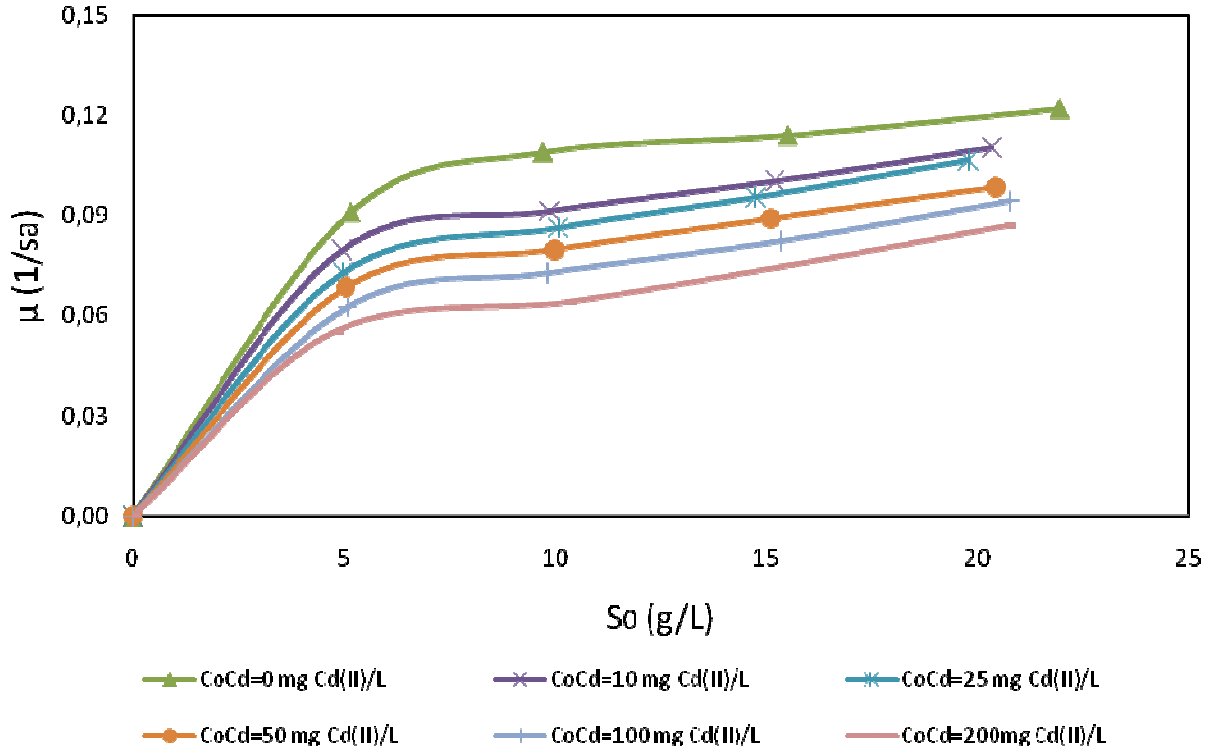


Şekil 5.19. 50 mg/L kadmiyum(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, S₀=10 g/L, C_{0Cd}=50 mg/L, K. H. 120 rpm).

5.2.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, mikroorganizmanın üremesine başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi 5-20 g/L aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.20'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla mayanın özgül üreme hız değerlerinin arttığı, ancak kadmiyum(II) içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, kadmiyum(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.5'de ise, *C. tropicalis* için her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişimi için, 5-20 g/L aralığında değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 5'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla, 10'dan 200 mg/L'ye kadar değişen bütün sabit kadmiyum(II) derişimlerinde, özgül üreme hızının, sakkaroz tüketim hızının ve maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı, ancak kadmiyum(II) derişimindeki artışın bu değerleri düşürdüğü gözlenmektedir.

Örnek olarak, kadmiyum(II) iyonu içermeyen ve 10 g/L sakkaroz içeren besin ortamında *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı 0.109 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.135 g sak/g kuru m.o. sa, maksimum kuru mikroorganizma derişimi 4.03 g. kuru mo./L iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.0,073 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.108 g sak/g kuru m.o. sa 'e, maksimum kuru mikroorganizma derişimi 2.79 g. kuru mo./L'ye düşmüştür.



Şekil 5.20. 0-200 mg/L aralığında değışen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

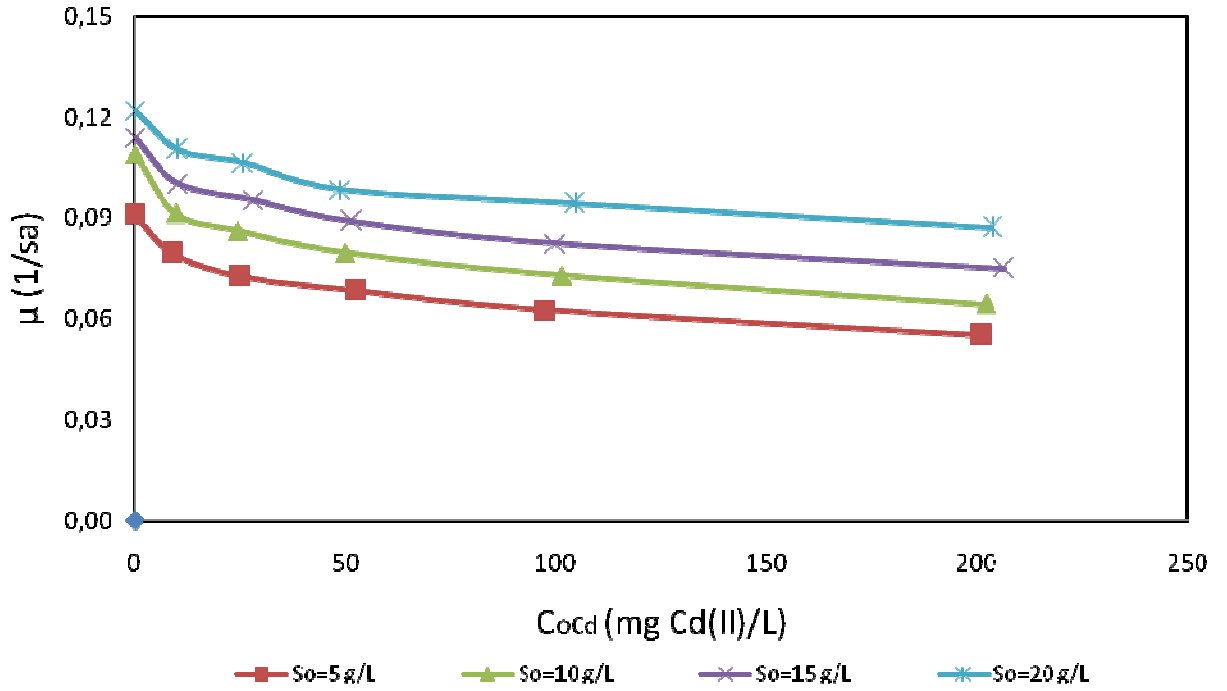
Çizelge 5.5. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*' in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri

S _o g/L	C _{oCd} mg Cd(II)/L	μ 1/sa	X _m g. kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
5,17	0,00	0,091	2,75	0,116
9,72	0,00	0,109	4,03	0,135
15,53	0,00	0,114	4,54	0,144
21,96	0,00	0,122	5,34	0,167
4,96	8,94	0,080	2,46	0,113
9,87	9,71	0,091	3,67	0,133
15,22	10,02	0,100	4,24	0,143
20,36	10,16	0,110	5,03	0,164
4,98	25,11	0,073	2,28	0,109
10,09	24,36	0,086	3,60	0,131
14,76	27,84	0,095	3,89	0,139
19,81	25,65	0,106	4,95	0,164
5,05	52,21	0,068	2,19	0,102
9,98	49,87	0,080	3,54	0,119
15,10	51,46	0,089	3,60	0,132
20,44	48,87	0,098	4,66	0,146
5,09	97,54	0,063	1,93	0,095
9,83	101,32	0,073	2,79	0,108
15,36	99,94	0,082	3,11	0,123
20,78	104,53	0,094	3,73	0,137
4,76	201,13	0,055	1,47	0,086
10,31	202,34	0,064	2,17	0,096
15,46	206,44	0,075	2,46	0,109
20,70	203,57	0,087	2,90	0,123

5.2.2.3. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

Kadmiyum(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, Çizelge 5.5' de verilen aynı verilerle, 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 10-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de

incelenebilir. Verilerin bu Şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen mikroorganizma özgül üreme hızının başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimi ile değişim eğrileri Şekil 5.21’de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin 200 mg/L’ye kadar artmasıyla mikroorganizma özgül üreme hız değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görölmektedir.



Şekil 5.21. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis*’ in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

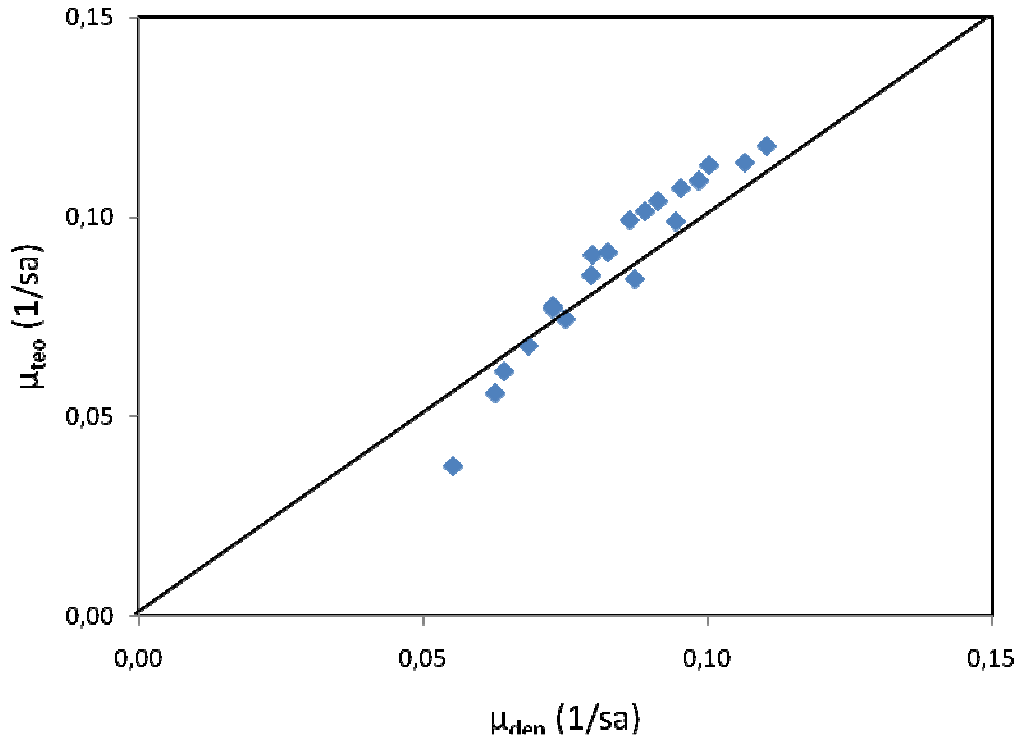
5.2.2.4. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

Besin ortamındaki kadmiyum(II) iyonlarının, *C. tropicalis*’ in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için Eş. 3.6., 3.7. ve 3.8.’de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Deneysel verilerin tek bileşen için türetilmiş yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R² değerleriyle birlikte Çizelge 5.6’da

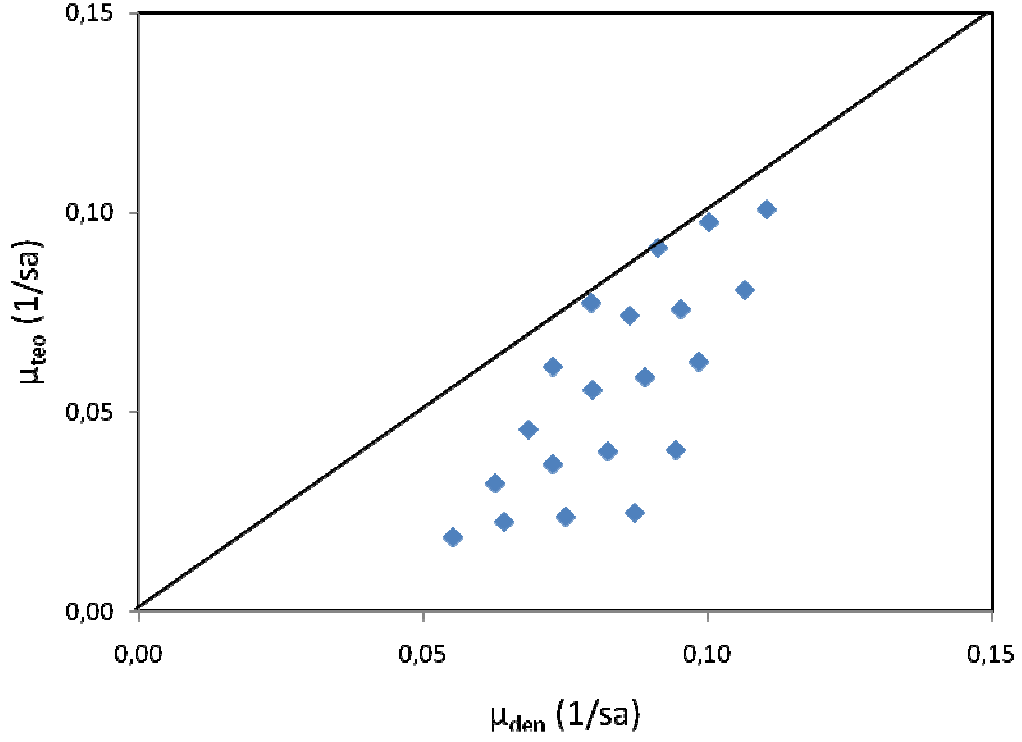
sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik μ değerleri ise deneysel μ değerleriyle 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 5.22, 5.23 ve 5.24). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama % hata değerleri kıyaslanarak, kadmiyum(II) iyonlarının *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeli olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kadmiyum(II) iyonlarının *C. tropicalis*' in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri

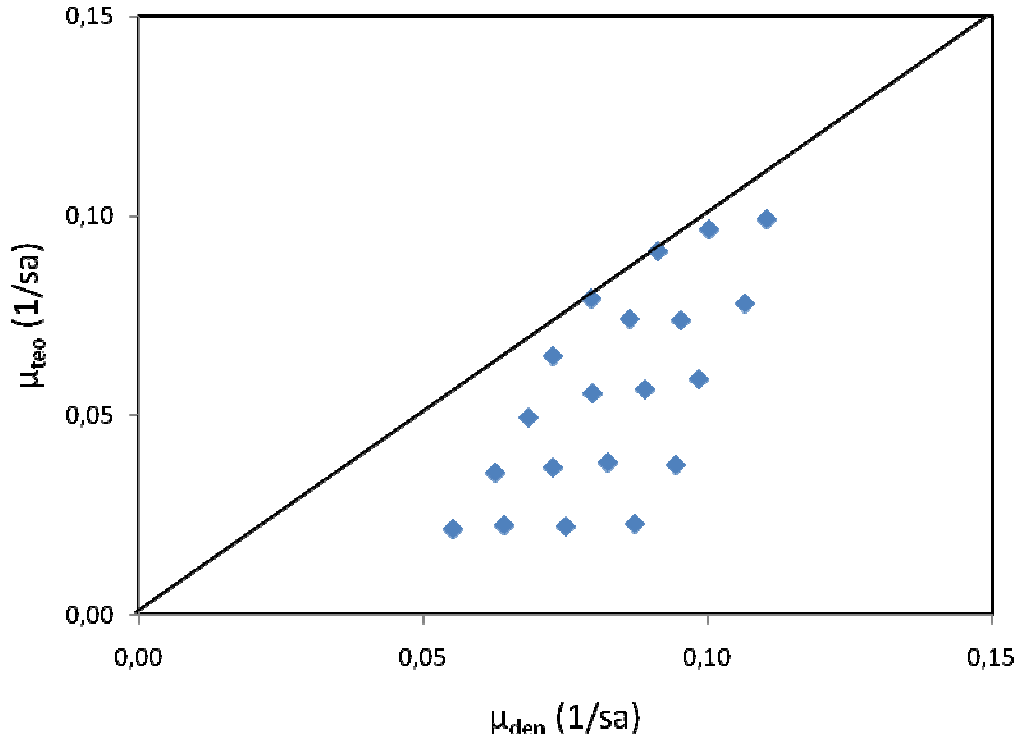
İnhibisyon türü	K_i (mg/L)	Ort % Hata	R^2
Yarışmalı	49,56	9,70	0,934
Yarışmasız	52,56	35,04	0,561
Kısmi yarışmalı	42,17	34,99	0,480



Şekil 5.22. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.23. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması



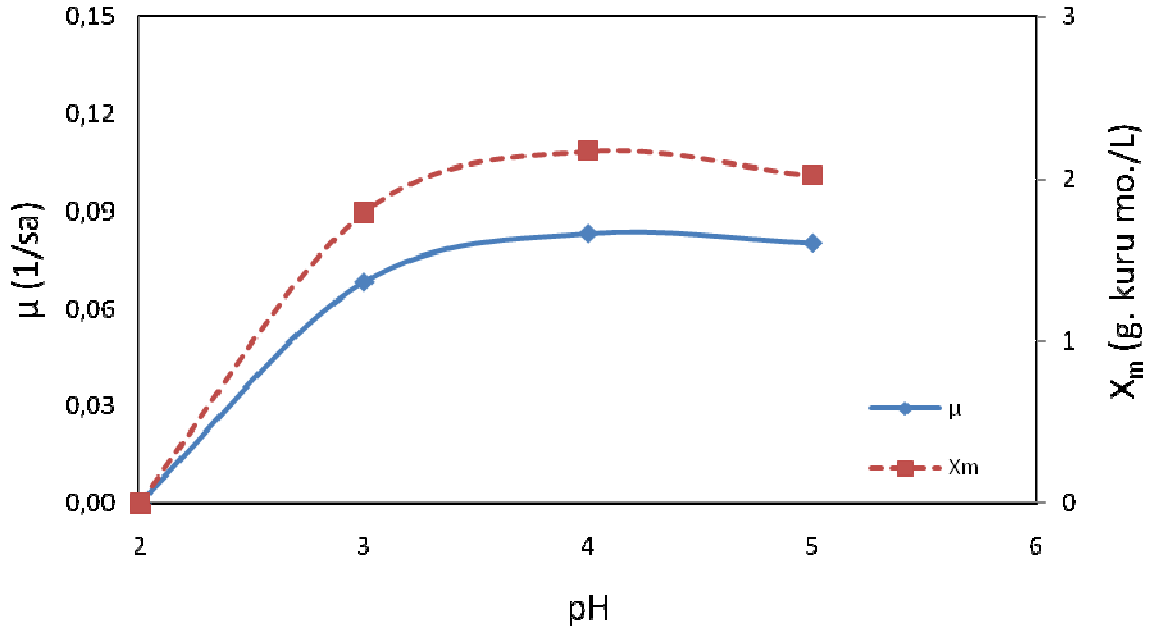
Şekil 5.24. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.3. Nikel(II) İçeren Besin Ortamında Maya Büyüme Kinetiğinin İncelenmesi

5.3.1. *Candida utilis* alışmaları

5.3.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

Nikel(II) iyonu içeren besin ortamında da başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesini nasıl etkilediğini bilmek biyobirikim çalışmalarına ışık tutması açısından önemlidir. Bu amaçla 50 mg/L nikel(II) içeren ortamda, başlangıç pH'ının *C. utilis*'in özgül üreme hızına ve maksimum 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'de ise maksimum özgül üreme hızı ve kuru mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (şekil 5.25) Ancak nikel(II) içeren ve içermeyen ortamlarda bulunan optimum üreme pH değerleri aynı olsa da, nikel(II) içeren ortamda elde edilen maksimum özgül üreme hız (0.083 1/sa) ve kuru mikroorganizma derişim (2.17 g. kuru mo./L) değerlerinin daha düşük olduğu da gözden kaçırılmamalıdır.

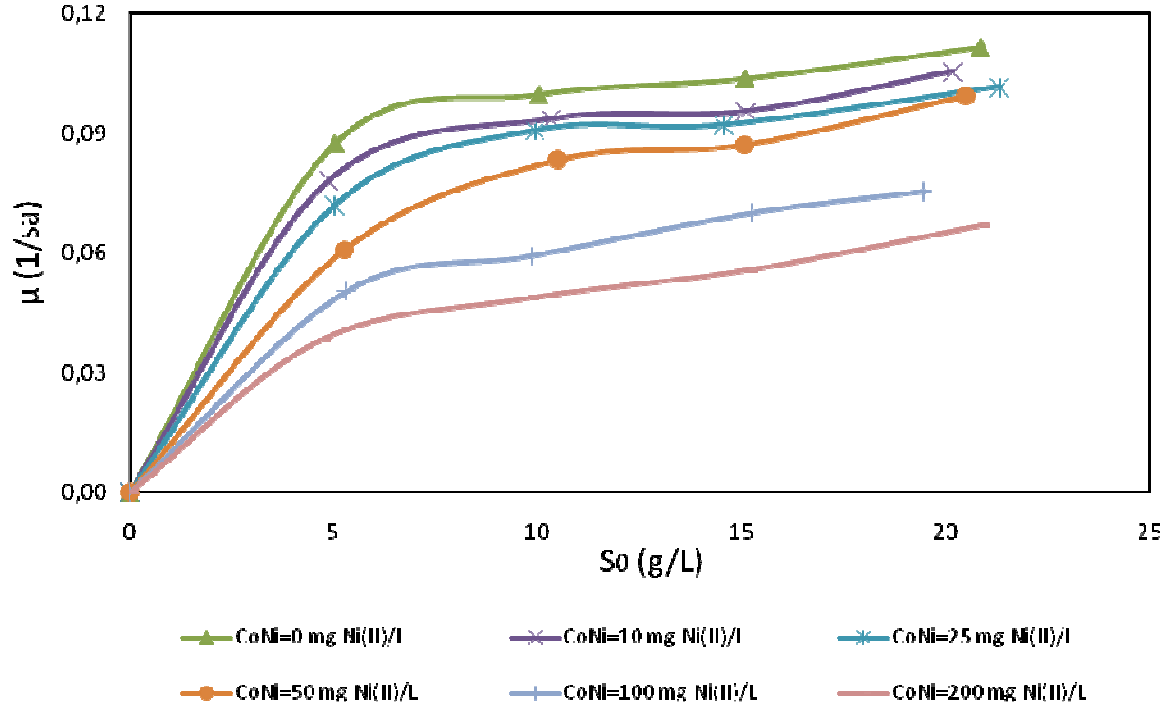


şekil 5.25. 50 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C. utilis*'in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, So=10 g/L, CoNi=50mg/L, K. H. 120 rpm)

5.3.1.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

Başlangıç sakkaroz derişiminin mikroorganizmanın özgül üreme hızına etkisi incelenirken, ağır metal iyonlarının neden olduğu inhibisyonun da araştırılması gerekmektedir. Nikel(II) iyonlarının neden olduğu bu inhibisyonun modellenmesi ve inhibisyon türünün belirlenmesi de ancak her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç substrat derişiminin değiştirilmesi ile yapılabilir. Bu amaçla 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, mikroorganizmanın üremesine başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi 5-20 g/L aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.26'da sunulmuştur. Şekilden, çalışılan her bir sabit başlangıç nikel(II) iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin arttığı, ancak nikel(II) içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, nikel(II) iyon derişimindeki artışı özgül üreme hız değerlerini büyük ölçüde azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.7'de ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ile maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 5' den 20 g/L'ye kadar artmasıyla, 10' dan 200 mg/L' ye kadar değişen bütün sabit nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hızının, sakkaroz tüketim hızının ve maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı, nikel(II) derişimindeki artışı ise bu değerleri düşürdüğü gözlenmektedir.

Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ve 10 g/L sakkaroz içeren besin ortamında *C. utilis* 'in özgül üreme hızı 0.097 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.112 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 3.38 g. kuru mo./L saat iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda 100 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.059 1/sa' e, sakkaroz tüketim hızı 0.081 g sak/g kuru m.o. sa ' e ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.83 g. kuru mo./L'ye düşmüştür.



Şekil 5.26. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

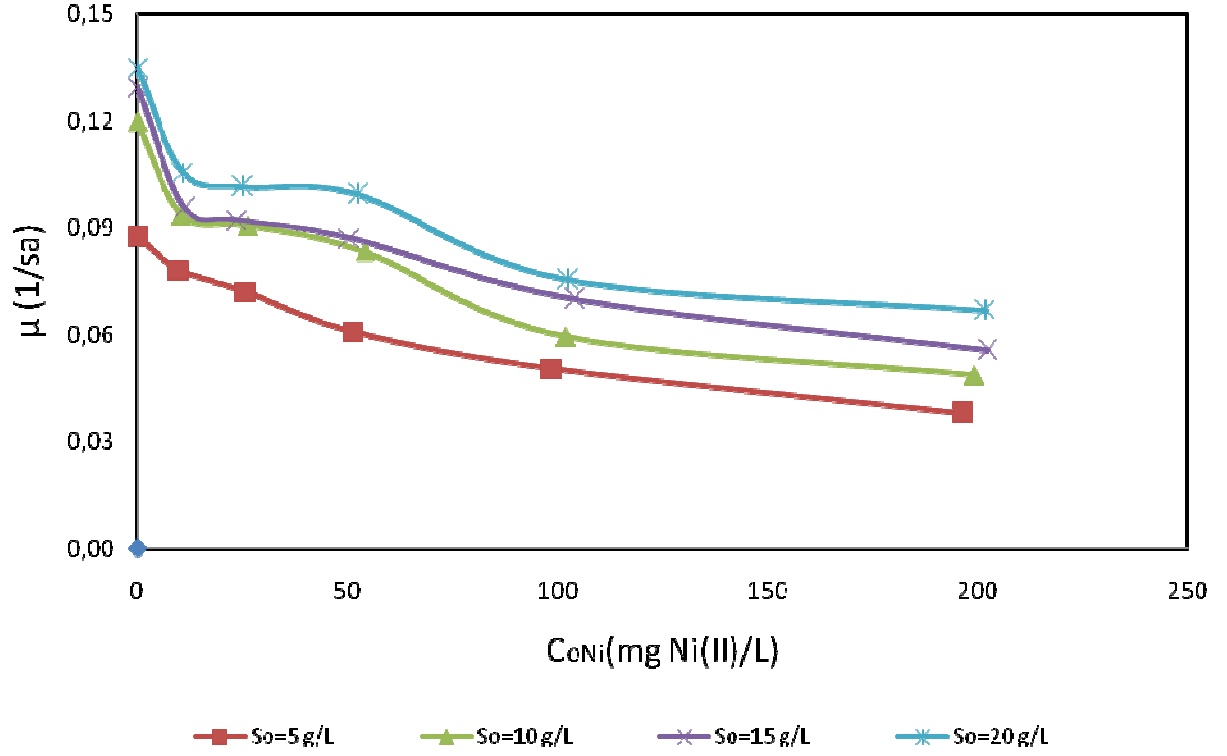
Çizelge 5.7. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri

S ₀ g/L	C _{0Ni} mg Ni(II)/L	μ 1/sa	X _m g. kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
5,02	0,0	0,087	1,90	0,114
10,02	0,0	0,097	3,38	0,112
15,08	0,0	0,104	4,33	0,129
20,85	0,0	0,111	5,59	0,135
4,88	9,86	0,078	1,48	0,099
10,33	10,55	0,093	2,35	0,110
15,11	11,23	0,095	2,90	0,119
20,19	10,77	0,105	3,91	0,122
5,02	25,63	0,072	1,35	0,934
9,94	26,12	0,091	2,44	0,105
14,56	23,45	0,092	2,76	0,110
21,33	25,16	0,101	3,89	0,120
5,26	51,11	0,061	1,29	0,085
10,49	54,06	0,083	2,17	0,097
15,07	50,47	0,087	2,46	0,102
20,51	52,33	0,099	3,31	0,112
5,31	98,64	0,050	1,14	0,076
9,87	101,84	0,059	1,83	0,081
15,26	104,21	0,070	2,07	0,088
19,46	102,45	0,075	2,62	0,094
4,66	196,33	0,038	0,95	0,063
9,79	199,17	0,049	1,39	0,073
15,16	202,37	0,056	1,58	0,078
20,85	201,84	0,067	1,80	0,087

5.3.1.3. Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi

Nikel(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 10-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu

Şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına karşı başlangıç nikel(II) iyon derişimi eğrileri Şekil 5.27’de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç nikel(II) iyon derişiminin 200 mg/L’ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 5.27. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

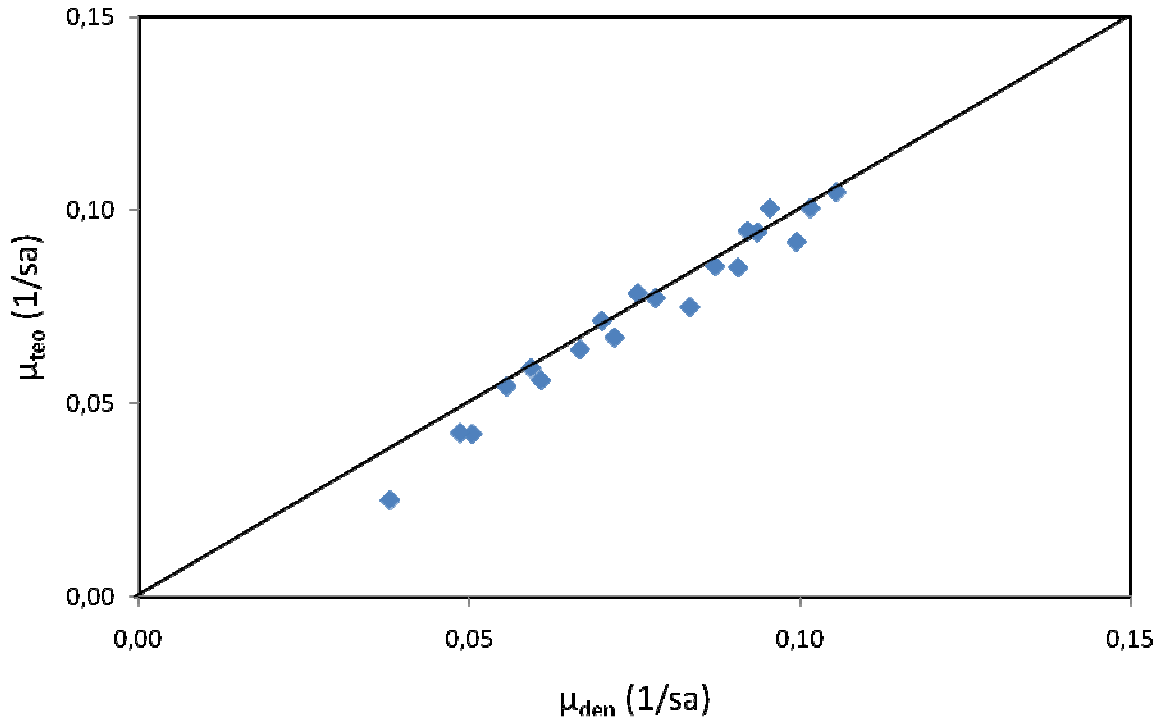
5.3.1.5. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

Besin ortamındaki nikel(II) iyonlarının, *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için Eş. 3.6., 3.7. ve 3.8’de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Deneysel verilerin tek bileşen için türetilmiş yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleriyle birlikte Çizelge 5.8’de sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik μ değerleri ise deneysel μ değerleriyle

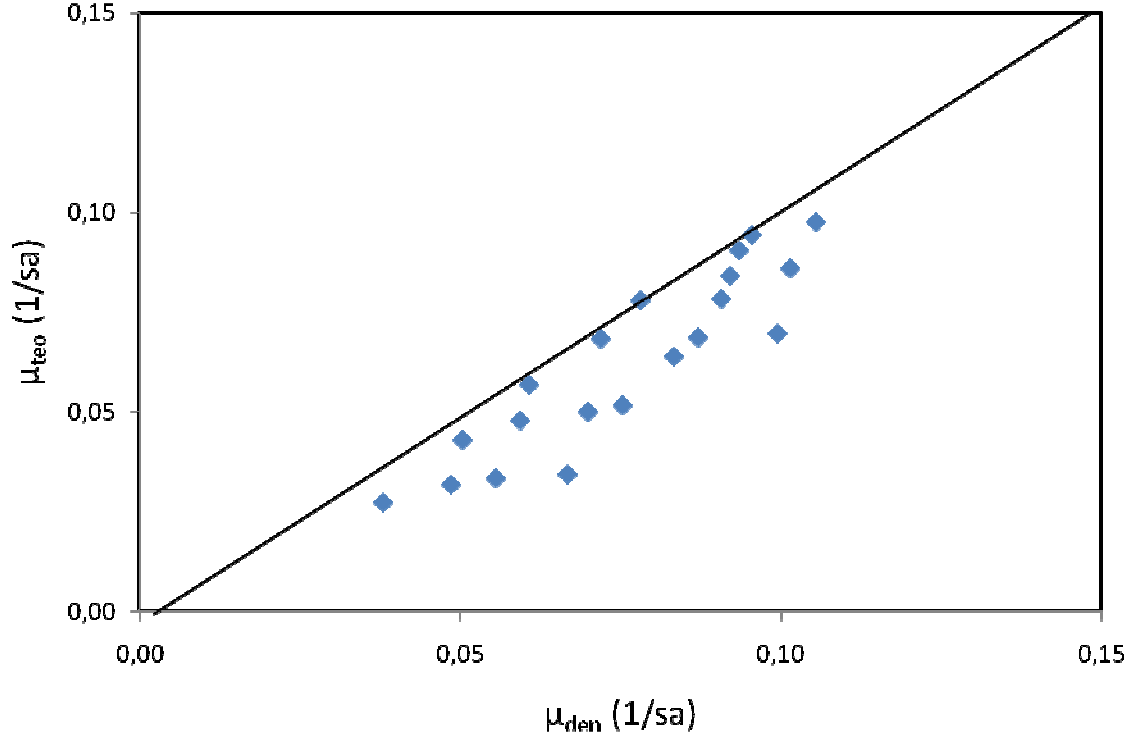
45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 5.28, 5.29 ve 5.23). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama % hata değerleri kıyaslanarak, nikel(II) iyonlarının *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun da yarışmalı inhibisyon modeli olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.8. Nikel(II) iyonlarının *C. utilis* 'in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R² değerleri

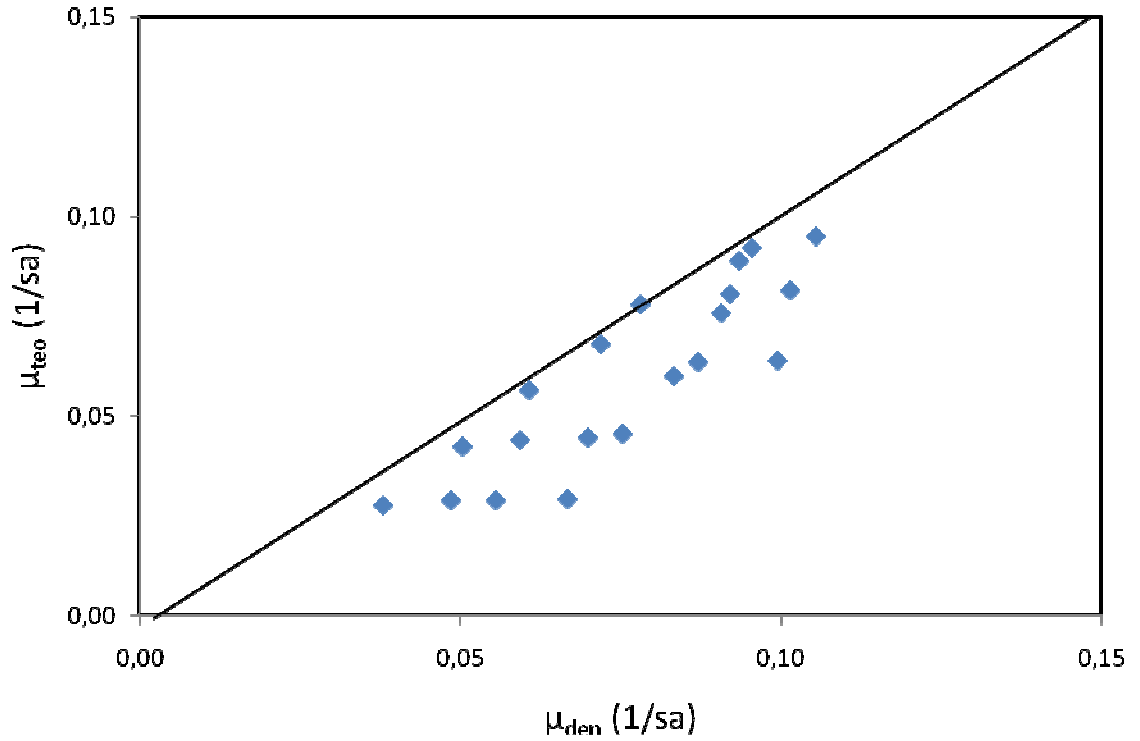
İnhibisyon türü	K _i (mg/L)	Ort % Hata	R ²
Yarışmalı	23,02	6,31	0,967
Yarışmasız	92,97	19,02	0,823
Kısmi yarışmalı	67,71	22,29	0,753



Şekil 5.28. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.29. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması

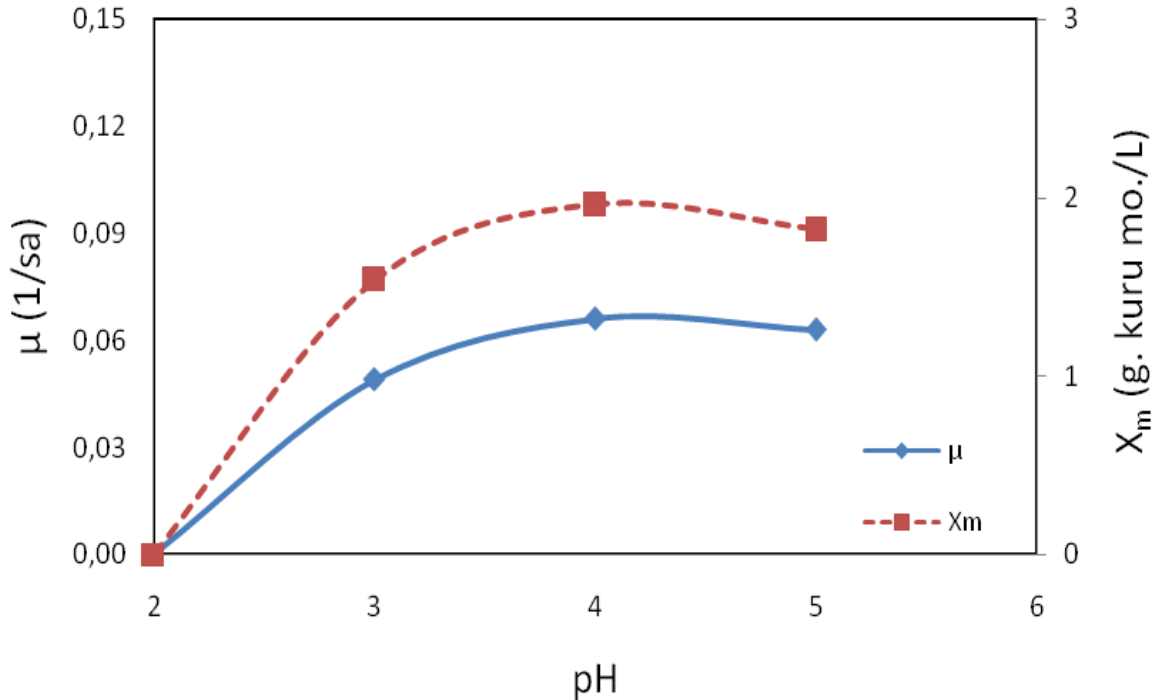


Şekil 5.30. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45°C doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.3.2. *Candida tropicalis* Çalışmaları

5.3.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

50 mg/L nikel(II) içeren melaslı besin ortamında, başlangıç pH'ının *C.tropicalis*' in özgül üreme hızına ve maksimum 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'de ise maksimum özgül üreme hızı ve mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.31) Ancak nikel(II) içeren ve içermeyen ortamlarda bulunan optimum üreme pH değerleri aynı olsa da, nikel(II) içeren ortamda elde edilen maksimum özgül üreme hızı (0.066 1/sa) ve kuru mikroorganizma derişim (1.96 g. kuru mo./L) değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.



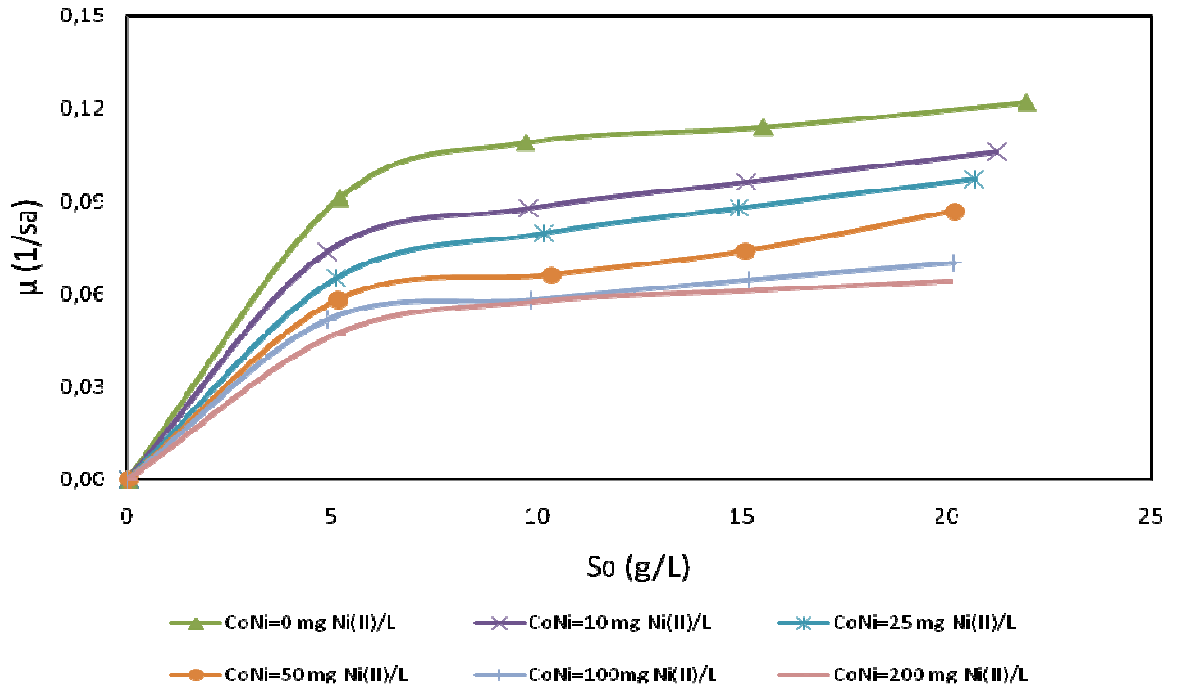
Şekil 5.31. 50 mg/L nikel(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının *C.tropicalis*' in özgül üreme hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, So=10 g/L, CoNi=50 mg/L, K. H. 120 rpm)

5.3.2.2. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, mikroorganizmanın üremesine başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi 5-20 g/L aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.32'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan her bir sabit başlangıç nikel(II) iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20

g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin arttığı, ancak nikel(II) içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, nikel(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini büyük ölçüde azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.9'da ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*' in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 5' den 20 g/L'ye kadar artmasıyla 10' dan 200 mg/L'ye kadar değişen bütün sabit nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hızının, sakkaroz tüketim hızının ve maksimum kuru mikroorganizma derişiminin arttığı, nikel(II) derişimindeki artışın ise bu değerleri düşürdüğü gözlenmektedir.

Örneğin nikel(II) iyonu içermeyen ve 10 g/L sakkaroz içeren besin ortamında *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı 0.109 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.135 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 4.03 g. kuru mo./L iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda 100 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.058 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.086 g sak/g kuru m.o. sa 'e ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.74 g. kuru mo./L'ye düşmüştür.



Şekil 5.32. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

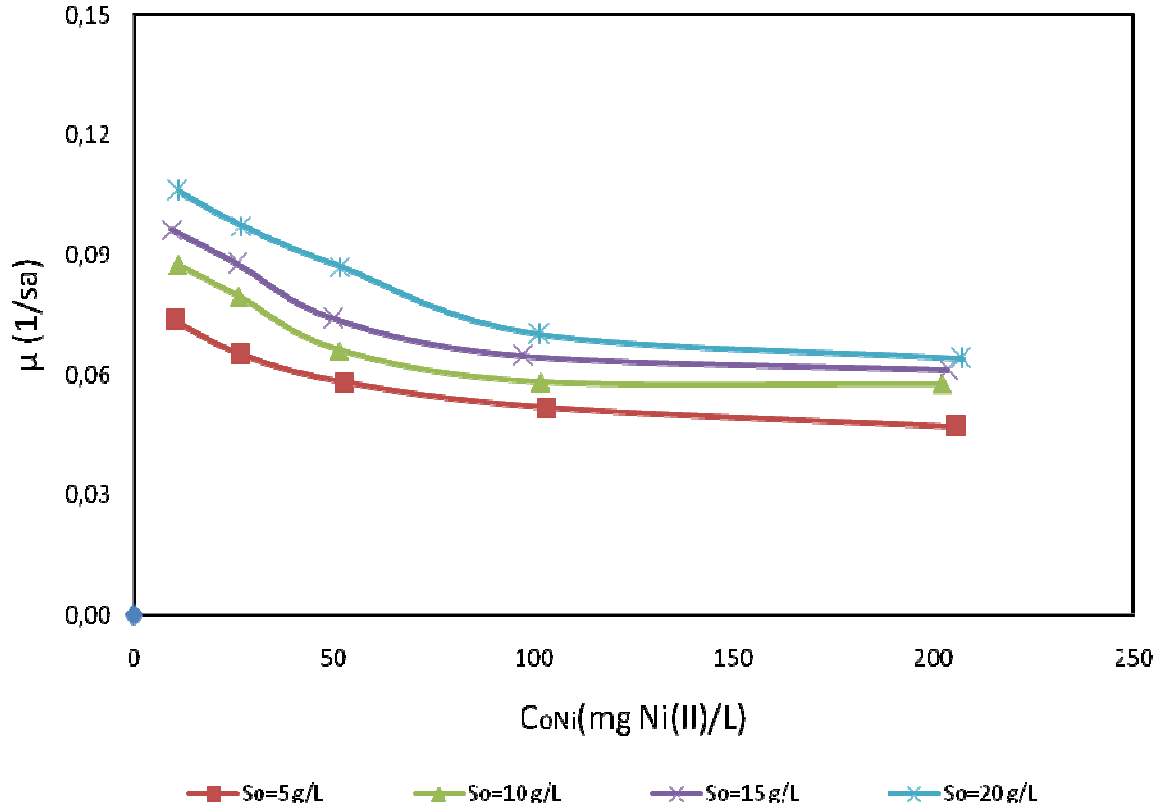
Çizelge 5.9. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*' in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri

S _o g/L	C _{oNi} mg Ni(II)/L	μ 1/sa	X _m g. kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
5,17	0,0	0,091	2,75	0,116
9,72	0,0	0,109	4,03	0,135
15,53	0,0	0,114	4,54	0,140
21,96	0,0	0,122	5,34	0,160
4,87	10,23	0,074	2,28	0,100
9,78	10,87	0,088	3,54	0,107
15,12	9,38	0,096	4,13	0,111
21,25	11,02	0,106	4,91	0,122
5,09	26,41	0,065	1,94	0,089
10,16	26,14	0,079	2,49	0,104
14,92	25,79	0,088	3,2	0,108
20,68	26,84	0,097	3,59	0,115
5,14	52,34	0,058	1,73	0,084
10,34	51,4	0,066	1,96	0,091
15,09	50,18	0,074	2,64	0,099
20,22	51,66	0,087	3,37	0,106
4,88	103,14	0,052	1,45	0,081
9,86	101,66	0,058	1,74	0,086
15,16	97,48	0,065	2,34	0,090
20,17	101,36	0,070	2,59	0,093
5,07	205,44	0,047	1,20	0,077
10,02	202,19	0,058	1,43	0,083
15,34	203,57	0,061	1,63	0,086
19,91	207,04	0,064	1,82	0,089

5.3.2.3. Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi

Nikel(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 10-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu

Şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen özgül üreme hızına karşı başlangıç nikel(II) iyon derişimi grafikleri Şekil 5.13'te sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç nikel(II) iyon derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görülmektedir.



Şekil 5.33. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

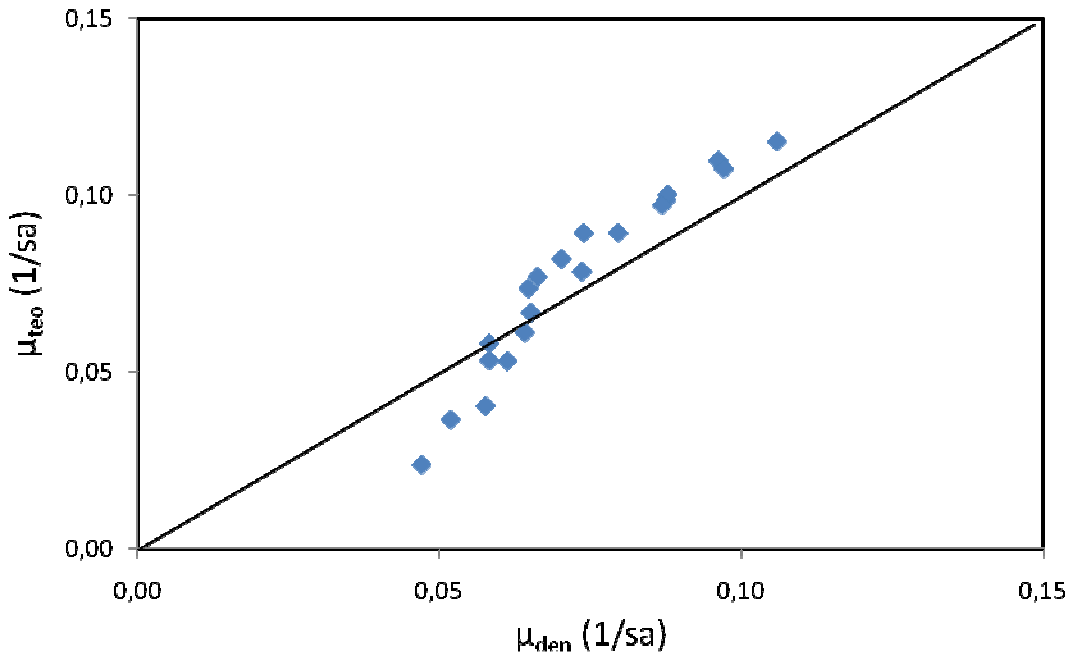
5.3.2.5. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

Besin ortamındaki nikel(II) iyonlarının, *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için Eş. 3.6, 3.7 ve 3.8'de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Deneysel verilerin tek bileşen için türetilmiş yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerine uygulanmasıyla bulunan inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R² değerleriyle birlikte Çizelge 5.10'da

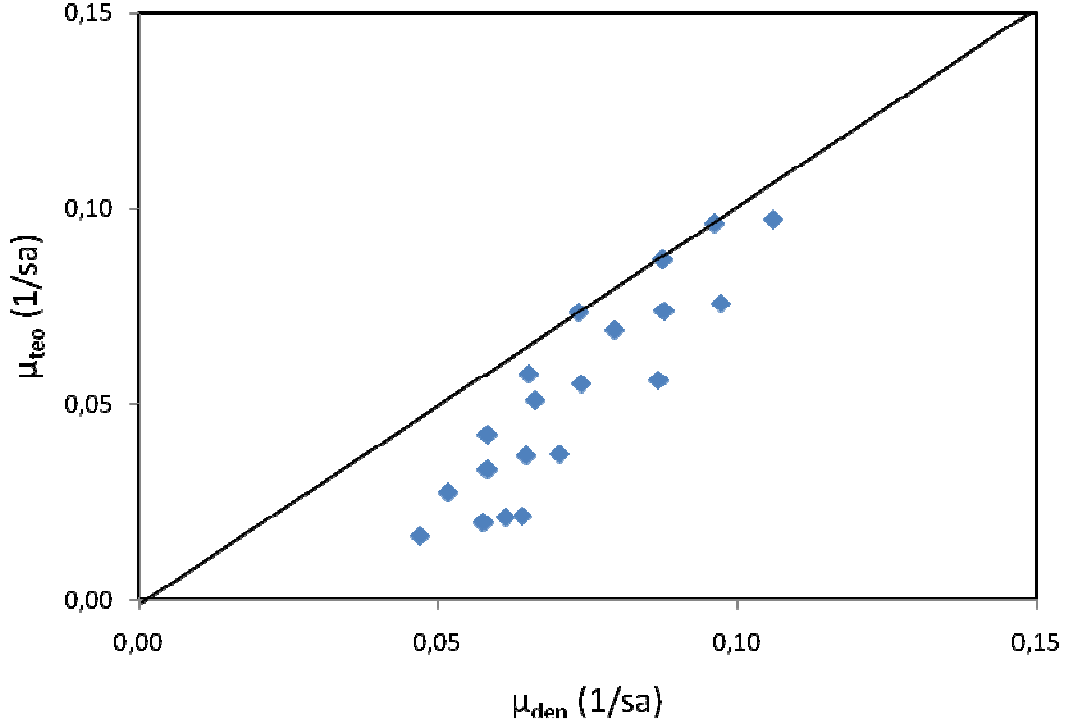
sunulmuştur. Bu sabitler kullanılarak hesaplanan teorik μ değerleri ise deneysel μ değerleriyle 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır (Şekil 5.34, 5.35 ve 5.36). Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan ortalama % hata değerleri kıyaslanarak, nikel(II) iyonlarının *C. tropicalis*' in özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeli olduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.10. Nikel(II) iyonlarının *C. tropicalis*' in üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri

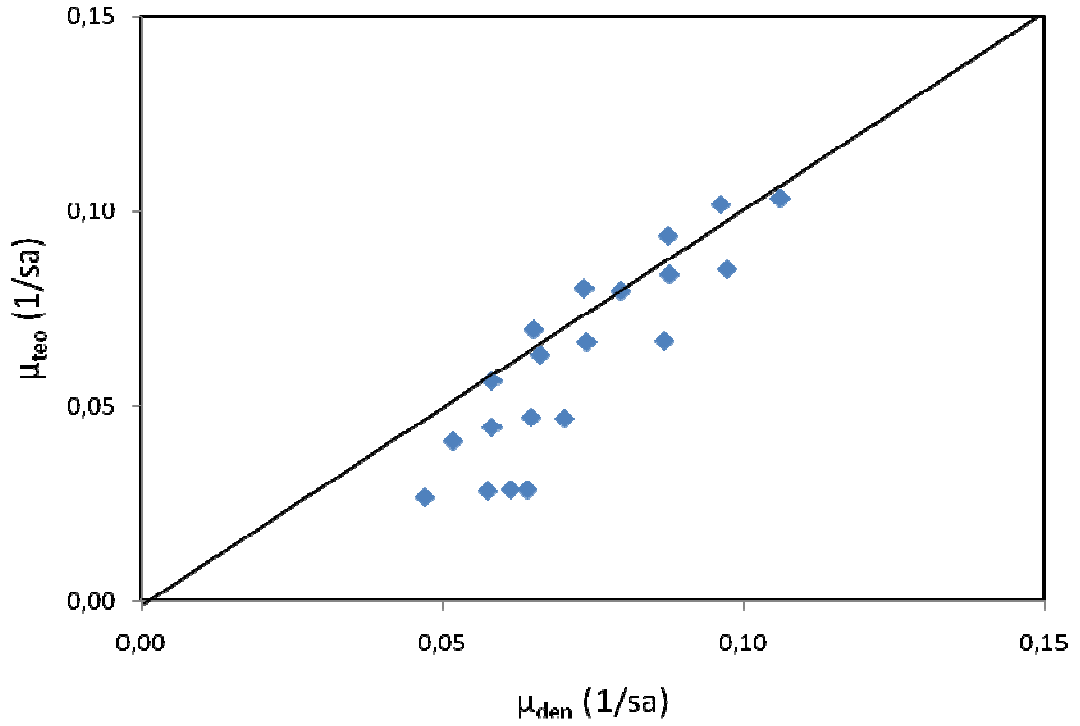
İnhibisyon türü	K_i (mg/L)	Ort % Hata	R^2
Yarışmalı	23,42	14,92	0,917
Yarışmasız	45,27	31,24	0,809
Kısmi yarışmalı	57,54	19,82	0,773



Şekil 5.34. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.35. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.36. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.4. Kadmiyum(II)-Nikel(II) Karışımlarını Birarada İçeren Melaslı Besin Ortamında Mayaların Büyüme Kinetiğinin İncelenmesi

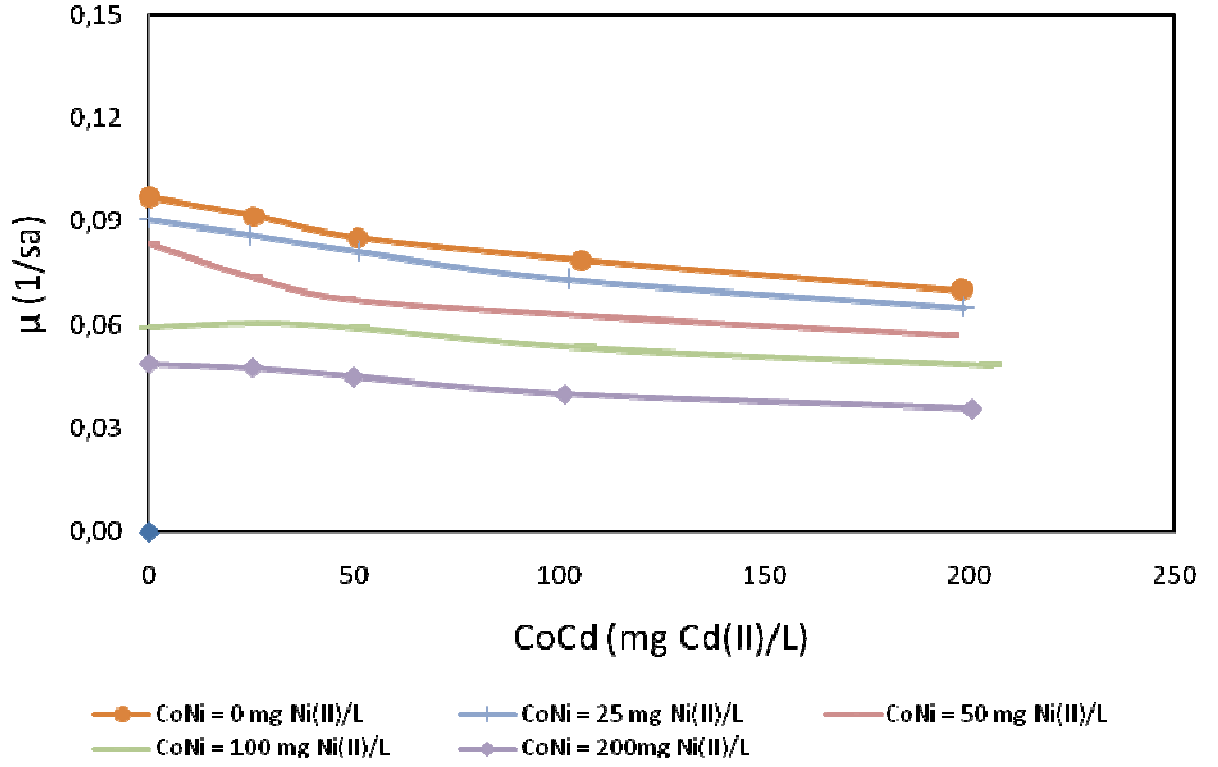
Mayaların üreyebildiği atıksularda birden fazla türde metal iyonunun bulunması daha sık rastlanılacak bir durumdur. Bu halde bu metal iyonlarının mayaların üremesi üzerine birleştirilmiş etkilerinin araştırılması gerekir. Deneysel çalışmaların bu kısmında her iki iyonun *Candida utilis* ve *Candida tropicalis* mayalarının büyüme hızına ortak etkisi, pH 4.0'de ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, kadmiyum(II) ve nikel(II) karışımlarını birarada ve maksimum 400 mg/L olacak şekilde içeren besin ortamlarında araştırılmıştır.

5.4.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.4.1.1. Her Bir Sabit Nikel(II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum(II) İyon Derişiminin Etkisi

C. utilis ile kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda, başlangıç kadmiyum(II) derişimi 25-200 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen kadmiyum(II) derişim seti için 0, 25, 50, 100 ve 200 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{oCd}/C_{oNi} oranı 1 ila 8 arasında değiştirilmiştir. Şekil 5.37'de her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini çok daha azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.11'de ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ile maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç nikel(II) derişiminin 0'dan 200 mg/L'ye kadar artmasıyla 25'den 200 mg/L'ye kadar artan bütün kadmiyum(II) derişimlerinde özgül üreme hızı, sakkaroz tüketim hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, nikel(II) derişimindeki artışın ise bütün değerleri çok daha düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sakkaroz içeren, nikel(II) iyonu içermeyen ama 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu içeren besin ortamında *C. utilis* 'in özgül üreme hızı 0.079 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.096 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 2.38 g. kuru mo./L iken, ortamda 100 mg/L kadmiyum(II) ve 100 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.053 1/sa'e, sakkaroz

tüketim hızı 0.073 g sak/g kuru m.o. sa 'e, maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.46 g. kuru mo./L'ye düşmüştür.



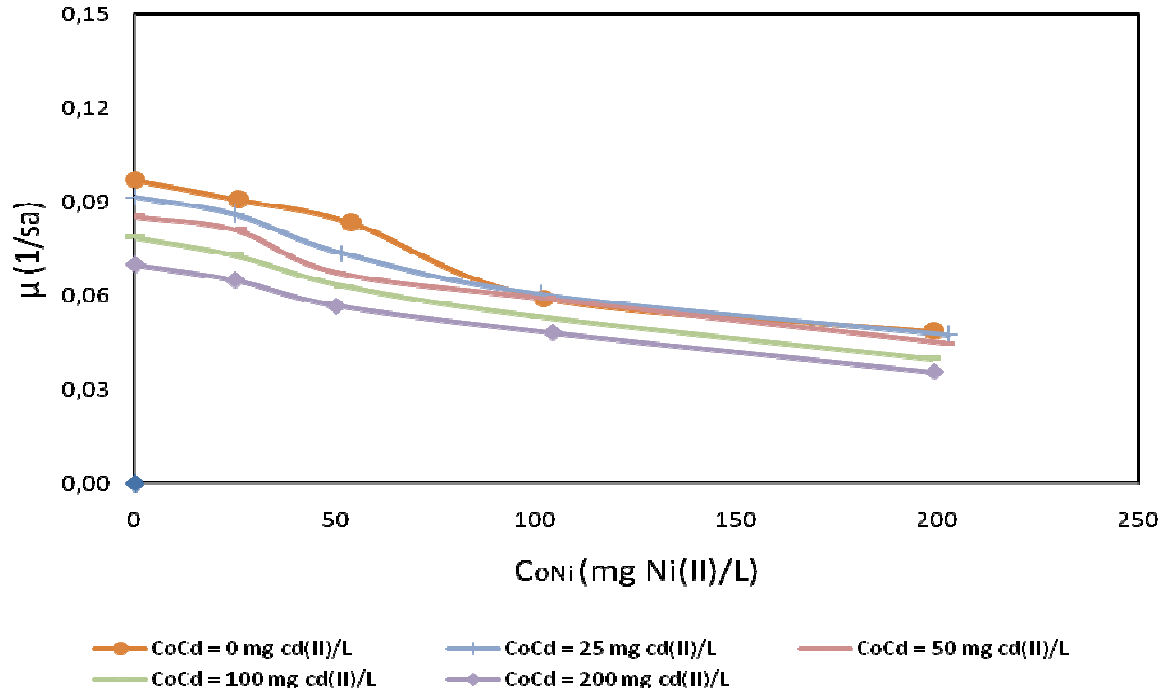
Şekil 5.37. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S₀=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

Çizelge 5.11. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

C_{oCd} mg Cd(II)/L	C_{oNi} mg Ni(II)/L	μ 1/sa	X_m g kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
25,79	0,0	0,091	2,89	0,111
50,86	0,0	0,085	2,63	0,102
105,36	0,0	0,079	2,38	0,096
198,30	0,0	0,070	1,69	0,085
0,0	26,12	0,091	2,44	0,105
0,0	54,06	0,083	2,17	0,097
0,0	101,84	0,059	1,83	0,081
0,0	199,17	0,049	1,39	0,073
24,51	25,11	0,086	2,16	0,102
51,22	25,23	0,081	1,94	0,099
102,38	24,69	0,073	1,71	0,096
198,77	25,08	0,065	1,52	0,088
25,03	51,64	0,074	2,03	0,095
47,85	50,23	0,067	1,82	0,090
95,66	52,04	0,063	1,58	0,087
194,87	50,3	0,057	1,44	0,083
26,65	101,33	0,060	1,79	0,080
51,12	102,54	0,059	1,65	0,078
106,6	100,78	0,053	1,46	0,073
205,45	104,02	0,048	1,27	0,069
25,31	202,55	0,047	1,21	0,066
49,89	201,58	0,045	1,04	0,063
101,23	198,34	0,040	0,94	0,059
200,56	199,13	0,036	0,82	0,053

5.4.1.2. Her Bir Sabit Kadmiyum(II) İyon Derişiminde Başlangıç Nikel(II) İyon Derişiminin Etkisi

Sabit kadmiyum(II) iyon derişiminde nikel(II) iyonlarının mayanın üremesine etkisi, aynı verilerle, 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 25-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Şekil 5.38'de her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak kadmiyum(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.12'de ise her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 0'dan 200 mg/L'ye kadar artmasıyla 25'den 200 mg/L'ye kadar artan bütün nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı, sakkaroz tüketim hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, kadmiyum(II) derişimindeki artışın ise bütün değerleri daha da düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L başlangıç sakkaroz derişiminde kadmiyum(II) iyonu içermeyen ama 100 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı 0.059 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.081 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.83 g kuru mo./L iken, ortamda 100 mg/L nikel(II) ve 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.053 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.073 g sak/g kuru m.o. sa 'e ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.46 g kuru mo./L kuru mo./L'ye düşmüştür. Sonuç olarak ikili metal iyonu karışım çalışmalarında, nikel(II) iyonlarının mayanın üremesini kadmiyum(II) iyonlarından çok daha fazla olumsuz etkilediğine karar verilmiştir.



Şekil 5.38. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S_o=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

Çizelge 5.12. Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. utilis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

C_{oNi} mg Ni(II)/L	C_{oCd} mg Cd(II)/L	μ 1/sa	X_m g kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
0	26,12	0,091	2,44	0,105
0	54,06	0,083	2,17	0,097
0	101,84	0,059	1,83	0,081
0	199,17	0,049	1,39	0,073
25,79	0	0,091	2,89	0,111
50,86	0	0,085	2,63	0,102
105,36	0	0,079	2,38	0,096
198,3	0	0,07	1,69	0,085
25,11	24,51	0,086	2,16	0,102
51,64	25,03	0,074	2,03	0,095
101,33	26,65	0,06	1,79	0,08
202,55	25,31	0,047	1,21	0,066
25,23	51,22	0,081	1,94	0,099
50,23	47,85	0,067	1,82	0,09
102,54	51,12	0,059	1,65	0,078
201,58	49,89	0,045	1,04	0,063
24,69	102,38	0,073	1,71	0,096
52,04	95,66	0,063	1,58	0,087
100,78	106,6	0,053	1,46	0,073
198,34	101,23	0,04	0,94	0,059
25,08	198,77	0,065	1,52	0,088
50,3	194,87	0,057	1,44	0,083
104,02	205,45	0,048	1,27	0,069
199,13	200,56	0,036	0,82	0,053

5.4.1.3. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

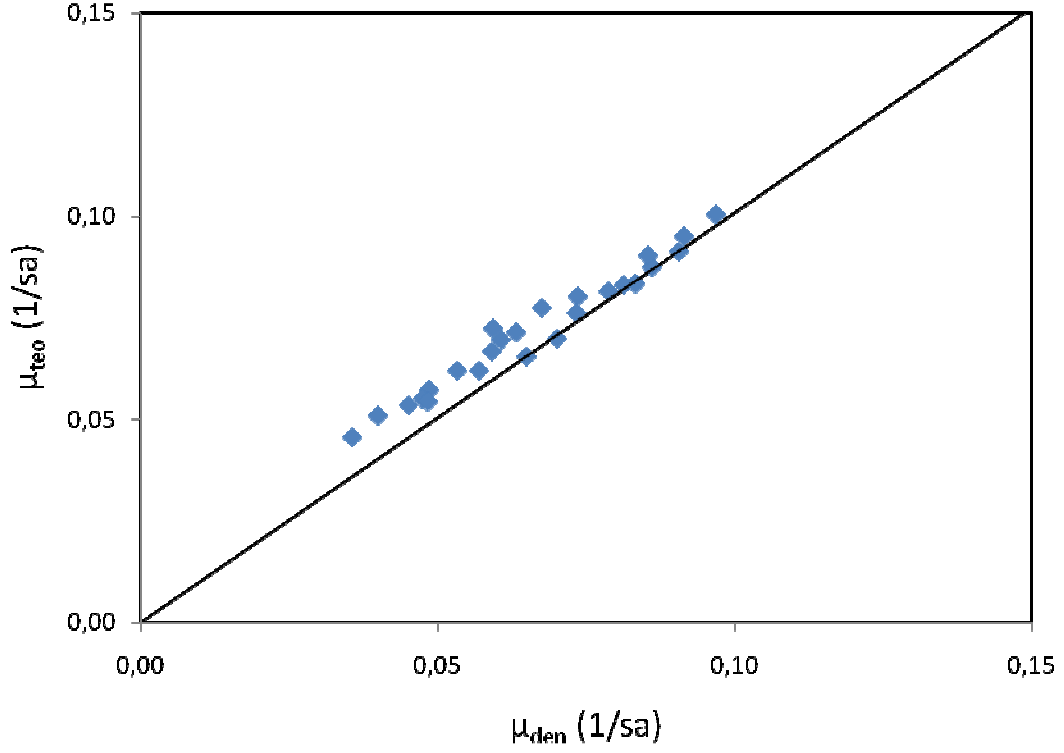
Kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında, her iki metal iyonunun *C. utilis* 'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyon etkisi, tek bileşenli inhibisyon modellerinden yola çıkılarak türetilen ve Eş. 3.9., 3.10. ve

3.11.'de verilen ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır. Deneysel μ değerleri kullanılarak her bir modele ait inhibisyon sabitleri bilgisayar yardımıyla non-linear regresyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sabitler kullanılarak bulunan teorik μ değerlerinin deneysel verilere uyumu, ortalama % hatalar ve ayrıca deneysel ve inhibisyon modellerinden bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmasıyla araştırılmış, deneysel verilerin en düşük ortalama % hata veren ve R^2 'si en yüksek olan modele en iyi uyduğu varsayılmıştır.

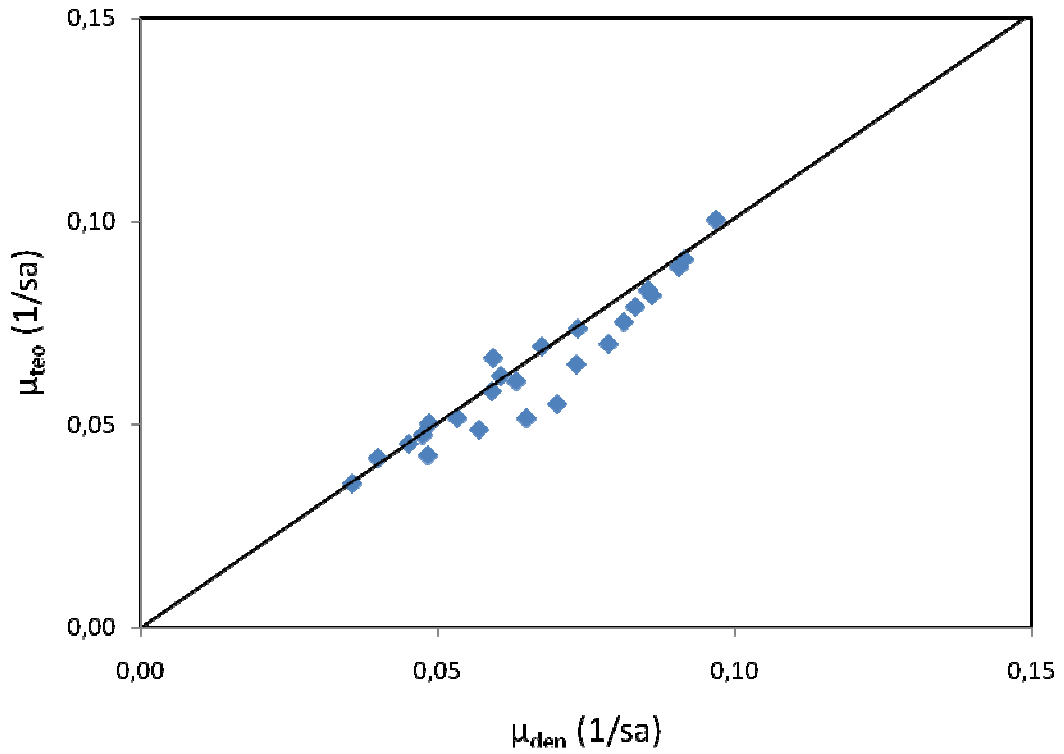
Deneysel verilere ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinin uygulanmasıyla bulunan birinci (kadmiyum(II)) ve ikinci bileşen (nikel(II))' e ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleriyle birlikte Çizelge 5.13'de sunulmuştur. Şekil 5.39, 5.40 ve 5.41'de ise teorik ve deneysel μ değerleri 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller, R^2 'ler ve hesaplanan ortalama % hata değerleri karşılaştırılarak, kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının çalışılan derişim aralığında *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyonun ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.13. Kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. utilis* 'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri

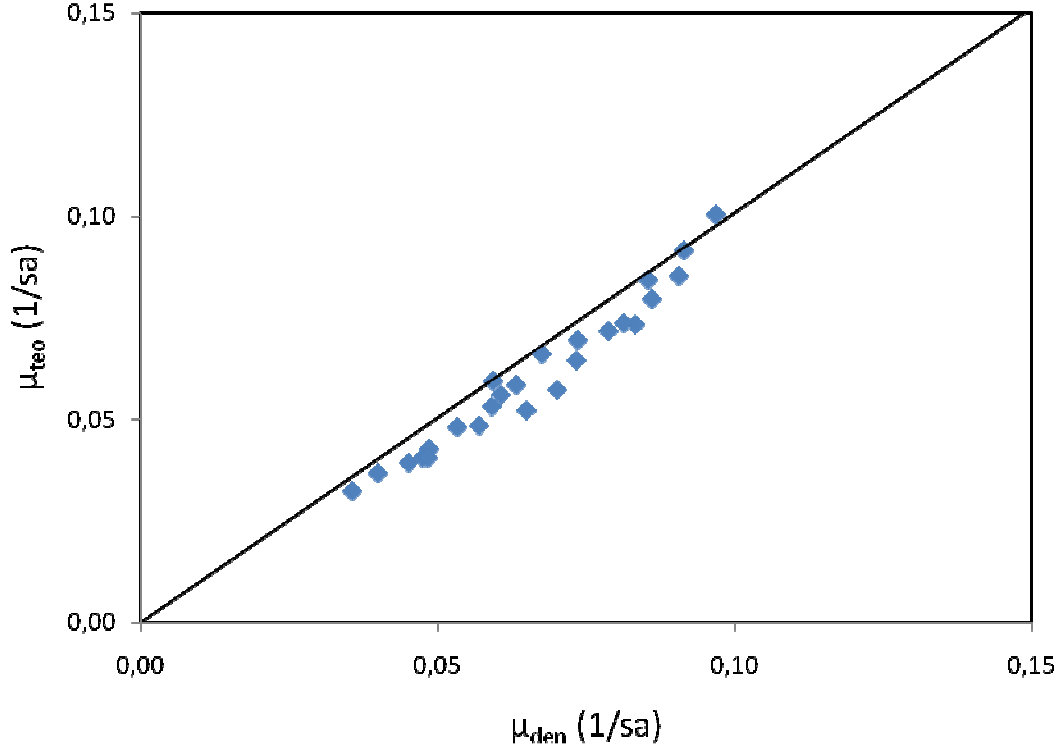
Inhibisyon türü	K_{ICd} (mg/L)	K_{INi} (mg/L)	Ort % Hata	R^2
İkili Yarışmalı	40,53	22,51	9,17	0,958
İkili Yarışmasız	242,15	146,85	10,49	0,911
İkili Kısmi yarışmalı	223,95	125,35	12,18	0,950



Şekil 5.39. *C. utilis* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.



Şekil 5.40. *C. utilis* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.



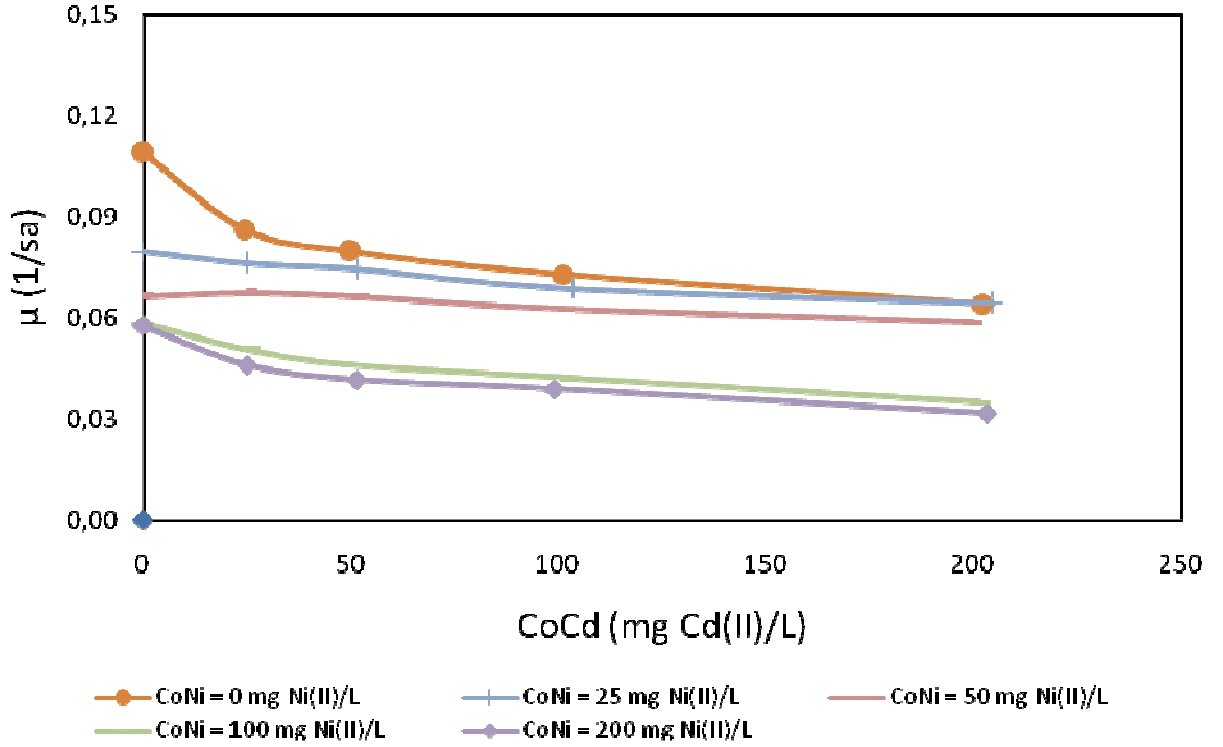
Şekil 5.41. *C. utilis* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.4.2. *Candida tropicalis* Çalışmaları

5.4.2.1. Her Bir Sabit Nikel(II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum(II) İyon Derişiminin Etkisi

C. tropicalis ile kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda başlangıç kadmiyum(II) derişimi 25-200 mg/L aralığında değiştirilirken, nikel(II) derişimi her bir değişen kadmiyum(II) derişim seti için 0, 25, 50, 100 ve 200 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{oCd}/C_{oNi} oranı 1 ila 8 arasında değiştirilmiştir. Şekil 5.42'de her bir sabit nikel(II) derişiminde başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak nikel(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini çok daha azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.14'te ise her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ile maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç nikel(II) derişiminin 0'dan 200 mg/L'ye kadar artmasıyla

25'den 200 mg/L'ye kadar artan bütün kadmiyum(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı, sakkaroz tüketim hızı ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, nikel(II) derişimindeki artışın ise bütün değerleri daha da düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L başlangıç sakkaroz derişiminde nikel(II) iyonu içermeyen ama 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı 0.073 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.108 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 2.79 g kuru mo./L iken, ortamda 100 mg/L kadmiyum(II) ve 100 mg/L nikel(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.042 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.075 g sak/g kuru m.o. sa 'e, maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.37 g kuru mo./L'ye düşmüştür.



Şekil 5.42. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S₀=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

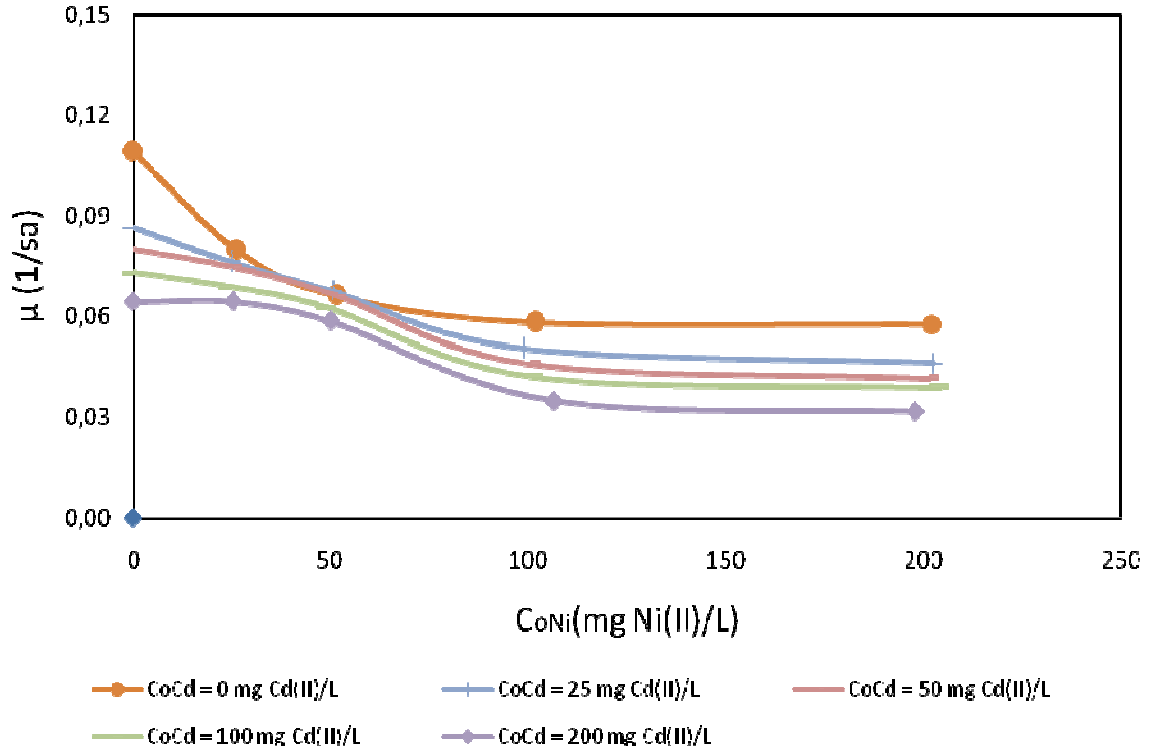
Çizelge 5.14. Her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde değişen farklı başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

C_{oCd} mg Cd(II)/L	C_{oNi} mg Ni(II)/L	μ 1/sa	X_m g kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
24,36	0,0	0,086	3,60	0,131
49,87	0,0	0,079	3,54	0,119
101,32	0,0	0,073	2,79	0,108
202,34	0,0	0,064	2,17	0,096
0,0	26,14	0,079	2,49	0,104
0,0	51,4	0,066	1,96	0,091
0,0	101,66	0,058	1,74	0,086
0,0	202,19	0,058	1,43	0,083
25,12	24,88	0,076	2,36	0,101
51,34	25,25	0,074	2,21	0,099
103,51	24,36	0,069	2,00	0,093
204,63	25,09	0,066	1,77	0,090
25,2	50,66	0,067	2,32	0,091
52,13	51,34	0,066	2,18	0,089
101,77	48,75	0,063	2,02	0,088
199,81	49,83	0,059	1,70	0,084
25,64	98,93	0,050	1,55	0,081
50,07	100,47	0,046	1,49	0,078
103,37	101,49	0,042	1,37	0,075
201,54	106,33	0,035	1,20	0,072
25,02	202,52	0,046	1,32	0,078
51,33	201,45	0,046	1,16	0,076
99,05	204,07	0,039	1,01	0,072
203,16	197,86	0,037	0,86	0,070

5.4.2.2. Her Bir Sabit Kadmiyum(II) İyon Derişiminde Başlangıç Nikel(II) İyon Derişiminin Etkisi

Sabit kadmiyum(II) iyon derişiminde nikel(II) iyonlarının mayanın üremesine etkisi, aynı verilerle, 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) iyon derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 25-200 mg/L aralığında

değiştirilmesiyle de incelenebilir. Şekil 5.43'de her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak kadmiyum(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.15'de ise her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları ve maksimum kuru mikroorganizma derişimleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç kadmiyum(II) derişiminin 0'dan 200 mg/L'ye kadar artmasıyla 25'den 200 mg/L'ye kadar artan bütün nikel(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı, sakkaroz tüketim hızı, maksimum kuru mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, kadmiyum(II) derişimindeki artışın ise bütün değerleri daha da düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L başlangıç sakkaroz derişiminde kadmiyum(II) iyonu içermeyen ama 100 mg/L nikel(II) iyonu içeren besin ortamında *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı 0.058 1/sa, sakkaroz tüketim hızı 0.086 g sak/g kuru m.o. sa ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.74 g kuru mo./L iken, ortamda 100 mg/L nikel(II) ve 100 mg/L kadmiyum(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.042 1/sa'e, sakkaroz tüketim hızı 0.075 g sak/g kuru m.o. sa 'e ve maksimum kuru mikroorganizma derişimi 1.37 g kuru mo./L'ye düşmüştür. Sonuç olarak ikili metal iyonu karışım çalışmalarında, nikel(II) iyonlarının bu mayanın üremesini de kadmiyum(II) iyonlarından çok daha fazla olumsuz etkilediğine karar verilmiştir.



Şekil 5.43. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S_o=10 g/L, pH=4.0, K. H. 120 rpm)

Çizelge 5.15. Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde değişen farklı başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis* 'in özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, maksimum kuru mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

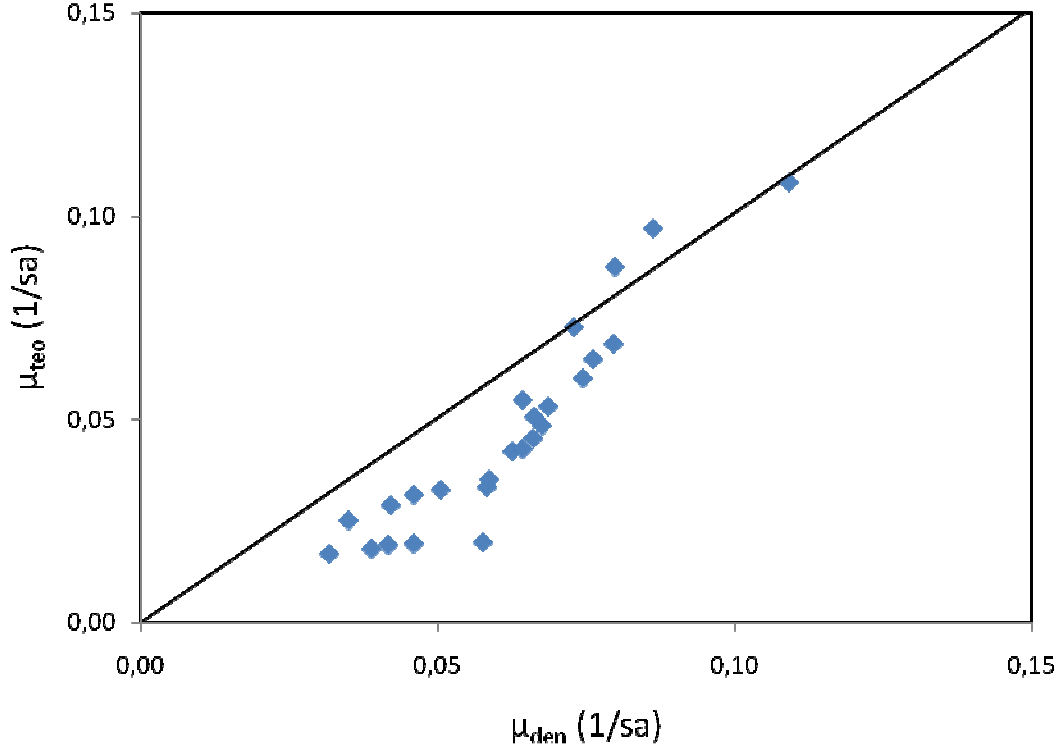
C_{oNi}	C_{oCd}	μ	X_m	η
mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/L	1/sa	g kuru mo./L	g sak/g kuru m.o. sa
26,14	0	0,079	2,49	0,104
51,4	0	0,066	1,96	0,091
101,66	0	0,058	1,74	0,086
202,19	0	0,058	1,43	0,083
0	24,36	0,086	3,6	0,131
0	49,87	0,079	3,54	0,119
0	101,32	0,073	2,79	0,108
0	202,34	0,064	2,17	0,096
24,88	25,12	0,076	2,36	0,101
50,66	25,2	0,067	2,32	0,091
98,93	25,64	0,05	1,55	0,081
202,52	25,02	0,046	1,32	0,078
25,25	51,34	0,074	2,21	0,099
51,34	52,13	0,066	2,18	0,089
100,47	50,07	0,046	1,49	0,078
201,45	51,33	0,046	1,16	0,076
24,36	103,51	0,069	2	0,093
48,75	101,77	0,063	2,02	0,088
101,49	103,37	0,042	1,37	0,075
204,07	99,05	0,039	1,01	0,072
25,09	204,63	0,066	1,77	0,09
49,83	199,81	0,059	1,7	0,084
106,33	201,54	0,035	1,2	0,072
197,86	203,16	0,037	0,86	0,07

5.4.2.3. İnhibisyon Sabitlerinin Hesaplanması

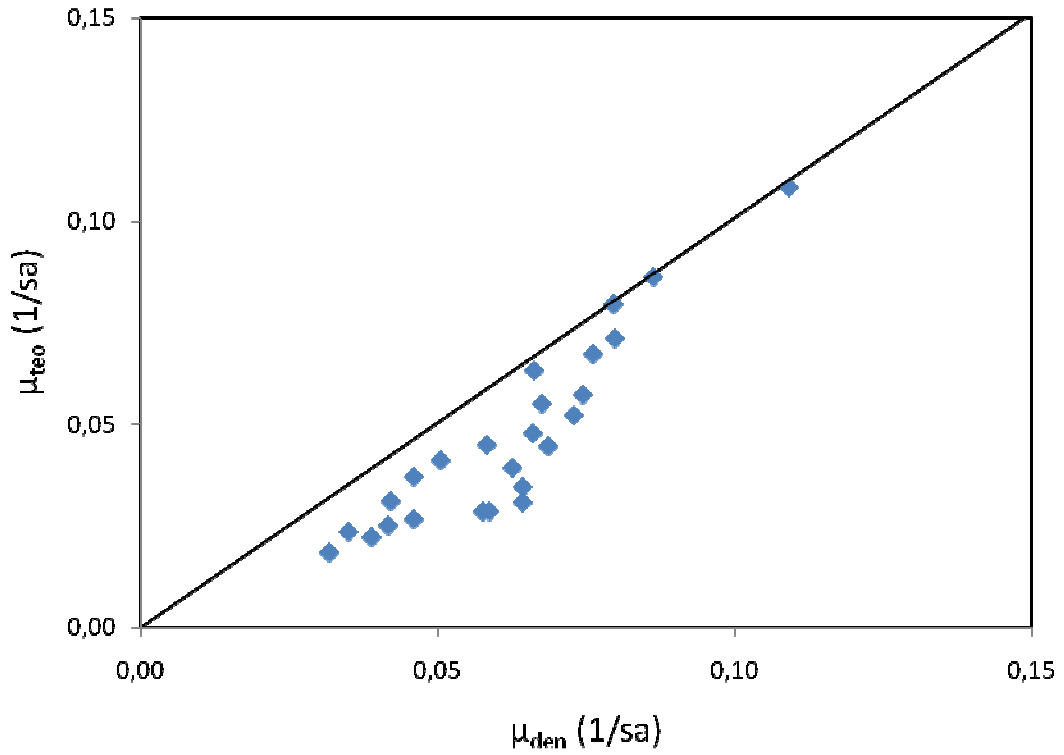
C. tropicalis için kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarının maya özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyon etkisi, deneysel verilere Eş. 3.9., 3.10. ve 3.11.'de verilen ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinin uygulanmasıyla incelenmiş, bulunan birinci (kadmiyum(II)) ve ikinci bileşen(nikel(II))e ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleriyle birlikte Çizelge 5.16'da sunulmuştur. Şekil 5.44, 5.45 ve 5.46'da ise teorik ve deneysel μ değerleri 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller, R^2 'ler ve hesaplanan ortalama % hata değerleri karşılaştırılarak, kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının çalışılan derişim aralığında *C. tropicalis* 'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyonun da ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.16. Kadmiyum(II) ve nikel(II) ikili karışımlarının *C. tropicalis* 'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri, ortalama % hata ve R^2 değerleri

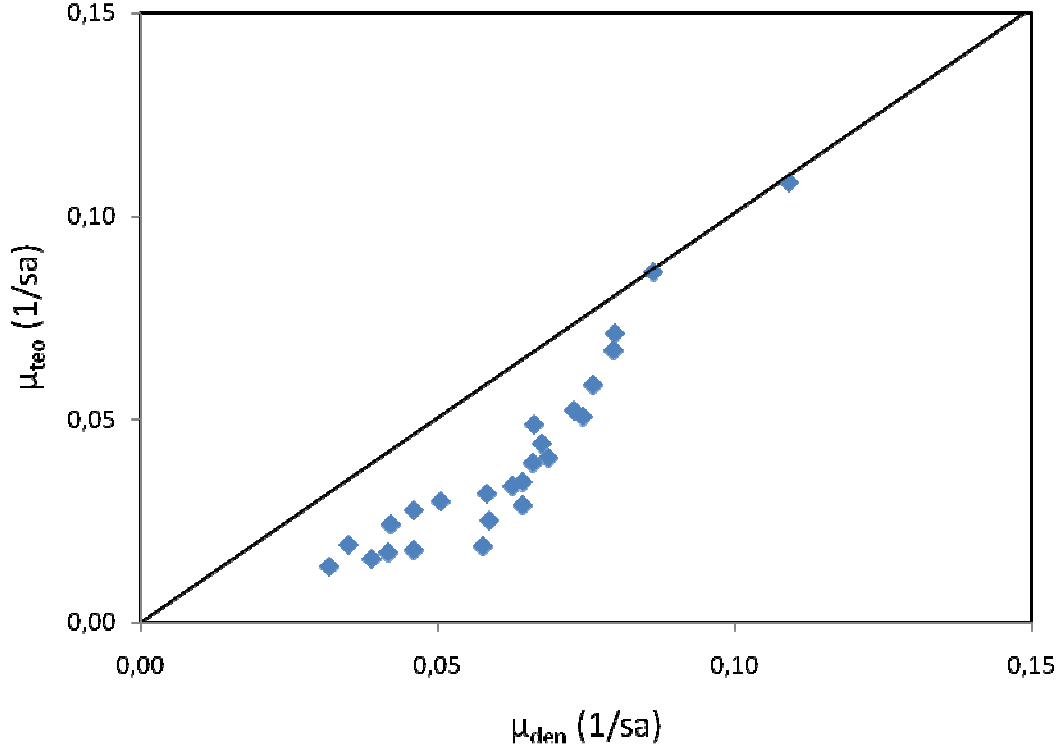
İnhibisyon türü	K_{ICd} (mg/L)	K_{INi} (mg/L)	Ort % Hata	R^2
İkili Yarışmalı	40,45	23,02	10,29	0,875
İkili Yarışmasız	94,39	72,13	39,01	0,867
İkili Kısmi yarışmalı	75,93	58,03	27,32	0,836



Şekil 5.44. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.



Şekil 5.45. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması.



Şekil 5.46. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.5. Mayalara Metal Biyobirikiminin İncelenmesi

5.5.1. Kadmiyum(II) İçeren Besin Ortamında Mayalara Kadmiyum(II) Biyobirikiminin İncelenmesi

5.5.1.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.5.1.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

C. utilis'in maksimum ürediği pH değerinde maksimum kadmiyum(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 50 mg/L başlangıç kadmiyum(II) derişimi içeren ortamda yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 5.17'de sunulmuştur. Çizelgeden, optimum üremenin gözleendiği pH 4.0'de kadmiyum(II) biyobirikiminin de maksimum olduğu (34,58 mg/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum kadmiyum(II)'nin tutulduğu (13,15 mg Cd(II)/g kuru m.o.) gözlenmektedir.

Çizelge 5.17. Başlangıç pH'ının *C.utilis*'in kadmiyum(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına etkisi (T=25°C, C_{oCd}=50 mg/L, S_o=10 g/L, K. H. 120 rpm)

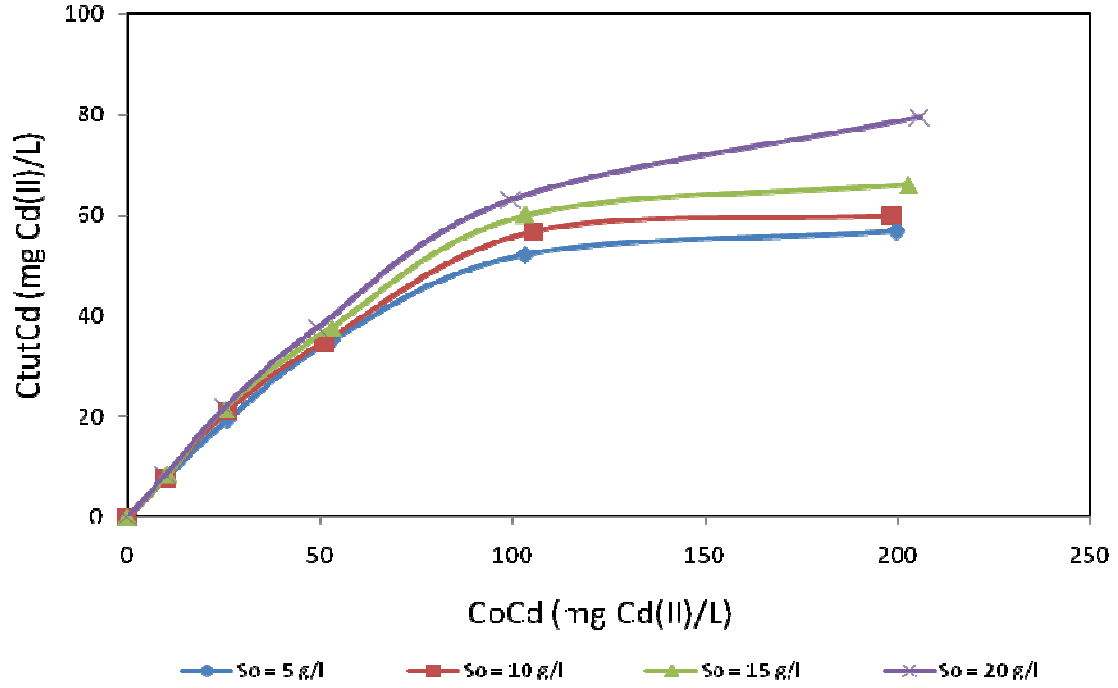
pH	C _{tutCd} mg Cd(II)/L	q _m mg Cd(II)/g kuru m.o.
3,0	26,41	11,31
4,0	34,58	13,15
5,0	31,76	12,94

5.5.1.1.2. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

Tez çalışmasının amaçlarından biri metal iyonlarına oldukça dirençli olan maya hücrelerinin üreme ortamındaki ağır metal iyonlarını biriktirebilme yeteneğini ve kapasitesini araştırmak, bir diğeri de metal biyobirikiminin kinetik modellenmesidir. Bu amaca uygun olarak, 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis*'in kadmiyum(II) biyobirikim hızına, maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına ve % kadmiyum(II) giderimine etkisi 10-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.47 ve Çizelge 5.18 'da sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem sakkaroz hem de başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarının arttığı, % kadmiyum(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.18. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen kadmiyum(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarı ve % kadmiyum(II) giderim değerleri

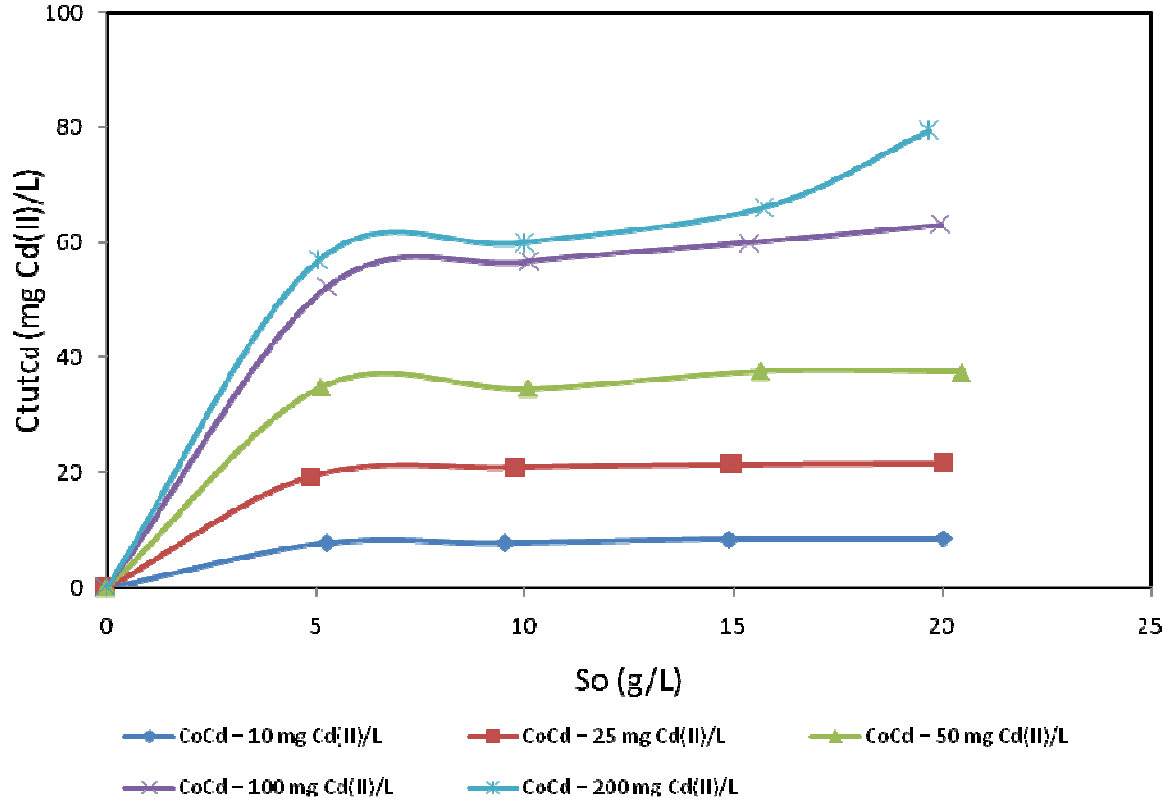
C_{oCd} mg Cd(II)/L	S_o g/L	v mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	C_{tutCd} mg Cd(II)/L	q_m mg Cd(II)/g kuru mo.	% Giderim
9,87	5,26	0,035	7,75	4,35	78,5
25,76	4,88	0,043	19,29	11,79	74,9
52,58	5,13	0,064	34,92	23,28	66,4
103,15	5,26	0,15	52,18	38,65	50,6
199,65	5,05	0,31	56,85	55,74	28,5
9,75	9,54	0,036	7,76	2,54	79,6
25,79	9,79	0,046	20,89	7,23	81,0
50,86	10,07	0,077	34,58	13,15	68,0
105,36	10,10	0,169	56,69	23,81	53,8
198,3	9,98	0,356	59,93	35,46	30,2
10,22	14,89	0,037	8,36	2,22	81,8
25,27	14,95	0,047	21,44	6,61	84,8
52,87	15,64	0,092	37,61	12,13	71,1
103,29	15,39	0,191	59,95	24,98	58,0
202,8	15,72	0,395	66	34,02	32,5
9,88	20,01	0,038	8,42	1,71	85,2
25,27	20,01	0,049	21,59	5,31	85,5
49,29	20,45	0,097	37,56	9,32	76,2
99,65	19,97	0,214	63,07	16,51	63,3
205,87	19,69	0,446	79,5	28,29	38,6



Şekil 5.47. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.1.1.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

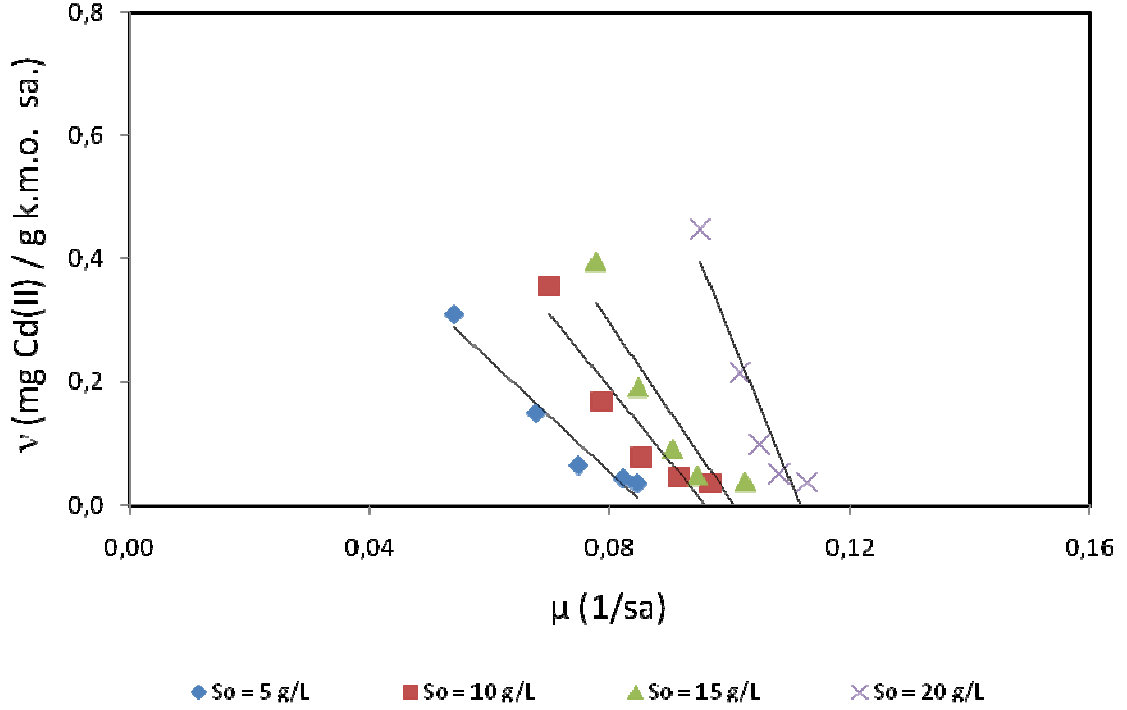
Kadmiyum(II) biyobirikimi, aynı verilerle, 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin başlangıç sakkaroz derişimi ile değişim eğrileri Şekil 5.48'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sabit kadmiyum(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.48. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm).

5.5.1.1.4. Kinetik Sabitlerinin Bulunması

Metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.49). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.49. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.19. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri

S_0 (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
5	-9,133	0,785	0,949
10	-11,87	1,14	0,886
15	-14,35	1,445	0,833
20	-23,67	2,647	0,892

5.5.1.2. *Candida tropicalis* Çalışmaları

5.5.1.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

C. tropicalis'in maksimum ürediği pH değerinde maksimum kadmiyum(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 50 mg/L başlangıç kadmiyum(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.20'de sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözleendiği pH 4.0'de kadmiyum(II) biyobirikimin de

maksimum olduğu (33,6 mg Cd/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum kadmiyum(II)'un tutulduğu (13,49 mg Cd/g kuru m.o.) gözlenmektedir.

Çizelge 5.20. Başlangıç pH'ının *C.tropicalis*'in kadmiyum(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına etkisi ($C_{oCd}=50\text{mg/L}$, $S_o=10\text{ g/L}$)

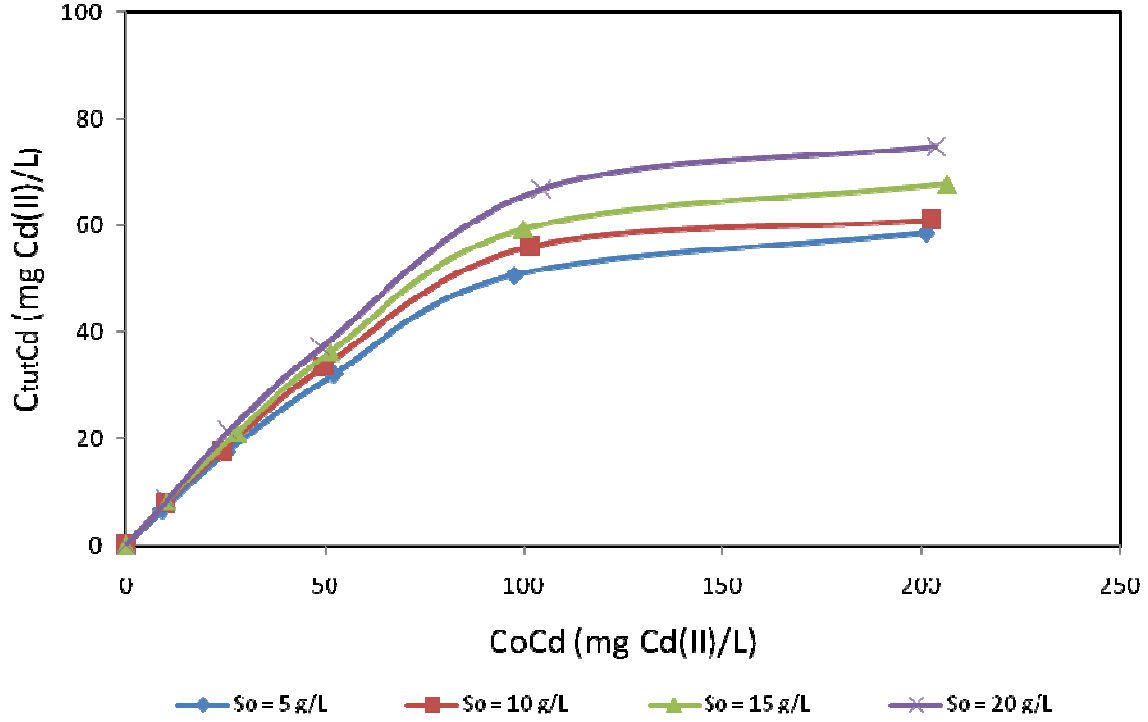
pH	C_{tutCd} mg Cd(II)/L	Q_m mg Cd(II)/g kuru mo.
3,0	24,9	11,75
4,0	33,6	13,49
5,0	30,2	13,08

5.5.1.2.2. Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, *C. tropicalis*' in kadmiyum(II) biyobirikim hızına, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarına ve % kadmiyum(II) giderimine başlangıç kadmiyum(II) derişiminin etkisi 10-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.50 ve Çizelge 5.21' de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem sakkaroz hem de başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarının arttığı, % kadmiyum(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.21. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen kadmiyum(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan kadmiyum(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) miktarı ve % kadmiyum(II) giderim değerleri

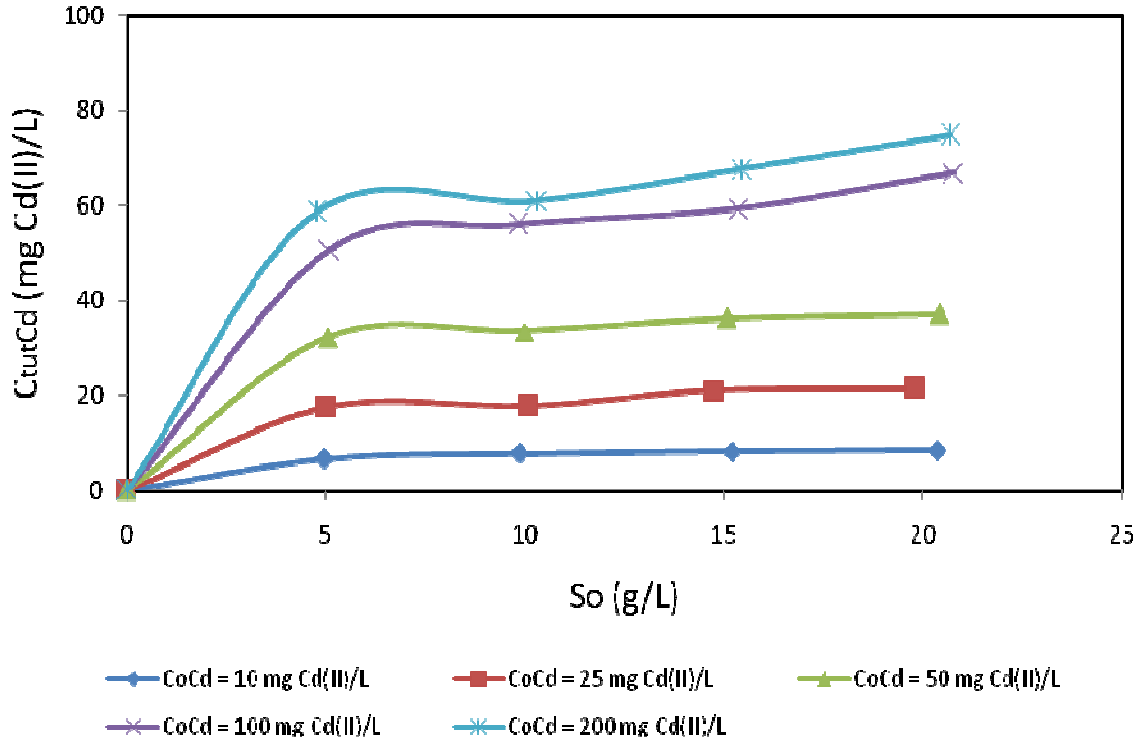
C_{oCd} mg Cd(II)/L	S_o g/L	v mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	C_{tutCd} mg Cd(II)/L	q_m mg Cd(II)/g kuru mo.	% Giderim
8,9	4,9	0,023	6,6	2,69	74,0
25,1	4,9	0,038	17,5	7,68	69,8
52,2	5,0	0,053	32,1	14,67	61,6
97,5	5,1	0,077	50,6	26,33	51,9
201,1	4,8	0,271	58,7	39,90	29,2
9,7	9,9	0,029	7,8	2,11	79,9
24,4	10,1	0,041	17,9	4,96	73,3
49,9	10,0	0,060	33,6	9,49	67,4
101,3	9,8	0,087	56,0	20,07	55,3
202,3	10,3	0,334	61,0	28,10	30,1
10,0	15,2	0,032	8,2	1,94	80,5
27,8	14,8	0,045	21,0	5,41	75,6
51,5	15,1	0,066	36,3	10,07	70,5
99,9	15,4	0,099	59,3	19,08	59,4
206,4	15,5	0,364	67,7	27,53	32,8
10,2	20,4	0,035	8,4	1,99	83,1
25,6	19,8	0,047	21,4	4,32	83,4
48,9	20,4	0,069	37,1	7,97	75,9
104,5	20,8	0,114	66,8	17,91	63,9
203,6	20,7	0,384	74,8	25,81	36,8



Şekil 5.50. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.1.2.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

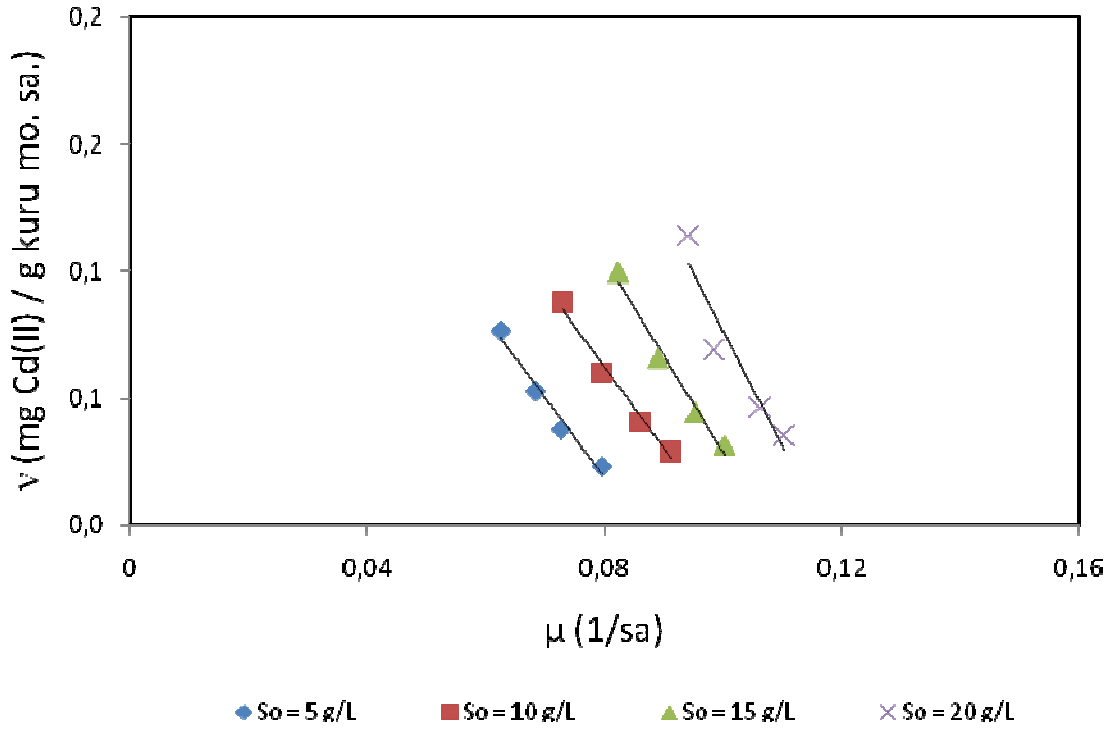
Kadmiyum(II) biyobirikimi, aynı verilerle, 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin başlangıç sakkaroz derişimi ile değişim eğrileri Şekil 5.51'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sabit kadmiyum(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla bu maya için de maksimum tutulan kadmiyum(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.51. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktilen kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm).

5.5.1.2.3. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması

Metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen ν ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.52). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.22'de verilmiştir.



Şekil 5.52. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.22. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri

S_o (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
5	-3,135	0,269	0,972
10	-3,17	0,315	0,989
15	-3,776	0,406	0,977
20	-4,509	0,527	0,892

5.5.2. Nikel(II) İçeren Besin Ortamında Mayalara Nikel(II) Biyobirikiminin İncelenmesi

5.5.2.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.5.2.1.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

C. utilis' in maksimum ürettiği pH değerinde maksimum nikel(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3-5 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 50 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde bir seri deney

yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.23’de sunulmuştur. Çizelgeden optimum üremenin gözlemlendiği pH 4.0’de nikel(II) biyobirikiminin de maksimum olduğu (30 mg Ni/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum nikel(II)’nin tutulduğu (9,09 mg Ni/g mo) gözlenmektedir.

Çizelge 5.23. Başlangıç pH’ının nikel(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi (T=25°C, C_{oNi}=50 mg/L, S_o=10 g/L, K. H. 120 rpm)

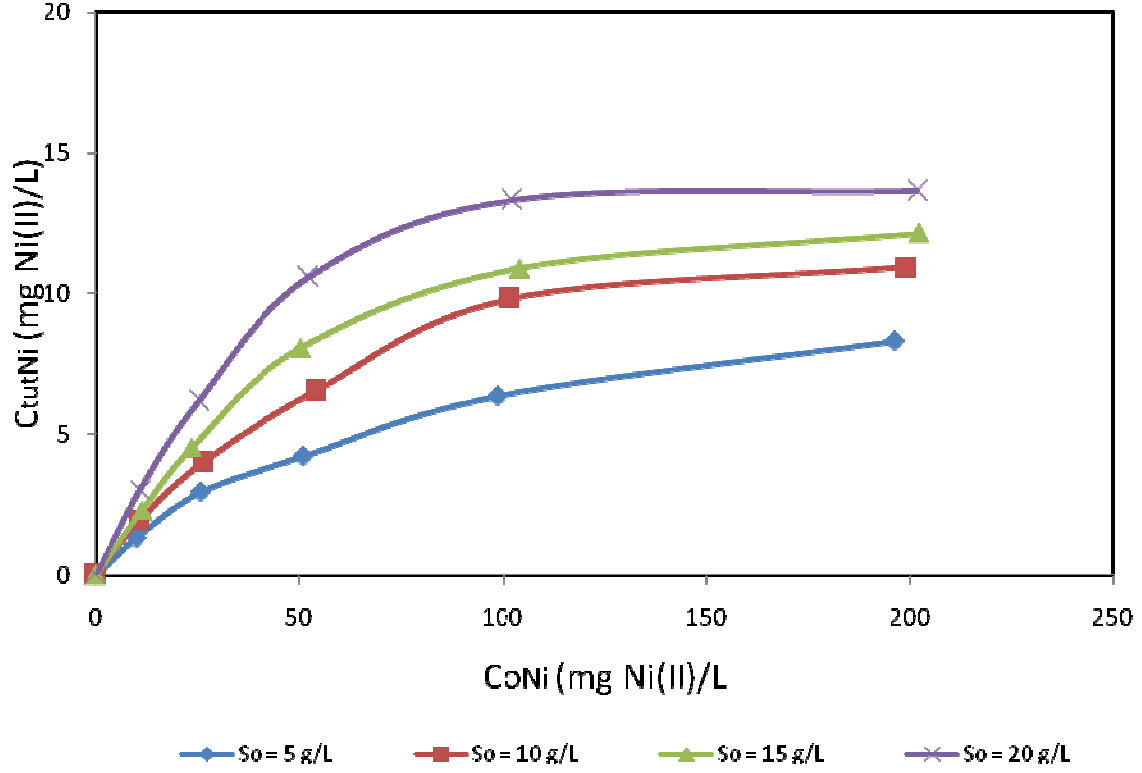
pH	C _{tutNi} mg Ni(II)/L	q _m mg Ni(II)/g kuru mo.
3,0	6,1	2,91
4,0	6,6	3,02
5,0	6,4	2,76

5.5.2.1.2. Başlangıç Nikel Derişiminin Etkisi

5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, *C. utilis*’ in nikel(II) biyobirikim hızına, maksimum tutulan nikel(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve % nikel(II) giderimine başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi 10-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.53 ve Çizelge 24’de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem sakkaroz hem de başlangıç nikel(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum tutulan nikel(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, % nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.24. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen nikel(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve % nikel(II) giderim değerleri

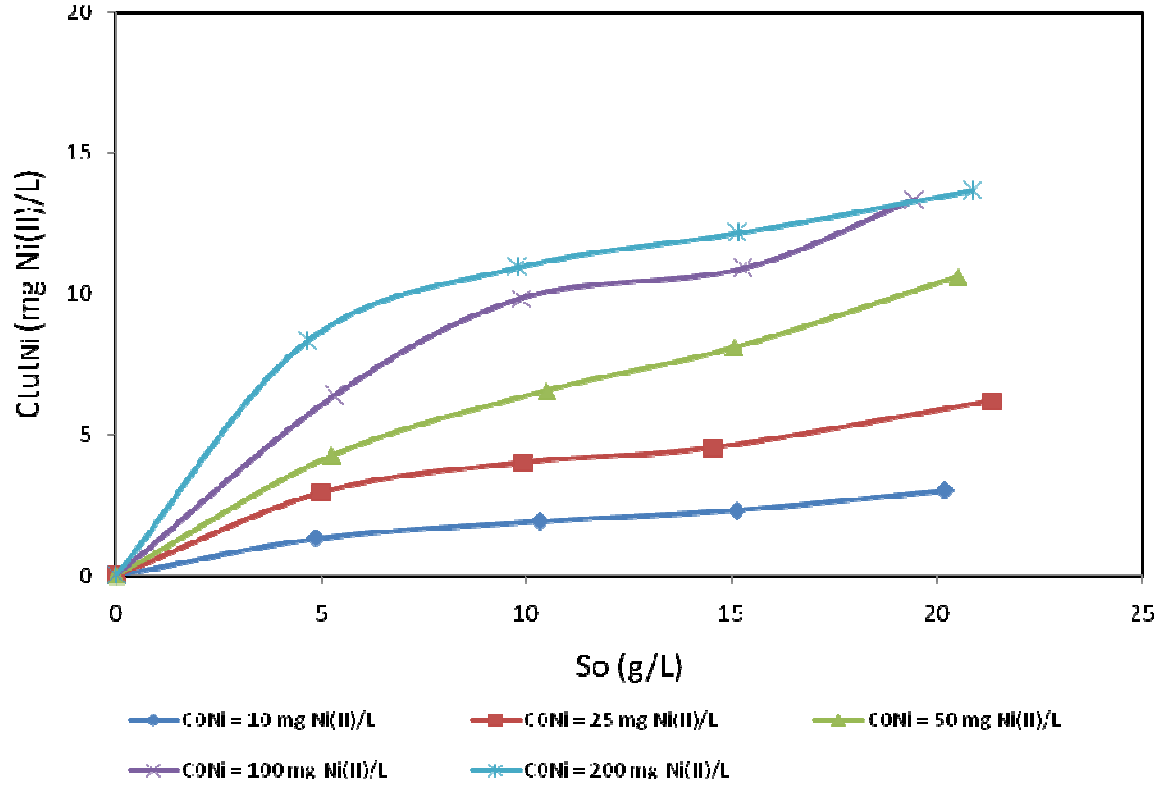
C_{oNi} Mg ni(II)/L	S_o g/L	v mg Ni(II)/g mo sa	C_{tutNi} Mg Ni(II)/L	q_m mg Ni(II)/g kuru mo.	% Giderim
9,9	4,9	0,013	1,3	0,89	13,4
25,6	5,0	0,017	2,9	2,19	11,6
51,1	5,3	0,022	4,2	3,29	8,3
98,6	5,3	0,035	6,4	5,60	6,5
196,3	4,7	0,059	8,3	8,76	4,2
10,6	10,3	0,016	1,9	0,82	18,3
26,1	9,9	0,023	4,0	1,65	15,4
54,1	10,5	0,032	6,6	3,02	12,1
101,8	9,9	0,050	9,8	5,38	9,7
199,2	9,8	0,097	10,9	7,89	5,5
11,2	15,1	0,018	2,3	0,79	20,6
23,4	14,6	0,028	4,5	1,64	19,3
50,5	15,1	0,037	8,1	3,28	16,0
104,2	15,3	0,062	10,9	5,26	10,5
202,4	15,2	0,118	12,1	7,68	6,0
10,8	20,2	0,020	3,0	0,77	28,1
25,2	21,3	0,033	6,2	1,60	24,6
52,3	20,5	0,043	10,6	3,20	20,3
102,4	19,5	0,069	13,3	5,09	13,0
201,8	20,8	0,132	13,6	7,58	6,8



Şekil 5.53. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.2.1.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

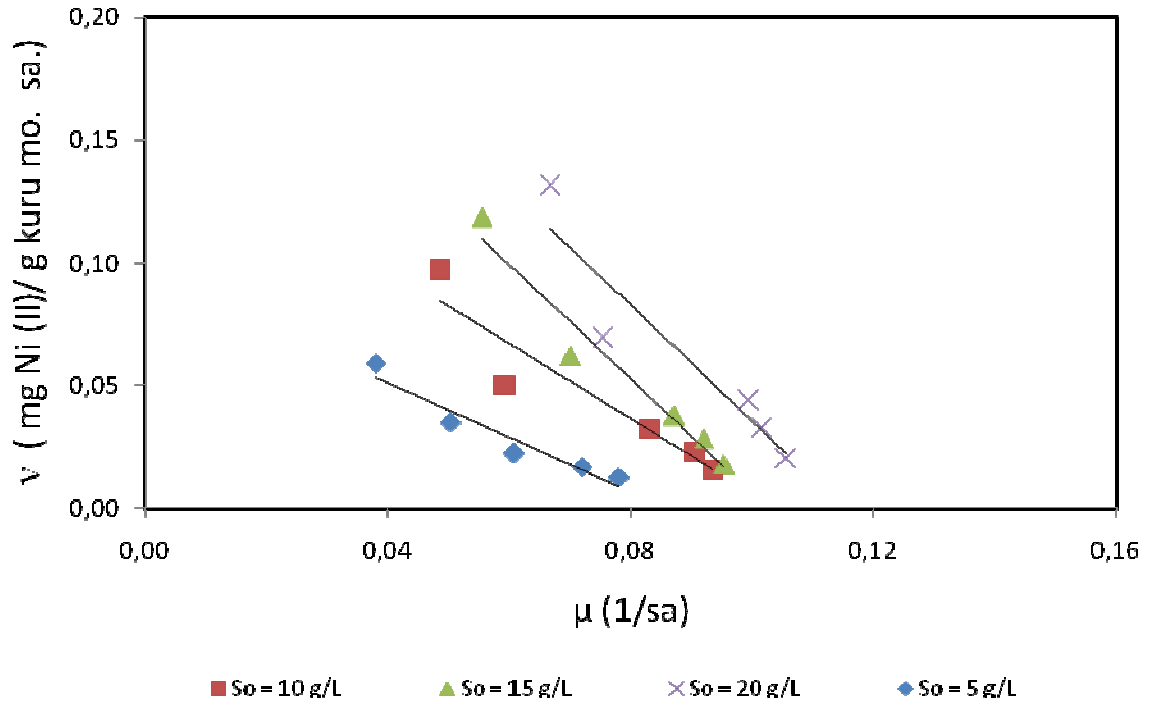
Nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle, 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimine karşı başlangıç sakkaroz derişimi eğrileri Şekil 5.54'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sabit nikel(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla maksimum tutulan nikel(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.54. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.2.1.4. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması

Metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.55). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.55. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.25. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri

S_o (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
5	-1,107	0,095	0,923
10	-1,532	0,158	0,883
15	-2,343	0,24	0,956
20	-2,368	0,272	0,876

5.5.2.2. *C. tropicalis* Çalışmaları

5.5.2.2.1. Başlangıç pH'ının Etkisi

C. tropicalis ' in maksimum ürediği pH değerinde maksimum nikel(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediğini gözlemek amacıyla pH 3.0-5.0 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 50 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde bir seri deney yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.26'da sunulmuştur.

Çizelgeden optimum üremenin gözleendiği pH 4.0'de nikel(II) biyobirikimin de maksimum olduğu (324,6 mg Ni/L) ve birim kuru maya kütlesi başına maksimum nikel(II)'nin tutulduğu (8,15 mg Ni/g mo) gözlenmektedir.

Çizelge 5.26. Başlangıç pH'ının *C.tropicalis*'in nikel(II) biyobirikimine ve birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına etkisi (T=25°C, C_{oNi}=50 mg/L, S_o=10 g/L, K. H. 120 rpm)

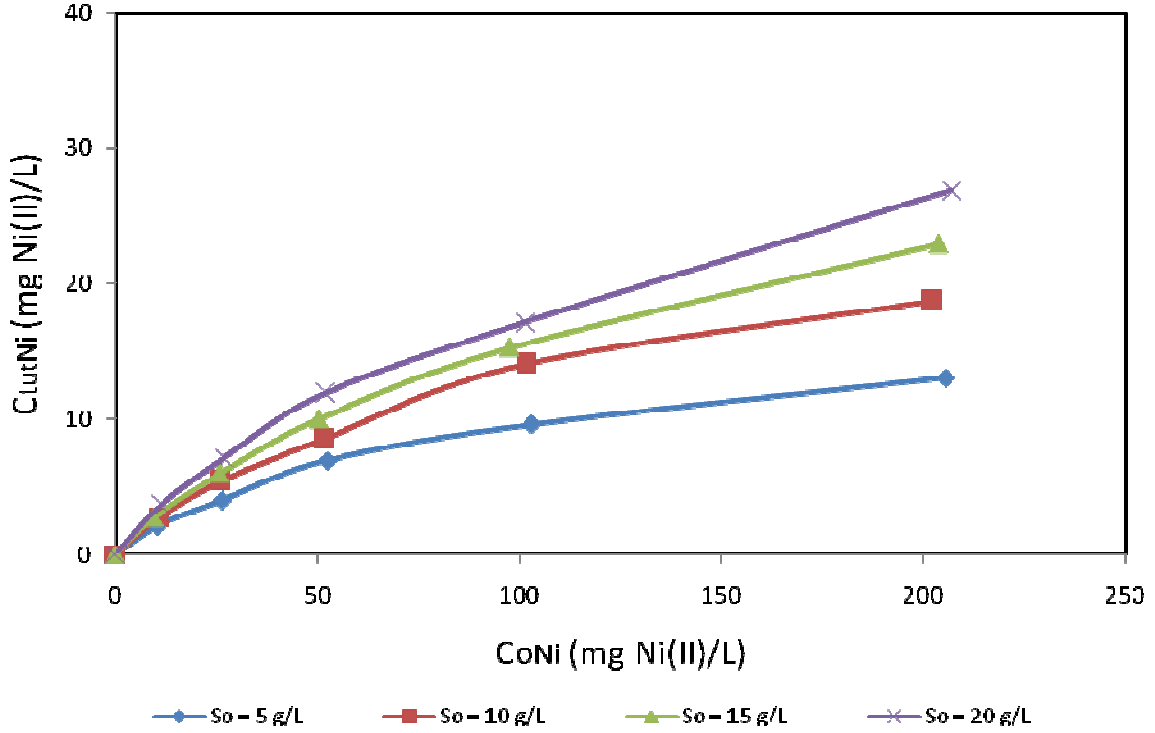
pH	C _{tut} mg Ni(II)/L	g _m mg Ni(II)/g kuru mo.
3,0	6,7	3,64
4,0	8,5	4,36
5,0	8,2	4,12

5.5.2.2.2. Başlangıç Nikel Derişiminin Etkisi

5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, *C. tropicalis*' in nikel(II) biyobirikim hızına, maksimum tutulan nikel(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve % nikel(II) giderimine başlangıç nikel(II) derişiminin etkisi 25-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.56 ve Çizelge 5.27' de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem sakkaroz hem de başlangıç nikel(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum tutulan nikel(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, % nikel(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Başlangıç sakkaroz derişiminin biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı gözden kaçırılmamalıdır.

Çizelge 5.27. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan nikel(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarı ve % nikel(II) giderim değerleri

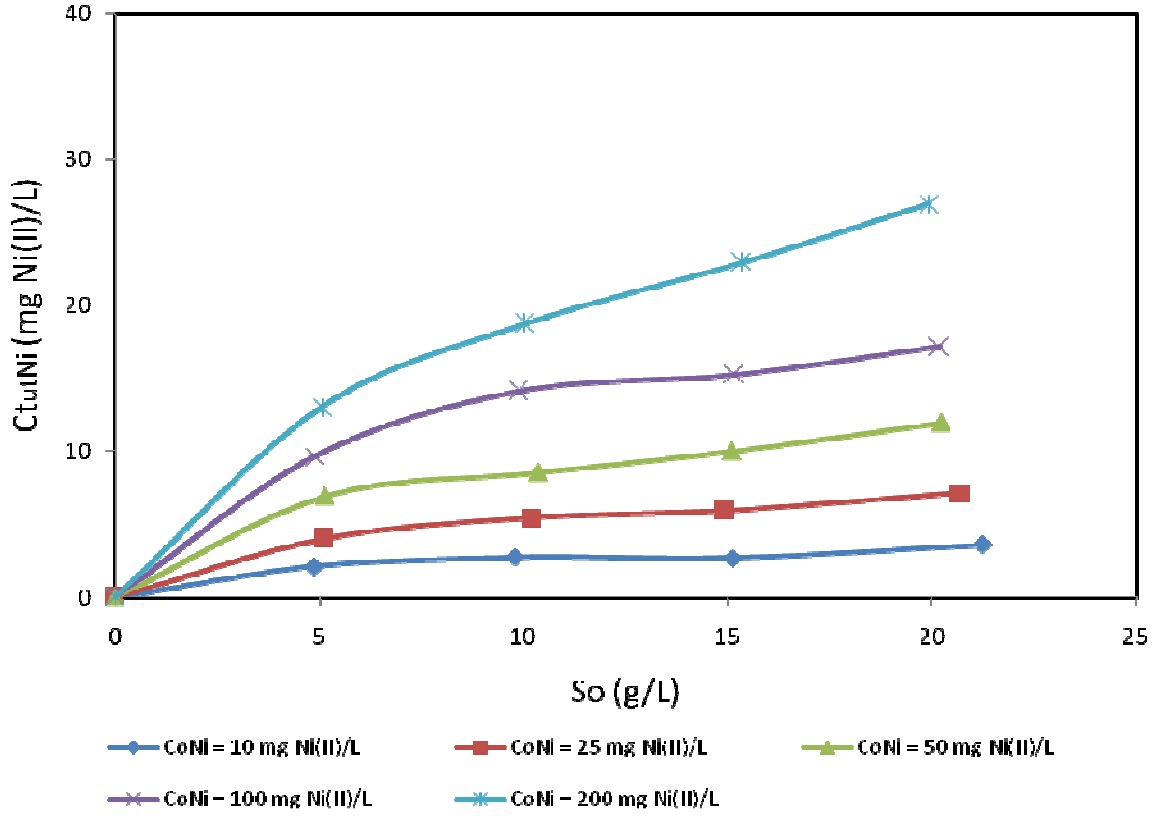
C_{oNi} Mg ni(II)/L	S_o g/L	v mg Ni(II)/g mo sa	C_{tutNi} Mg Ni(II)/L	q_m mg Ni(II)/g kuru mo.	% Giderim
10,2	4,9	0,016	2,1	0,92	20,6
26,4	5,1	0,017	4,0	2,07	15,2
52,3	5,1	0,031	6,9	4,01	13,2
103,1	4,9	0,047	9,6	6,65	9,3
205,4	5,1	0,077	13,0	10,87	6,3
10,9	9,8	0,019	2,7	0,77	20,8
26,1	10,2	0,022	5,4	2,19	16,6
51,4	10,3	0,036	8,5	4,36	13,9
101,7	9,9	0,058	14,1	8,11	9,3
202,2	10,0	0,115	18,7	13,1	20,8
9,4	15,1	0,022	2,7	0,65	28,8
25,8	14,9	0,026	5,9	1,86	23,1
50,2	15,1	0,041	10,0	3,79	19,9
97,5	15,2	0,065	15,3	6,52	15,7
203,6	15,3	0,144	22,9	14,08	11,3
11,0	21,2	0,024	3,6	0,73	32,7
26,8	20,7	1,985	7,1	1,98	26,6
51,7	20,2	0,049	11,9	3,54	23,1
101,4	20,2	0,075	17,1	6,62	16,9
207,0	19,9	0,164	26,9	14,79	13,0



Şekil 5.56. 5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.2.2.3. Başlangıç Sakkaroz Derişiminin Etkisi

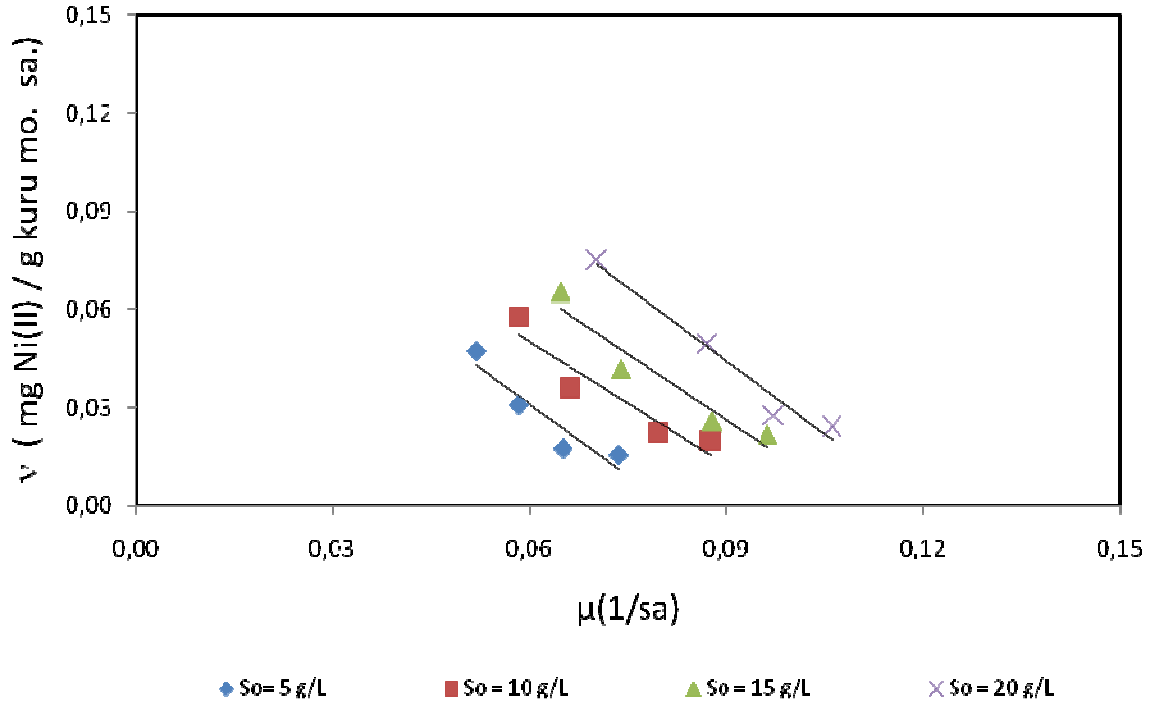
Nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle, 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen maksimum tutulan nikel(II) derişimine karşı başlangıç sakkaroz derişimi eğrileri Şekil 5.57'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün sabit nikel(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla maksimum tutulan nikel(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir.



Şekil 5.57. 10-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 120 rpm)

5.5.2.2.4. Kinetik Sabitlerin Hesaplanması

Metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.58). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.28' de verilmiştir.



Şekil 5.58. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.28. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler ve R^2 değerleri

S_o (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
5	-1,459	0,118	0,865
10	-1,25	0,125	0,889
15	-1,345	0,147	0,923
20	-1,502	0,179	0,971

5.5.3. Kadmiyum(II)-Nikel(II) İkili Metal İyonu Karışımlarını Birarada İçeren Besin Ortamlarında Mayalara Kadmiyum(II) ve Nikel(II) Biyobirikiminin İncelenmesi

Deneysel çalışmaların bu kısmı pH 4'de ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, kadmiyum(II) ve nikel(II) karışımlarını bir arada ve maksimum 400 mg/L olacak şekilde içeren besin ortamında gerçekleştirilmiş ve bu mayaların karışım halindeki kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını biriktirebilme yeteneği araştırılmıştır.

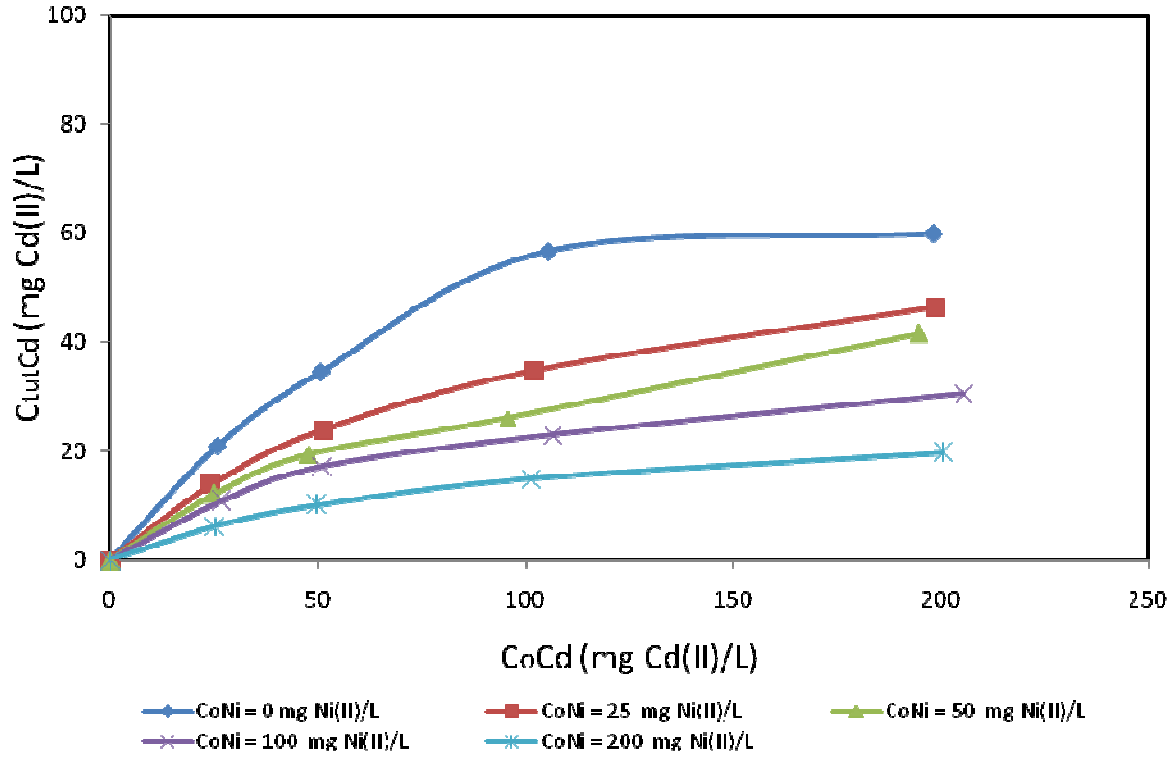
5.5.3.1. *Candida utilis* Çalışmaları

5.5.3.1.1. Sabit Nikel(II) Derişimlerinde Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

Kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını bir arada içeren melaslı besin ortamında, 25-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, *C. utilis* 'in kadmiyum(II) ve nikel(II) biyobirikim hızlarına, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarlarına ve % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderimlerine, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin etkisi 25-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.59 ve Çizelge 5.29'da sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem başlangıç nikel(II) hem de başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri arttıkça her iki iyonun da biyobirikim hızlarının, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarlarının arttığı, % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderim değerlerinin azaldığı, nikel(II) derişimindeki artışın ise kadmiyum(II) biyobirikim hız ve kapasitesini önemli ölçüde azalttığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.29. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen kadmiyum(II) ve nikel(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimleri, birim kuru maya kütleli tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarları ve % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderimleri

C_{oCd}	C_{oNi}	V_{Cd}	V_{Ni}	C_{tutCd}	C_{tutNi}	Q_{mCd}	Q_{mNi}	%Ni giderim	%Cd giderim
mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	mg Ni(II)/g kuru m.o. sa	mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/g kuru mo.	mg Ni(II)/g kuru mo.		
24,5	25,1	0,04	0,021	13,94	3,24	6,45	1,5	56,9	12,9
51,2	25,2	0,054	0,022	23,9	2,99	12,38	1,55	46,7	11,9
102,4	24,7	0,07	0,02	34,83	2,34	20,37	1,37	34	9,5
198,8	25,1	0,131	0,017	46,4	1,69	30,53	1,11	23,3	6,7
25	51,6	0,039	0,035	12,16	5,72	5,99	2,82	48,6	11,1
47,8	50,2	0,049	0,033	19,4	5,08	10,66	2,79	40,6	10,1
95,7	52	0,064	0,029	26,05	3,66	16,49	2,32	27,2	7
194,9	50,3	0,108	0,025	41,6	2,52	28,89	1,75	21,3	5
26,6	101,3	0,031	0,056	10,77	8,05	6,02	4,5	40,4	7,9
51,1	102,5	0,04	0,057	17,14	7,75	10,39	4,7	33,5	7,6
106,6	100,8	0,056	0,054	23	6,2	15,75	4,25	21,6	6,1
205,4	104	0,079	0,039	30,55	4,85	24,06	3,82	14,9	4,7
25,3	202,5	0,023	0,097	6,2	9,1	5,12	7,52	24,5	4,5
49,9	201,6	0,036	0,092	10,14	8,5	9,75	8,17	20,3	4,2
101,2	198,3	0,04	0,079	14,9	7,3	15,85	7,77	14,7	3,7
200,6	199,1	0,062	0,064	19,76	4,73	24,1	5,77	9,8	2,4



Şekil 5.59. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. utilis* tarafından tutulan kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, S₀=10 g/L, K. H. 120 rpm)

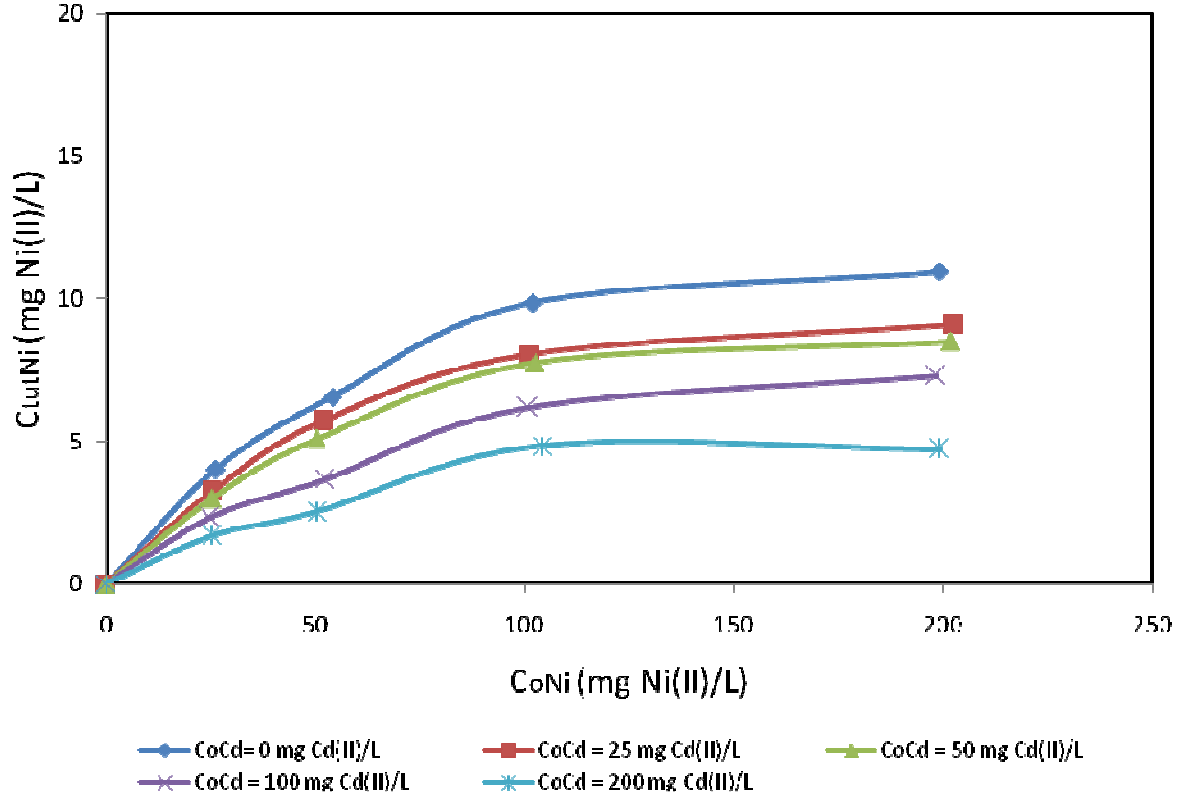
5.5.3.1.2. Sabit Kadmiyum(II) Derişimlerinde Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi

Nikel(II) ve kadmiyum(II) iyonlarını bir arada içeren melaslı besin ortamında, nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle 25-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 25-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. (Çizelge 5.30). Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* 'in nikel(II) biyobirikim hızına, maksimum tutulan nikel(II) derişimine, birim kuru maya kütle tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve % nikel(II) giderimine etkisi Şekil 5.60 ve Çizelge 5.30'da gösterilmiştir. Şekilden ve çizelgeden çalışılan tüm kadmiyum(II) derişimlerinde, başlangıç nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla, nikel(II) biyobirikim hızının, maksimum tutulan nikel(II) derişiminin, birim kuru maya kütle tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, % nikel(II) giderim değerinin azaldığı, kadmiyum(II)

derişimindeki artışın ise nikel(II) biyobirikimini hız ve kapasite açısından azalttığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.30. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri

C_{oNi}	C_{oCd}	V_{Ni}	V_{Cd}	C_{tutNi}	C_{tutCd}	Q_{mNi}	Q_{mCd}	%Ni giderim	%Cd giderim
mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/g kuru m.o. sa	mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/L	mg Cd(II)/g kuru mo.	mg Cd(II)/g kuru mo.		
25,1	24,5	0,021	0,04	3,24	13,94	1,5	6,45	12,9	56,9
51,6	25	0,035	0,039	5,72	12,16	2,82	5,99	11,1	48,6
101,3	26,6	0,056	0,031	8,05	10,77	4,5	6,02	7,9	40,4
202,5	25,3	0,097	0,023	9,1	6,2	7,52	5,12	4,5	24,5
25,2	51,2	0,022	0,053	2,99	23,9	1,55	12,38	11,9	46,7
50,2	47,8	0,033	0,049	5,08	19,4	2,79	10,66	10,1	40,6
102,5	51,1	0,057	0,04	7,75	17,14	4,7	10,39	7,6	33,5
201,6	49,89	0,092	0,036	8,5	10,14	8,17	9,75	4,2	20,3
24,7	102,4	0,02	0,07	2,34	34,82	1,37	20,37	9,5	34
52	95,7	0,029	0,064	3,66	26,05	2,32	16,49	7	27,2
100,8	106,6	0,054	0,056	6,2	23	4,25	15,75	6,1	21,6
198,3	101,2	0,079	0,039	7,3	14,9	7,77	15,85	3,7	14,7
25,1	198,8	0,017	0,131	1,69	46,4	1,11	30,53	6,7	23,3
50,3	194,9	0,025	0,108	2,52	41,6	1,75	28,89	5	21,3
104	205,4	0,039	0,08	4,85	30,55	3,82	24,05	4,7	14,9
199,1	200,6	0,064	0,062	4,73	19,76	5,77	24,1	2,4	9,8



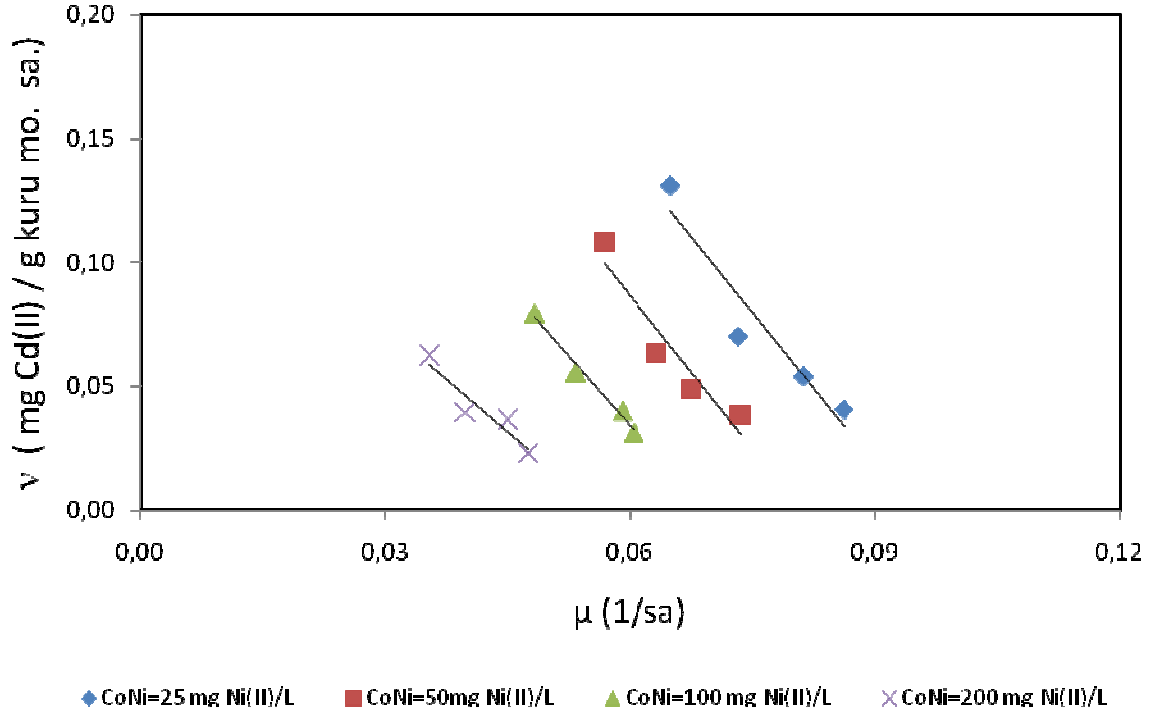
Şekil 5.60. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. utilis* tarafından tutulan nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, So=10 g/L, K. H. 120 rpm)

5.5.3.1.3. Kinetik Sabitlerin Bulunması

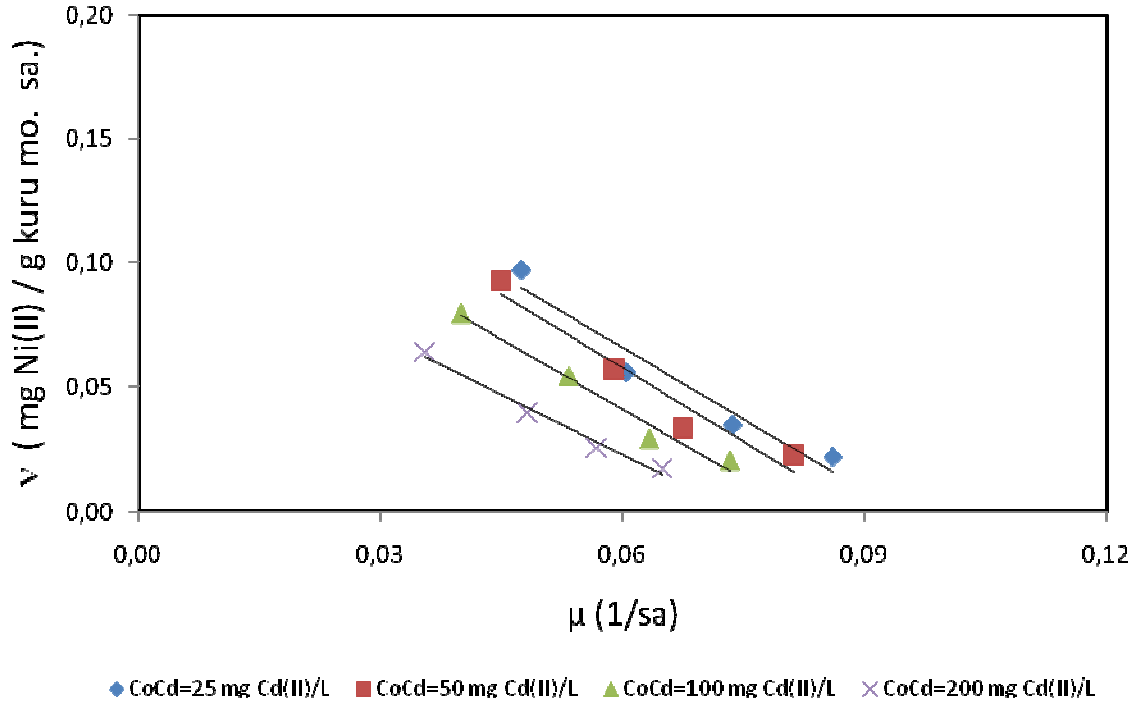
Kadmiyum(II)-nikel(II) ikili karışımlarını içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda her bir iyonun ait metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için, her bir sabit nikel(II) derişiminde 25-200 mg/L aralığında değişen başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde ve her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde, 25-200 mg/L aralığında değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen ν ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.61 ve Şekil 5.62). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.31. *C. utilis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) derişimleri için ve her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler ve R^2 değerleri

C_0Cd (mg Cd(II)/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2	C_0Ni (mg Ni(II)/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
25	-4,118	0,388	0,909	25	-1,928	0,181	0,941
50	-4,133	0,334	0,895	50	-1,985	0,176	0,939
100	-3,736	0,258	0,984	100	-1,966	0,152	0,975
200	-2,889	0,161	0,898	200	-1,62	0,119	0,982



Şekil 5.61. *C. utilis* için her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.62. *C. utilis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı µ grafikleri

5.5.3.2. *C. tropicalis* Çalışmaları

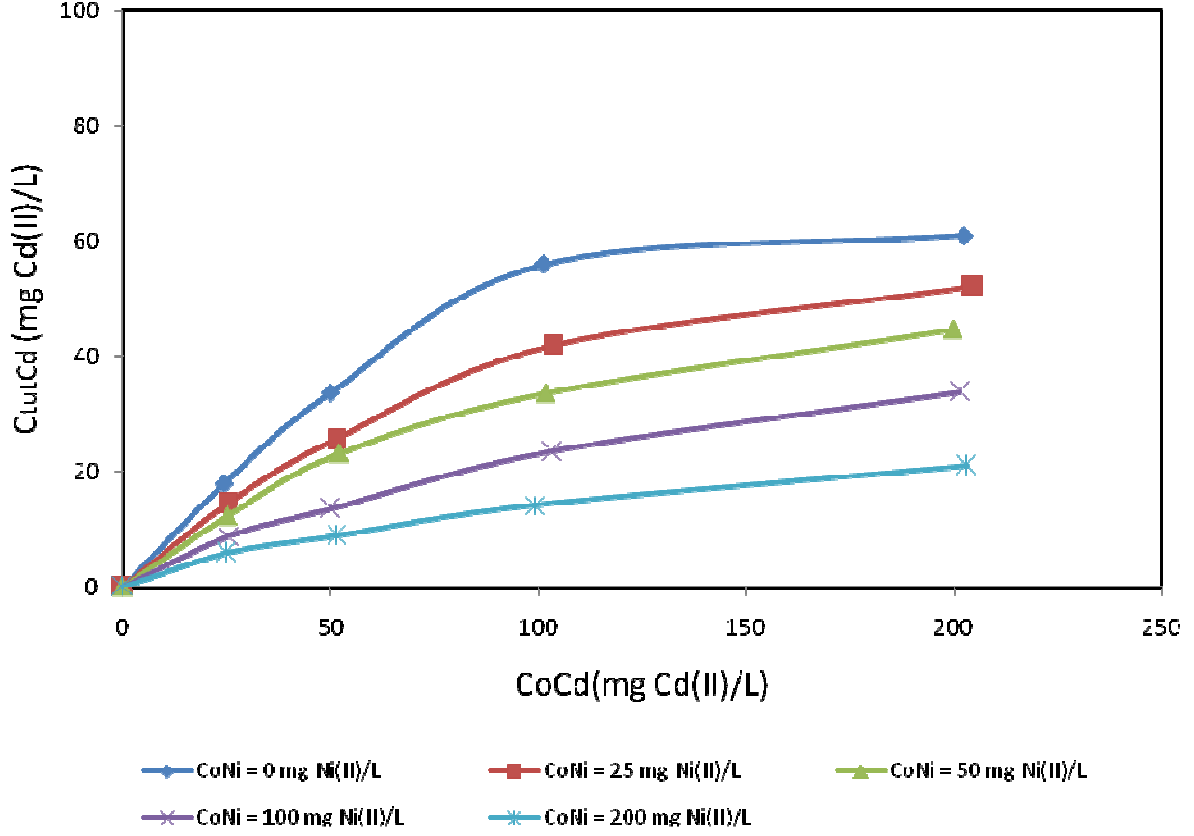
5.5.3.2.1. Sabit Nikel(II) Derişimlerinde Başlangıç Kadmiyum(II) Derişiminin Etkisi

Kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarını bir arada içeren melaslı besin ortamında, 25-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, *C. tropicalis*'in kadmiyum(II) ve nikel(II) biyobirikim hızlarına, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarlarına ve % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderimlerine, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin etkisi 25-200 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.63 ve Çizelge 5.32'de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, hem başlangıç nikel(II) hem de başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri arttıkça her iki iyonun da biyobirikim hızlarının, maksimum tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kadmiyum(II) ve nikel(II) miktarlarının arttığı, % kadmiyum(II) ve % nikel(II) giderim değerlerinin azaldığı, nikel(II) derişimindeki

artışın ise kadmiyum(II) biyobirikim hız ve kapasitesini önemli ölçüde azalttığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.32. Her bir sabit nikel(II) derişiminde değişen başlangıç kadmiyum(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri

C_{oCd}	C_{oNi}	V_{Cd}	V_{Ni}	C_{tutCd}	C_{tutNi}	Q_{mCd}	Q_{mNi}	%Ni giderim	%Cd giderim
mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	mg Ni(II)/g kuru m.o. sa	mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/g kuru mo.	mg Ni(II)/g kuru mo.		
25,1	24,9	0,044	0,022	14,4	4,1	6,12	1,75	57,5	16,6
51,3	25,3	0,051	0,018	25,6	3,8	11,57	1,72	49,8	15
103,5	24,4	0,063	0,016	41,9	3,3	20,95	1,66	40,5	13,6
204,6	25,1	0,091	0,012	52,2	2,4	29,49	1,34	25,5	9,5
25,2	50,7	0,04	0,036	12,3	7,1	5,32	5,32	49	14
52,1	51,3	0,047	0,035	23,2	5,7	10,63	2,6	44,4	11
101,8	48,7	0,056	0,032	33,6	5	16,63	2,49	33	10,3
199,81	49,8	0,091	0,026	44,7	3,9	26,29	2,28	22,4	7,8
25,6	98,9	0,038	0,063	8,8	11,2	5,66	7,2	34,2	11,3
50,1	100,5	0,041	0,056	13,6	9,9	9,11	6,63	27,1	9,8
103,4	101,5	0,058	0,049	23,5	8,1	17,12	6,48	22,7	8,7
201,5	106,3	0,064	0,031	33,8	6,7	28,17	5,57	16,8	6,3
25	202,5	0,031	0,103	5,9	15,4	4,45	11,67	23,5	7,6
51,3	201,5	0,036	0,087	8,9	11,8	7,64	10,17	17,3	5,9
99,1	204,1	0,049	0,071	14,2	10,7	10,59	10,59	14,3	5,2
203,2	197,9	0,057	0,059	21	8,4	24,42	9,77	10,3	4,2



Şekil 5.63. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç nikel(II) derişiminde, başlangıç kadmiyum(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından tutulan kadmiyum(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, So=10 g/L, K. H. 120 rpm)

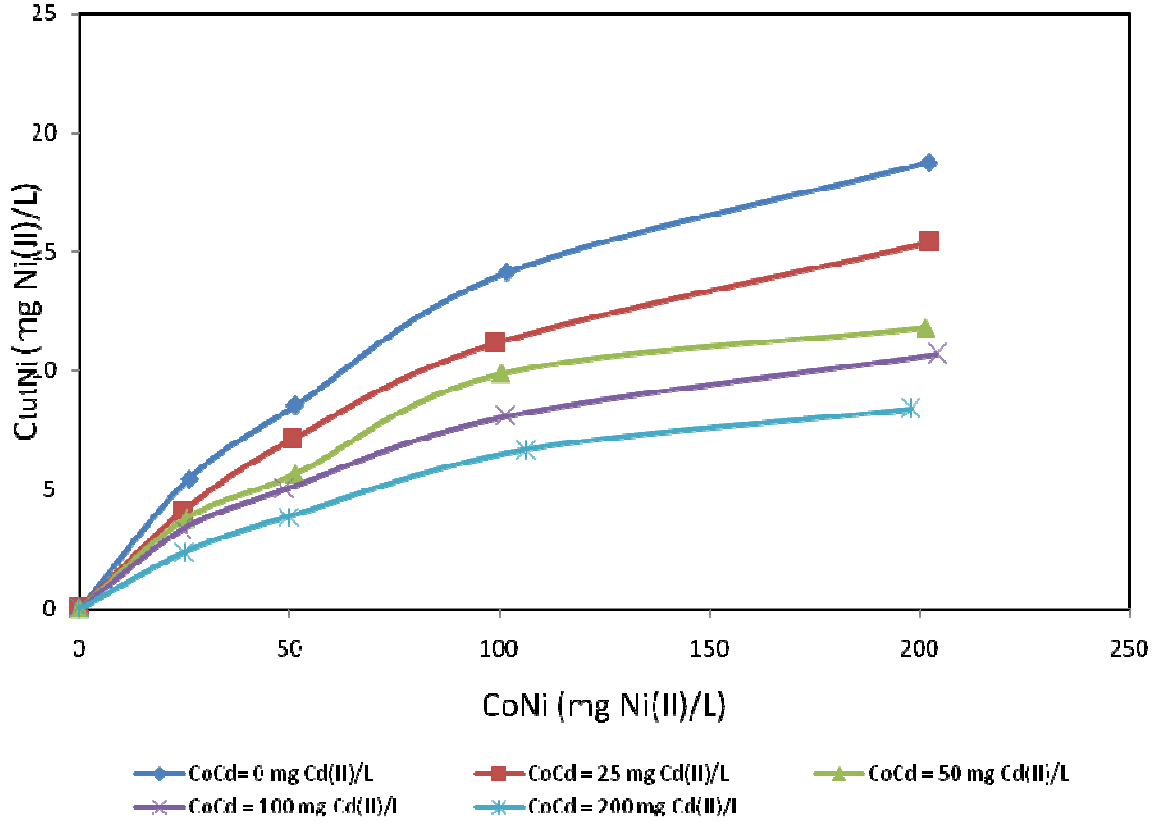
5.5.3.2.2.Sabit Kadmiyum(II) Derişimlerinde Başlangıç Nikel(II) Derişiminin Etkisi

Nikel(II) ve kadmiyum(II) iyonlarını bir arada içeren melaslı besin ortamında, nikel(II) biyobirikimi, aynı verilerle 25-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin 25-200 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir (Çizelge 5.33). Her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* 'in nikel(II) biyobirikim hızına, maksimum tutulan nikel(II) derişimine, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarına ve % nikel(II) giderimine etkisi Şekil 5.64 ve Çizelge 5.33'te gösterilmiştir. Şekilden ve çizelgeden çalışılan tüm kadmiyum(II) derişimlerinde, başlangıç nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye kadar artmasıyla, nikel(II) biyobirikim hızının, maksimum tutulan nikel(II) derişiminin, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) miktarının arttığı, % nikel(II) giderim değerinin

azaldığı, kadmiyum(II) derişimindeki artışın ise nikel(II) biyobirikimini hız ve kapasite açısından azalttığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.33. Her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen nikel(II) ve kadmiyum(II) biyobirikim hızları, maksimum tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) derişimleri, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan nikel(II) ve kadmiyum(II) miktarları ve % nikel(II) ve % kadmiyum(II) giderimleri

C_{oNi}	C_{oCd}	V_{Ni}	V_{Cd}	C_{tutNi}	C_{tutCd}	Q_{mNi}	Q_{mCd}	%Ni giderim	%Cd giderim
mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/L	mg Ni(II)/g kuru m.o. sa	mg Cd(II)/g kuru m.o. sa	mg Ni(II)/L	mg Cd(II)/L	mg Cd(II)/g kuru mo.	mg Cd(II)/g kuru mo.		
24,9	25,1	0,022	0,044	4,1	14,4	1,75	6,12	16,6	57,5
50,7	25,2	0,036	0,04	7,1	12,3	5,32	5,32	14	49
98,9	25,6	0,063	0,038	11,2	8,8	7,2	5,67	11,3	34,2
202,5	25	0,103	0,031	15,4	5,9	11,67	4,45	7,6	23,5
25,2	51,3	0,018	0,051	3,8	25,6	1,72	11,57	15	49,8
51,3	52,1	0,035	0,047	5,7	23,2	2,6	10,63	11	44,4
100,5	50,1	0,056	0,041	9,9	13,6	6,63	9,11	9,8	27,1
201,4	51,3	0,087	0,036	11,8	8,9	10,17	7,64	5,9	17,3
24,4	103,5	0,016	0,063	3,3	41,9	1,66	20,95	13,6	40,5
48,7	101,8	0,032	0,056	5	33,6	2,49	16,63	10,3	33
101,5	103,4	0,049	0,058	8,1	23,4	6,48	17,12	8,7	22,7
204,1	99,05	0,071	0,049	10,7	14,1	10,59	10,59	5,2	14,3
25,1	204,6	0,012	0,091	2,4	52,2	1,34	29,49	9,5	25,5
49,8	199,8	0,026	0,091	3,9	44,7	2,28	26,29	7,8	22,4
106,3	201,5	0,031	0,064	6,7	33,8	5,57	28,17	6,3	16,8
197,9	203,2	0,059	0,057	8,4	21	9,77	24,48	4,2	10,3



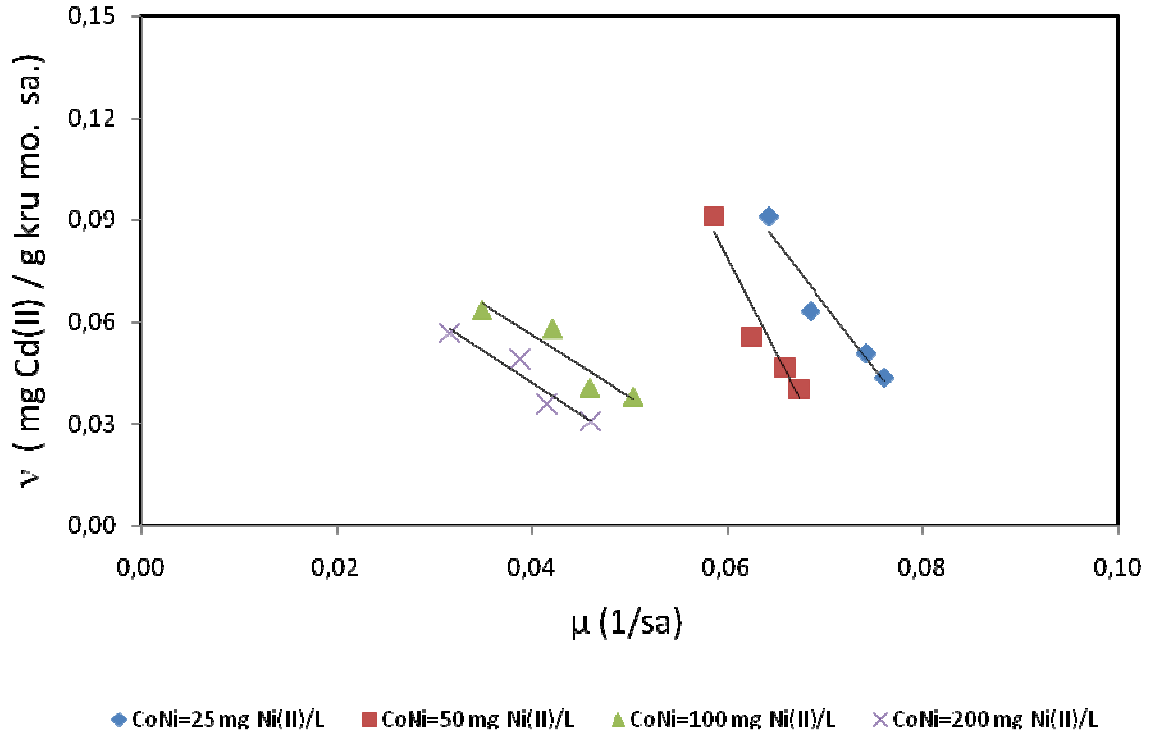
Şekil 5.64. 0-200 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç kadmiyum(II) derişiminde, başlangıç nikel(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından tutulan nikel(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, So=10 g/L, K. H. 120 rpm)

5.5.3.2.3. Kinetik Sabitlerin Bulunması

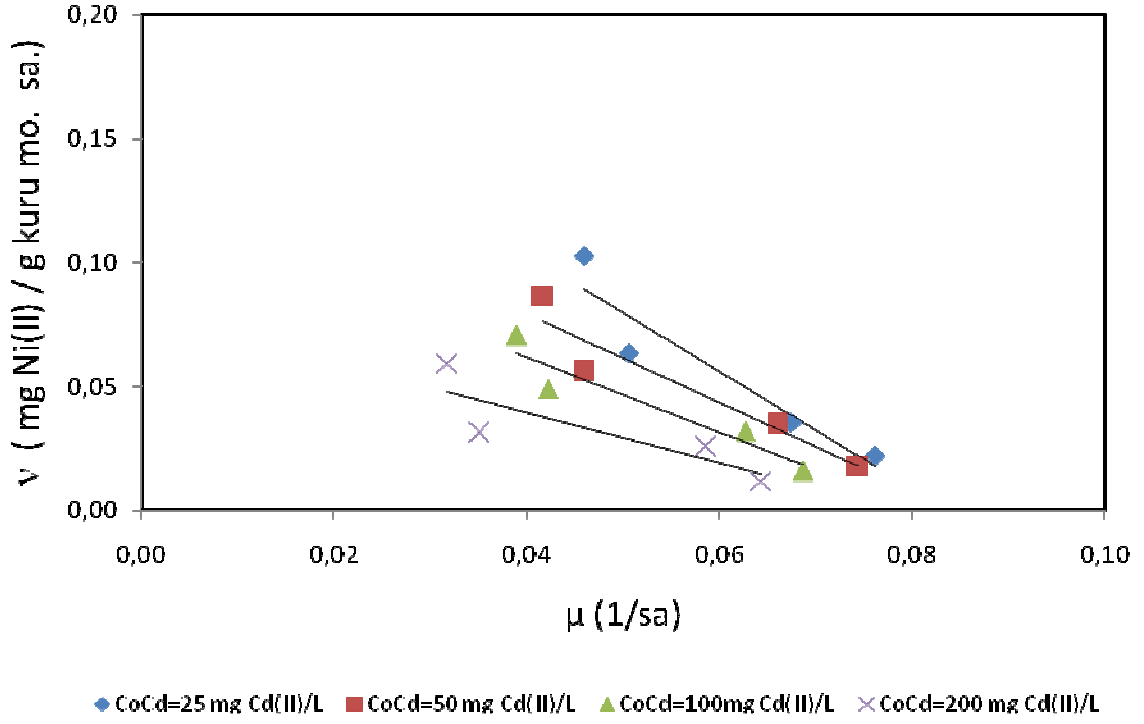
Kadmiyum(II)-nikel(II) ikili karışımlarını içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda her bir iyonun ait metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.14'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için, her bir sabit nikel(II) derişiminde 25-200 mg/L aralığında değişen başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde ve her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde, 25-200 mg/L aralığında değişen başlangıç nikel(II) derişimlerinde elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir (Şekil 5.65 ve Şekil 5.66). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri ile R^2 değerleri Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.34. *C. tropicalis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) derişimleri için ve her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler ve R^2 değerleri

C_0Cd (mg Cd(II)/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2	C_0Ni (mg Ni(II)/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
25	-2,372	0,198	0,883	25	-3,756	0,328	0,942
50	-1,784	0,15	0,896	50	-5,592	0,414	0,933
100	-1,51	0,122	0,899	100	-1,802	0,128	0,884
200	-1,024	0,08	0,711	200	-1,903	0,118	0,921



Şekil 5.65. *C. tropicalis* için her bir sabit nikel(II) derişiminde farklı başlangıç kadmiyum(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.66. *C. tropicalis* için her bir sabit kadmiyum(II) derişiminde farklı başlangıç nikel(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışmasında oldukça düşük pH'a sahip çözeltilerden tekli kadmiyum(II), tekli nikel(II) ve farklı oranlarda kadmiyum(II)ve nikel(II) içeren karışımların biyobirikim yöntemiyle gideriminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği araştırılmıştır. Bu amaçla düşük pH' larda üreyebilen ve ağır metal iyonlarına oldukça dirençli olan mayalardan *Candida utilis* ve *Candida tropicalis'* in, sırasıyla ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında üreme kinetiği incelenmiş, daha sonra kadmiyum(II) ve/veya nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında bu iyonların mayaların üremesine etkisi araştırılmış ve son olarak da bu iyonların tekli ve ikili karışımlarının mayalara biyobirikimi incelenmiştir.

Çalışmaların ilk kısmında metal iyonu içermeyen besin ortamında mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine ortam pH'ının, sıcaklığın ve karıştırma hızının etkileri araştırılmış ve her iki maya için de optimum üremenin pH 4.0' de, 25°C 'da ve 120 rpm' de gerçekleştiği gözlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda melas sakkarozu substrat olarak kullanılmış ve bulunan optimum koşullarda başlangıç sakkaroz derişiminin mayaların özgül üreme hızına etkisi, sakkaroz derişimi 5-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve bu derişim aralığında substrat inhibisyonunun olmadığı gözlenmiştir. Şekil 6.1' de her iki mayanın 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde elde edilen üreme ve substrat tüketim eğrileri sunulmuştur. Şekilden, mayaların üremelerini 60-80 saat arasında tamamladığı, *C. tropicalis'* in üremesinin ise *C. utilis'* e göre daha hızlı, ancak sakkaroz tüketiminin biraz daha yavaş olduğu görülmektedir. Üremeyi sınırlayıcı substrat (sakkaroz) ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkinin Monod eşitliğine uyduğu varsayılarak, her mayaya ait bulunan kinetik sabitler Çizelge 6.1' de karşılaştırılmıştır. Çizelgeden *C. tropicalis'* in *C. utilis'* den daha büyük maksimum özgül üreme hızına sahip olduğu görülebilir.

Her iki maya türüyle de artan her bir sabit başlangıç kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5' den 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin ve maksimum mikroorganizma derişimlerinin ve üreme sürelerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak kadmiyum(II)/nikel(II) derişimindeki artış bu değerlerin azalmasına neden olmuştur.

Her iki maya türüyle de artan her bir sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç kadmiyum(II)/nikel(II) derişimindeki 0'dan 200 mg/L'ye kadar olan artış, özgül üreme hız değerlerini ve maksimum mikroorganizma derişimlerini önemli ölçüde azaltmış ve mayaların üreme süresinin daha da uzamasına yol açmıştır.

Her iki maya türüyle de sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde değişen oranlarda kadmiyum(II) ve nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında yapılan çalışmalarda benzer olarak ikili karışımların mayaların özgül üreme hız değerlerini ve maksimum mikroorganizma derişimlerini daha da azalttığı, üreme sürelerini ise daha da uzattığı gözlenmiştir.

Çizelge 6.2' de metal iyonu içermeyen, 100 mg/L kadmiyum(II) veya 100 mg/L nikel(II) içeren ve $50+50=100$ mg/L toplam kadmiyum(II)+nikel(II) içeren ortamlarda, sakkaroz derişimi 5 ve/veya 10 g/L' de tutulduğunda, bu değişkenlerin her iki mayanın üremesi üzerine etkileri sunulmuştur. Çizelgeden her iki maya için de, sabit 100 mg/L başlangıç metal iyonu derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 5'den 10 g/L'ye kadar artmasıyla her iki metal iyonu için de özgül üreme ve sakkaroz tüketim hız değerlerinin ve maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimlerinin arttığı görülebilir. Ancak, sabit sakkaroz derişiminde, başlangıç metal iyonu derişiminin 0'dan 100 mg/L'ya kadar artması ile her iki mayanın da özgül üreme ve sakkaroz tüketim hız değerleri ile maksimum üreyen kuru mikroorganizma derişimlerinin önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Aynı etki, toplam metal derişiminin 100 mg/L olduğu kadmiyum(II) ve nikel(II) karışımı içeren ortam için de geçerlidir.

Çizelge 6.2. Sabit kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde sakkaroz derişiminin ve sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışimdaki kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin *Candida utilis* ve *Candida tropicalis*' in üremesi üzerine etkileri

Maya Türü	S _o g sak./L	C _{oCd} mg Cd(II)/L	C _{oNi} mg Ni(II)/L	Kadmiyum(II)			Nikel(II)		
				μ 1/sa	X _m g kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa	μ 1/sa	X _m g kuru mo./L	η g sak/g kuru m.o. sa
<i>C. utilis</i>	10,02	-	-	0,097	3,38	0,112	-	-	-
	5,26	103,15	-	0,068	1,35	0,085	-	-	-
	10,1	105,36	-	0,079	2,38	0,096	-	-	-
	5,31	-	98,64	-	-	-	0,05	1,14	0,765
	9,87	-	101,84	-	-	-	0,059	1,83	0,815
	10,02	47,85	50,23	0,067	1,82	0,090	0,067	1,82	0,09
	9,97	205,45	104,02	0,048	1,27	0,070	0,048	1,27	0,070
<i>C. tropicalis</i>	9,72	-	-	0,109	4,03	0,135	-	-	-
	5,09	97,54	-	0,063	1,93	0,095	-	-	-
	9,83	101,32	-	0,073	2,79	0,108	-	-	-
	4,88	-	103,14	-	-	-	0,052	1,45	0,081
	9,86	-	101,66	-	-	-	0,058	1,74	0,086
	10,15	52,13	51,34	0,066	2,18	0,089	0,066	2,18	0,089
	10,08	103,37	101,49	0,042	1,37	0,075	0,042	1,37	0,075

Kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, her iki maya için de inhibisyonun yarışmalı inhibisyona en iyi uyduğuna karar verilmiş, tekli ve ikili yarışmalı inhibisyon sabitleri MicroSoft Excel®-Solver toolbox programı kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 6.3' te sunulmuştur. İnhibisyon sabitleri, *C. utilis* ve *C. tropicalis*' in kadmiyum(II) iyonlarına nikel(II) iyonlarından daha dirençli olduğunu ve inhibisyonun nikel(II) için düşük derişimlerde, kadmiyum(II) için ise çok daha yüksek derişimlerde başladığını göstermektedir. Kadmiyum(II)-nikel(II) karışımlarında ise, kadmiyum(II)' nin nikel(II) inhibisyonunu fazla etkilemediği, nikel(II)' nin ise kadmiyum(II) inhibisyonunu arttırdığı görülmektedir.

Çizelge 6.3. Kadmiyum(II)/nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir mayanın üremesi üzerine yaptığı yarışmalı inhibisyonda elde edilen model sabitleri

Maya Türü	Kadmiyum(II)	Nikel(II)	Kadmiyum(II)+Nikel(II)	
	Inhibisyonu	Inhibisyonu	Inhibisyonu	
	K_{iCd} mg Cd(II)/L	K_{iNi} mg Ni(II)/L	K_{iCd} mg Cd(II)/L	K_{iNi} mg Ni(II)/L
<i>C. utilis</i>	70,12	23,02	40,53	22,51
<i>C. tropicalis</i>	49,56	23,42	40,45	23,02

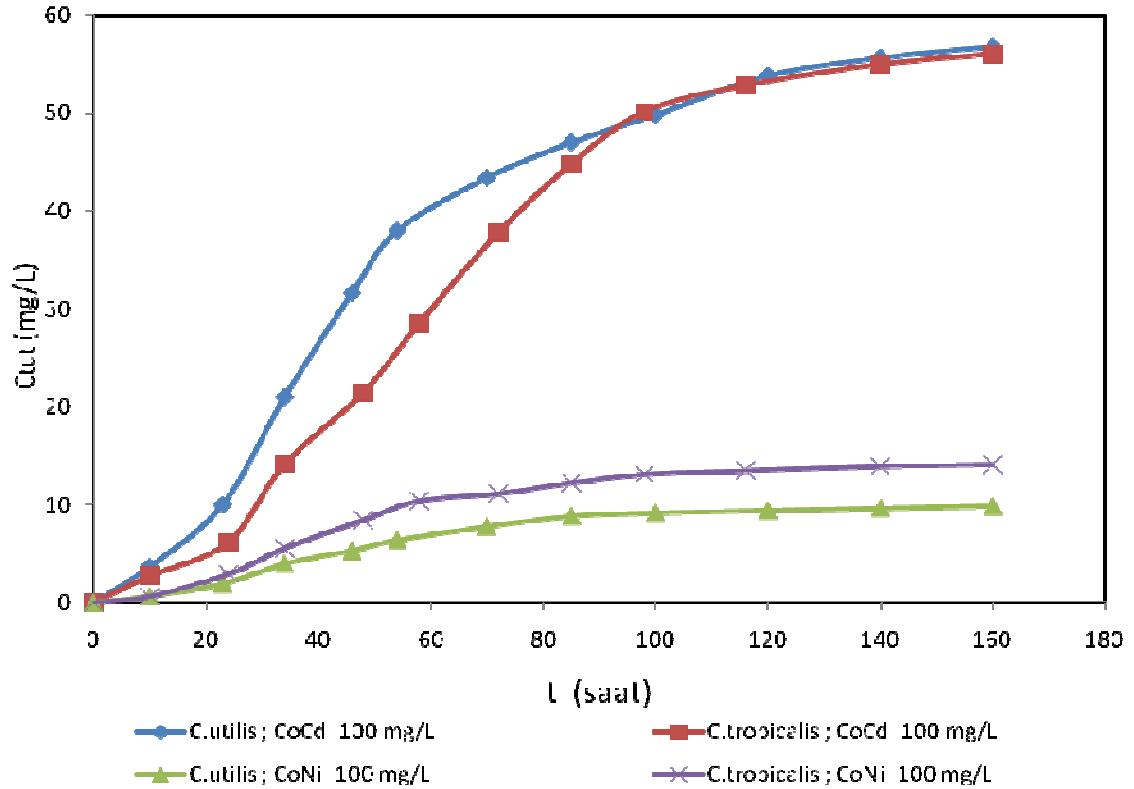
Çalışmaların bu kısmında, 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 50 mg/L kadmiyum(II) veya nikel(II) içeren besin ortamında her iki mayanın kadmiyum(II)/nikel(II) iyonu biyobirikirme hızları ve kapasiteleri üzerine başlangıç pH'ının etkisi araştırılmış ve her iki maya türü için de en yüksek üreme pH'ı olarak saptanan 4.0' de aynı zamanda en yüksek biyobirikim hız ve kapasite değerlerinin de elde edildiği gözlenmiştir.

Artan sabit sakkaroz derişimlerinde başlangıç kadmiyum(II) veya nikel(II) derişiminin, artan sabit kadmiyum(II) veya nikel(II) derişimlerinde ise başlangıç sakkaroz derişiminin her iki mayanın kadmiyum(II)/nikel(II) biyobirikim hız ve kapasitesine etkileri incelendiğinde, genel olarak, her bir sabit sakkaroz derişiminde kadmiyum(II) veya nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye artmasıyla mayanın biriktirdiği kadmiyum(II)/ nikel(II) derişiminin ve birikim hızının arttığı, % giderim değerlerinin ise azaldığı, sakkaroz derişimindeki artışın ise her metal iyonu için de çalışılan tüm derişimlerinde biriktirilen kirlenici miktarının ve % giderim değerlerinin daha da artmasını sağladığı gözlenmiştir.

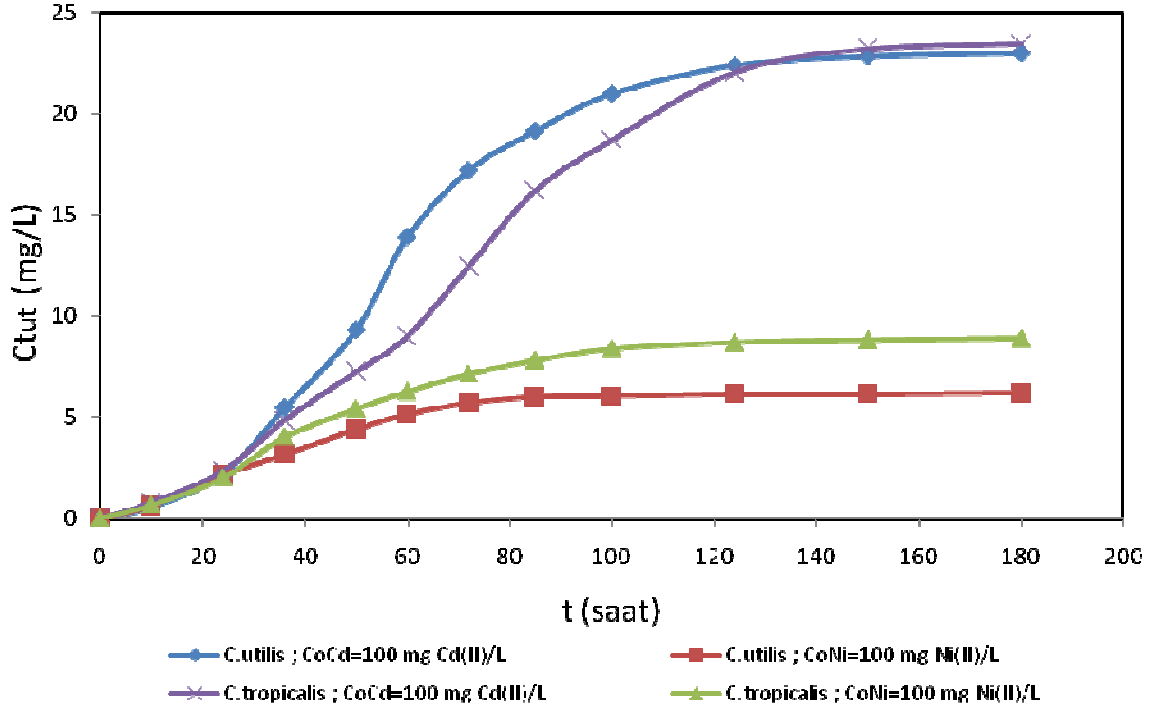
C. utilis ve *C. tropicalis*' in her iki kirleniciyi bir arada biyobirikirme hız ve kapasitesi, 10 g/L sabit substrat derişiminde kirlenicilerden birinin başlangıç derişimi 0, 25, 50, 100 ve 200 mg/L' de sabit tutulurken, diğzerinin başlangıç derişimi 0-200 mg/L arasında değıştirilerek incelenmiş ve farklı oranlardaki ikili karışımlarla elde edilen deneysel sonuçlardan, ikili karışımlardaki her bir bileşen için tek bileşenli sistemde elde edilenlerden daha düşük biyobirikim hız ve kapasite değerleri elde edildiği görülmüştür. Her iki maya için de ikili karışımlardaki nikel(II)'

nin kadmiyum(II) biyobirikim hız ve kapasitesini çok fazla etkilediği ve önemli ölçüde azalttığı, derişim arttıkça bu etkinin daha fazla olduğu gözlenmiştir.

C. utilis ve *C. tropicalis* ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde, 100 mg/L kadmiyum(II) ve 100 mg/L nikel(II) içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim eğrileri Şekil 6.2' de, 50 mg/L kadmiyum(II)+50 mg/L nikel(II) olmak üzere toplam 100 mg/L metal iyonu içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim eğrileri Şekil 6.3' de, aynı koşullarda elde edilen hız, kapasite ve % giderim değerleri ise Çizelge 6.2'de sunulmuştur. Şekillerden ve çizelgeden her iki kirleticinin *C. utilis* ve *C. tropicalis*' e tekli ve ikili karışımlarındaki biyobirikiminde, kadmiyum(II) biyobirikiminin nikel(II)' e göre daha yüksek hız ve kapasitede gerçekleştirildiği, *C. tropicalis* 'in *C. utilis*' e göre nikel(II) iyonlarını daha yüksek hız ve kapasitede biyobiriktirdiği, kadmiyum(II) biyobirikiminde ise her iki mayanın biyobirikim kapasitelerinin yaklaşık aynı olduğu, ancak *C. utilis*' in kadmiyum(II) iyonlarını daha hızlı biyobiriktirdiği gözlenmektedir.



Şekil 6.2. *C. utilis* ve *C. tropicalis*' in 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L tekli kadmiyum(II) ve 100 mg/L tekli nikel(II) içeren besin ortamlarında her bir kirletici için elde edilen biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K.H. 120 rpm)



Şekil 6.3. *C. utilis* ve *C. tropicalis*' in 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 50 mg/L kadmiyum(II)+50 mg/L nikel(II) olmak üzere toplam 100 mg/L metal iyonu içeren besin ortamlarında her bir kirletici için elde edilen biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K.H. 120 rpm)

Çalışmaların son kısmında, kirletici biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren eşitlikten yararlanarak, her bir maya için sabit sakkaroz derişiminde kadmiyum(II) veya nikel(II) biyobirikimine ait kinetik sabitlerle, ikili kadmiyum(II)-nikel(II) karışımlarındaki her bir kirleticiye ait biyobirikim kinetik sabitleri saptanmıştır. Bu sabitlerin reaktör tasarımında kullanılabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 6.4. Sabit kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde sakkaroz derişiminin ve sabit sakkaroz derişiminde tekli ve ikili karışimdaki kadmiyum(II) ve nikel(II) derişimlerinin *Candida utilis* ve *Candida tropicalis*' in biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri

	S _o	C _{oCd}	C _{oNi}	Kadmiyum(II)				Nikel(II)			
				V _{Cd}	C _{tutCd}	q _m	%Cd Giderim	V _{Ni}	C _{tutNi}	q _m	%Ni Giderim
				1/sa	mg Cd(II)/ L	mg Cd(II)/ g kuru m.o. sa		1/sa	mg Ni(II)/ L	mg Ni(II)/ g kuru m.o. sa	
<i>C.utilis</i>	5,26	103,15	-	0,150	52,18	38,65	50,6	-	-	-	-
	10,10	105,36	-	0,169	56,69	23,81	53,8	-	-	-	-
	5,31	-	98,64	-	-	-	-	0,035	6,38	5,60	6,5
	9,87	-	101,84	-	-	-	-	0,050	9,84	5,38	9,7
	10,02	47,85	50,23	0,049	19,40	10,66	40,6	0,033	5,08	2,79	10,1
	9,93	106,6	100,78	0,056	23,00	15,75	21,6	0,054	6,20	4,25	6,2
<i>C.tropicalis</i>	5,09	97,54	-	0,077	50,64	26,33	51,9	-	-	-	-
	9,83	101,32	-	0,087	56,02	20,08	55,3	-	-	-	-
	4,88	-	103,14	-	-	-	-	0,047	9,65	6,65	9,4
	9,86	-	101,66	-	-	-	-	0,058	14,11	8,11	13,9
	10,15	52,13	51,34	0,047	23,16	10,63	44,4	0,035	5,66	2,60	11,0
	10,08	103,37	101,49	0,058	23,45	17,12	22,7	0,049	8,08	6,48	8,8

Her iki mayanın da kadmiyum(II) ve/veya nikel(II) oldukça dirençli olduğu ve bu kirleticilerin tekli ve ikili karışımlarını belli derişimlere kadar yüksek bir kapasiteyle biyobiriktirebildiği bu tez çalışmasıyla gösterilmiştir. Tez çalışmasında ayrıca bir tarımsal atık olan melasın atıksuya katılarak değerlendirilebileceği de kanıtlanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın, diğer arıtım yöntemleriyle karşılaştırıldığında, verimli, biyolojik çevreye daha uygun ve yeni kirlilikler üretmeyen sistemler sunması, bulunan kinetik sabitlerle değişik reaktörlerin tasarımına olanak sağlaması ve literatürde kullanılan çeşitli mikroorganizma türlerine alternatif olabilecek yüksek verim sağlayan maya türleri önermesi nedeniyle bilimsel literatüre; uygulama kolaylığı açısından bu kirleticileri içeren endüstriyel kuruluşlara önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

7. GENEL SONUÇLAR

- Bu tez çalışması ile literatürde ilk kez kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarının birlikte bulunduğu ortamda, bu metallerin mayalara inhibisyonu ve mayalar tarafından bu metal iyonlarının biyobirikimi incelenmiştir.
- Metal iyonu içermeyen ortamda ortam pH'ının, sıcaklığın ve karıştırma hızının mayaların özgül üreme hızına ve maksimum kuru mikroorganizma derişimine etkileri araştırılmış ve her iki maya için de optimum üremenin pH 4.0' de, 25°C 'da ve 120 rpm' de gerçekleştiği gözlenmiştir. Metal iyonu içeren ortamlarda yapılan deneylerde de pH 4.0 başlangıç değerinin mayaların üremesi için optimum pH değeri olduğu görülmüştür. Ayrıca, her iki durumda da, pH 2.0 de naya hücrelerinin üreyemediği görülmüştür.
- Çalışmalarda substrat olarak melas sakkarozu kullanılmış ve bulunan optimum koşullarda başlangıç sakkaroz derişiminin mayaların özgül üreme hızına etkisi incelenmiş, 20 g sakkaroz/L'ye kadar, sakkaroz derişimi arttıkça özgül üreme hızının ve üreyen maksimum mikroorganizma derişiminin arttığı gözlenmiştir.
- Metal iyonu olmayan ortamda, *C. tropicalis*' in üremesinin *C. utilis*' e göre daha hızlı ve maksimum üreyen hücre derişiminin daha büyük, ancak sakkaroz tüketiminin biraz daha yavaş olduğu görülmektedir. Ayrıca, *C. tropicalis*' in *C. utilis*' den daha büyük maksimum özgül üreme hızına ve doyunluk sabitine sahip olduğu görülebilir.
- Her iki maya türüyle de artan her bir sabit başlangıç kadmiyum(II)/nikel(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin ve maksimum mikroorganizma derişimlerinin arttığı, ancak kadmiyum(II)/nikel(II) derişimindeki artışın bu değerlerin önemli ölçüde azalmasına neden olduğu gözlenmiştir.
- Her iki maya türüyle de, sabit sakkaroz derişiminde, değişen oranlarda kadmiyum(II) ve nikel(II) içeren melaslı besin ortamlarında yapılan çalışmalarda, benzer olarak ikili karışımların mayaların özgül üreme hız

değerlerini ve maksimum mikroorganizma derişimlerini daha da azalttığı, üreme sürelerini ise daha da uzattığı gözlenmiştir.

- Kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, her iki maya için de bütün inhibisyonların en iyi yarışmalı inhibisyona uyduğuna karar verilmiş, tekli ve ikili yarışmalı inhibisyon sabitleri bilgisayar yardımıyla hesaplanmıştır.
- Yapılan deneyler ve hesaplanan inhibisyon sabitleri, *C. utilis* ve *C. tropicalis*' in kadmiyum(II) iyonlarına nikel(II) iyonlarından daha dirençli olduğunu ve inhibisyonun nikel(II) için düşük derişimlerde, kadmiyum(II) için ise çok daha yüksek derişimlerde başladığını göstermektedir. Kadmiyum(II)-nikel(II) karışımlarında ise, kadmiyum(II)' nin nikel(II) inhibisyonunu fazla etkilemediği, nikel(II)' nin ise kadmiyum(II) inhibisyonunu arttırdığı görülmektedir.
- Her bir sabit sakkaroz derişiminde kadmiyum(II) veya nikel(II) derişiminin 200 mg/L'ye artmasıyla mayaların biriktirdiği kadmiyum(II)/ nikel(II) derişiminin ve birikim hızının arttığı, % giderim değerlerinin ise azaldığı, sakkaroz derişimindeki artışın ise, hücre derişiminin artmasından ötürü, her metal iyonu için de çalışılan tüm derişimlerinde biriktirilen kirletici miktarının ve % giderim değerlerinin daha da artmasını sağladığı gözlenmiştir.
- Her iki metal iyonunun *C. utilis* ve *C. tropicalis*' e tekli ve ikili karışımlarındaki biyobirikiminde, kadmiyum(II) biyobirikiminin nikel(II)' e göre daha yüksek hız ve kapasitede gerçekleştirildiği, *C. tropicalis*'in *C. utilis*' e göre nikel(II) iyonlarını daha yüksek hız ve kapasitede biyobiriktirdiği, kadmiyum(II) biyobirikiminde ise her iki mayanın biyobirikim kapasitelerinin yaklaşık aynı olduğu, ancak *C. utilis*' in kadmiyum(II) iyonlarını biraz daha fazla ve daha hızlı biyobiriktirdiği gözlenmektedir.
- Her iki mayanın da kadmiyum(II) iyonlarına oldukça dirençli olduğu, nikel(II) iyonlarına ise çok daha az dirençli olduğu ve bu metal iyonlarının tekli ve ikili karışımlarını belli derişimlere kadar yüksek bir kapasiteyle biyobiriktirebildiği bu tez çalışmasıyla gösterilmiştir.

- Cd(II) iyonu içeren ortamda, *C.utilis*'in Cd(II) iyonu % giderimi, ortamdaki Cd(II) ve sakkaroz derişimine bağlı olarak, %85,2 (10 g Cd(II)/L ve 20 g sakkaroz/L) ile %38,6 (200 g Cd(II)/L ve 5 g sakkaroz/L) arasında değişirken, *C. tropicalis*'in Cd(II) iyonu giderimi, aynı koşullar için sırasıyla %83,4 ve %29,2 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslanınca, şu ana kadar elde edilen en yüksek Cd(II) giderimi olduğu görölmüştür.
- Ni(II) iyonu içeren ortamda, *C.utilis*'in Cd(II) iyonu % giderimi, ortamdaki Ni(II) ve sakkaroz derişimine bağlı olarak, %28,6 (10 mg Ni(II)/L ve 20 g sakkaroz /L) ile %4,2 (200 mg Ni(II)/L ve 5 g sakkaroz/L) arasında değişirken, *C. tropicalis*'in Ni(II) iyonu giderimi, aynı koşullar için sırasıyla %32,7 ve %6,4 olarak bulunmuştur.
- Cd(II) ve Ni(II) iyonlarının birlikte bulunduğu durumda ise, bu iyonların tekli olarak buldukları ortamlara göre daha düşük % giderim sonuçları elde edilmiştir. Örneğin, *C.utilis* için, 100 mg Cd(II)/L ve 10 g sakkaroz/L bulunan ortamda %53,8 Cd(II) giderimi, 100 mg Ni(II)/L ve 10 g sakkaroz/L bulunan ortamda %9,7 Ni(II) giderimi elde edilirken, 100 mg Cd(II)/L ve 100 mg Ni(II)/L iyonlarını birlikte içeren ortamda, bu iyonların % giderimi sırasıyla, % 21,6 Cd(II) ve %6,2 Ni(II) olarak bulunmuştur. Aynı durum *C.tropicalis* için de geçerlidir ve benzer sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlardan, ortamdaki Cd(II) ve Ni(II) iyonlarının birlikte bulunmasının, her iki iyonun da biyobirikimini ve giderimi azalttığı ve birbirlerini olumsuz yönde etkiledikleri, ancak Ni(II) iyonu varlığının, Cd(II)'ye göre çok daha etkili olduğuna, daha etkin bir inhibisyon ile her iki iyonun da biyobirikimini önemli ölçüde azalttığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Açıkel, Ü., 2003, Melas Katılan ve Ağır Metal Kirliliği İçeren Atıksularda Çeşitli Türdeki Maya Hücrelerinin Büyüme Kinetiğinin ve Hücrelerdeki Metal Biyobirikiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 202 s.
- 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, 451-458.
- 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., 1988, Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Yeşil Alglerden *Chlorella vulgaris*'e Adsorpsiyonunun Kesikli Düzende Karıştırmalı ve Akışkan Yatak Tepkime Kaplarında İncelenmesi, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 125s.
- 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, Ankara s:67-83.
- Beyazıt, N., Peker, İ., 1998, Atık Sularda Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri, I. Atık Su Sempozyumu, Kayseri, 209-215.
- Clark, W.J., Viessman, W. and Hanmer, M.J., 1971, Water Supply and Pollution Control, International Textbook Company, 2nd ed., pp:285-566.
- Denizli, H., Salih, B., 1995, Çevre Sularında Ağır Metal Kirliliğinin Giderilmesi, Standart, Çevre Özel Sayısı, 108-110.
- Dönmez, G., and Aksu, Z., 2001, Bioaccumulation of copper(II) and nickel(II) by the non-adapted and adapted growing *Candida* Sp., Wat. Res., 15 (6), 1425-1434.
- 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., and Aksu, Z., 2003, Bioaccumulation of copper(II), lead(II) and chromium(VI) by growing *Aspergillus niger*, Process Biochem., 38, 1647-1651.
- Dursun, A.Y., Uslu, G., Tepe, O., Cuci, Y., and Ekiz, H.İ., 2003, A comparative investigation on the bioaccumulation of heavy metal ions by growing *Rhizopus arrhizus* and *Aspergillus niger*, Biochem. Eng. J., 3688, 1-6.
- Eckenfelder, W.W., 1966, Industrial Water Pollution Control, Mc Graw Hill, USA, pp:100-118.

- Forouchi, E., and Gunn, d. J., 1983, Some effects on metal ions on the estimation of reducing sugars in biological media, *Biotech. Bioeng.* 25, 1905-1911.
- 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.
- Gönen, F., 2006, Atıksulardaki Tekstil Boyarmaddeleri ve Metal İyonlarının Serbest ve Tutuklanmış Mikroorganizma Sistemleri ile Biyogideriminin Kesikli ve Sürekli Sistemlerde İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 189 s.
- Gönenç, I. E., Endüstriyel Atıksuların Ön Arıtması, Su Kirlenmesi Araştırmaları Türk Milli Komitesi Teknoloji İletimi Semineri, İstanbul Sanayi Odası, (1991), s.16-19.
- Gurnham, C. F., 1965, *Industrial Waste Water Control*, Academic Press, USA, pp:168-199, 221-285, 339-357.
- Gültekin, G., 2005, Kadmiyum(II) ve Bakır(II) İyon Karışımlarını İçeren Atıksuların *Pseudomonas putida*'ya Biyoakümülyasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 83 s.
- Haktanır, K. ve Arcaç, S., 1998, Çevre Kirliliği, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:1503, 204-206.
- Haritonidis, S., and Malea, P., 1999, Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece, *Environ. Pollution*, 104, 365-372.
- Kargı, F., 1993, Çevre Mühendisliğinde Biyoprosesler, D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 234, İzmir.
- Lee, W.-Y., and 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.
- Luedeking, R., Piret, E.L., 1959, A kinetic study on the lactic acid fermentation, *J. Biochem. Microbiol. Technol. Eng.*, 1, 393-412.
- 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. and 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., pp:159-210.
- Mejare, M., and Bülow, L., 2001, Metal-binding proteins and peptides in bioremediation and phytoremediation of heavy metals, *Trends in Biotechnology*, 19 (2), 67-73.

- Metcalf, L., Eddy, H. P., 1991, Wastewater Engineering, 3 rd. Ed., Mc Graw Hill, N.Y., 48-126.
- Özbelge, T., 1992, Atıksu Özellikleri ve Analizleri, Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Bölüm 1, TMMOB Kimya Mühendisliği Odası Yayınları, Ankara, s: 1-28.
- Öztürk, İ., 1999, Anaerobik Biyoteknoloji ve Atık Arıtımındaki Uygulamaları, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Patterson, J.W., 1977, Waste Water Treatment, Science Publishers Inc., U.S.A, pp:43-55, 59-67, 69-81.
- Pekin, B., 1983, Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji), 2. Kitap, E.Ü. Kim.Fak. Yayınları 4., İzmir, s: 409 .
- Ralph, A.L., 1967, Physiology and Biochemistry of Algae, 3rd ed., Academic Press, USA.
- Resmi Gazete, 4 Eylül 1988, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Sayı: 19919.
- Sneider F., 1971, Şekerin Teknolojisi Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Yayınları, Sayı:168, Ankara.
- Shuler, M.L., Kargı, F., 1992, Bioprocess Engineering, Prentice Hall, Inc. New Jerse.
- Ting, Y.P., Lawson, F., and Prince, J:G., 1989, Uptake of cadmium and zinc by the alga *Chlorella vulgaris*; Part 1. Individual ion species, Biotech. Bioeng., 34, 990-999.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987, Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları 1, 331-333, 336, Ankara
- 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.

EKLER

Ek 1. Kadmiyum(II) ve Nikel(II) İyon Derişimlerinin Analizi

Ortamdaki serbest kadmiyum(II) ve nikel(II) iyonlarının analizi atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak (UNICAM 929) sırasıyla 228.8 ve 232 nm dalga boylarında ve her metal iyonu türü için ayrı bir katot lambası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, her bir metal için hazırlanan ve 1-3 mg/L metal iyonu içeren standart çözeltiler ile cihaz kalibre edilmiş, daha sonra belirli zamanlarda alınan örnekler santrifüjlenerek sıvı kısımları belirli oranlarda seyreltilmiş ve atomik absorpsiyon spektrofotometresinde analiz edilerek derişimleri hesaplanmıştır.

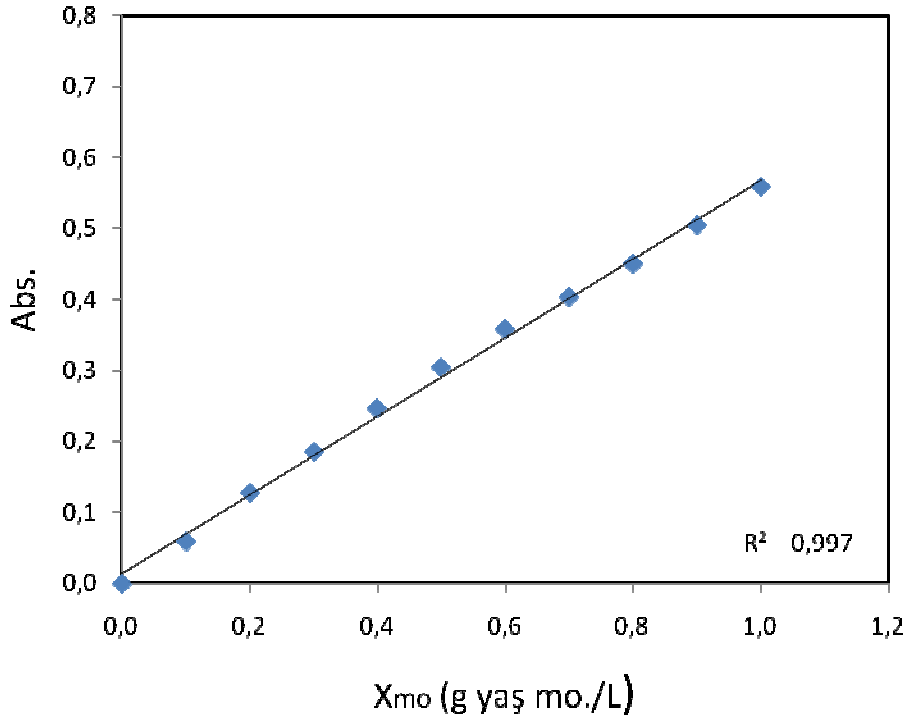
Ek 2. Mikroorganizma Derişimi Analizi

Mikroorganizma derişimi spektrofotometrik olarak analiz edilmiştir. Bunun için öncelikle her bir maya için çalışılacak uygun dalga boyunu belirlemek amacıyla spektrumda dalga boyu taraması yapılmış ve uygun dalga boyu olarak 360 nm seçilmiştir.

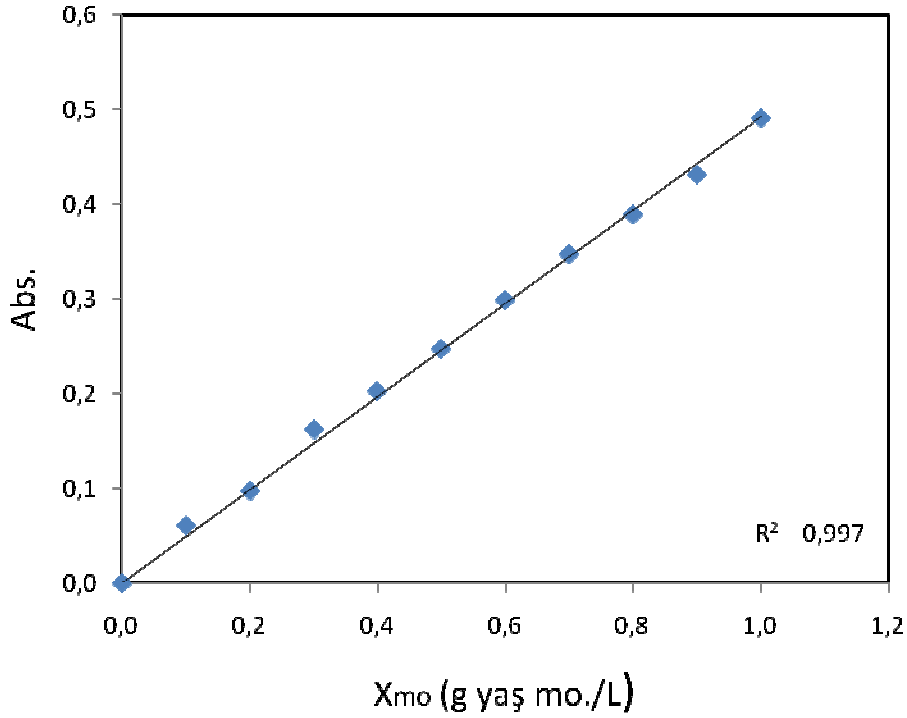
Mikroorganizma derişiminin belirlenmesi için ilk olarak 1 g/L'ye kadar farklı derişimlerde mikroorganizma içeren çözeltilerin 360 nm'de absorbanlarının okunmasıyla *C. utilis* ve *C. tropicalis* mayaları için yaş mikroorganizma çalışma doğruları oluşturulmuştur (Şekil E.3.1- E.3.2)

Tezde kullanılan bütün mikroorganizma derişimleri için kuru mikroorganizma ağırlığı kullanıldığından, yaş ve kuru ağırlık arasındaki ilişkiyi belirlemek gerekmektedir. Bunun için mikroorganizmalar 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 .bu mayalar için yaş-kuru mikroorganizma çalışma doğruları elde edilmiştir (Şekil E.3.3-E.3.4)

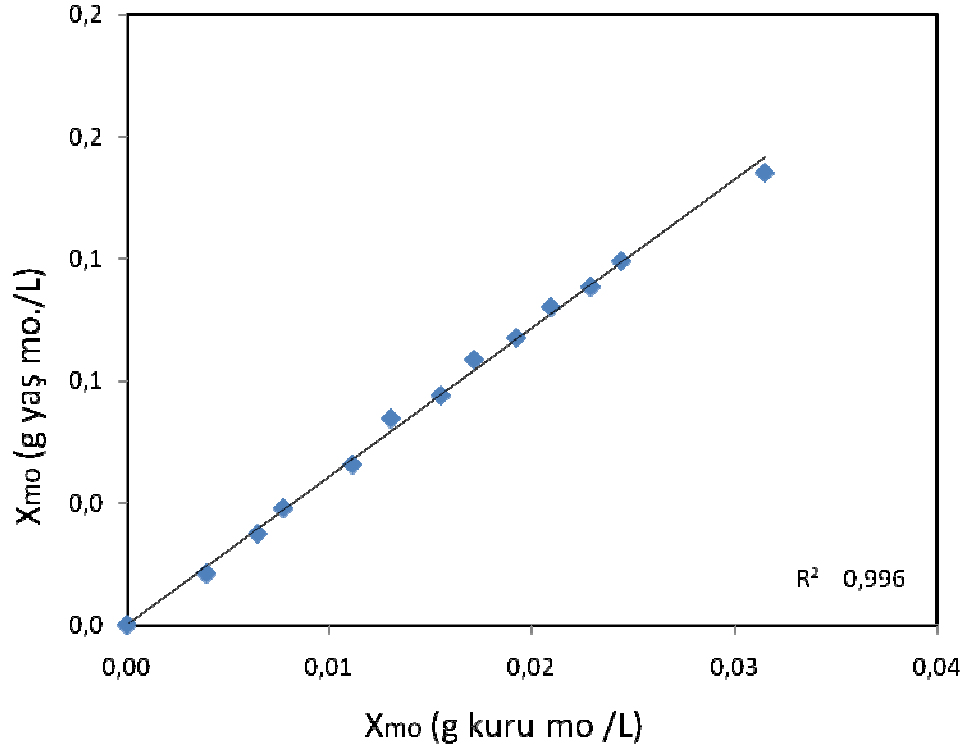
Analiz için besin ortamından alınan 3 mL örnek 5000 devirde 10 dk santrifüjlenmiş, tüpte kalan mikroorganizma kütlesi saf su ile tekrar 3mL'ye seyreltilerek 360 nm'de suya (kör çözeltisi) karşı absorban okunmuş ve çalışma doğruları kullanılarak kuru mikroorganizma ağırlığı ve derişimi saptanmıştır.



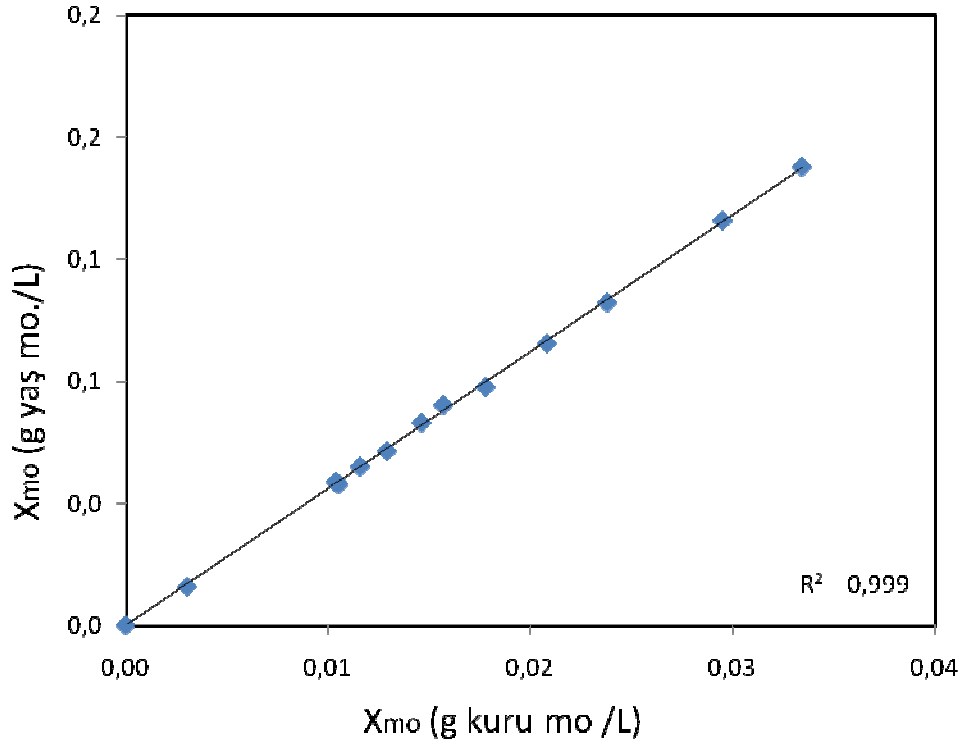
Şekil E.1. *C. utilis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



Şekil E.2. *C. tropicalis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



Şekil E.3. *C. utilis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu



Şekil E.4 *C. tropicalis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu

Ek 3. Melas Sakkarozu Derişiminin Analizi

Ortamdaki melas sakkarozunun derişimi, sakkarozun dinitro salisilik asit ile yaptığı koyu turuncu renkli kompleks yardımı ile spektrofotometrik olarak 575 nm dalga boyunda analiz edilir (Miller yöntemi). Bu yöntemde kullanılan analiz çözeltileri ve hazırlama şekilleri ile analiz yöntemi aşağıda verilmiştir.

Analiz Çözeltileri

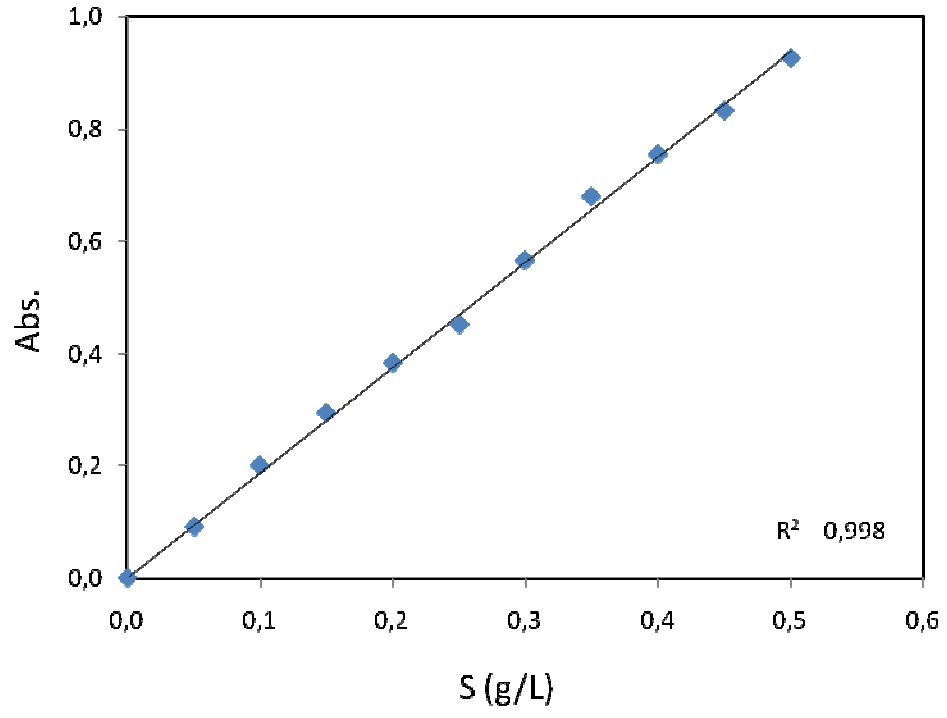
i- DNS çözeltisi: 10 g dinitro salisilik asit, 10 g sodyum hidroksit ve 1.6 g fenol 1 L damıtık suda çözülür (Bu çözeltinin kullanmadan hemen önce 100 mL'sine 1 mL %10'luk sodyum sülfid ilave edilir).

ii- Rochella tuzu çözeltisi: 400 g potasyum sodyum tartarat 1 L damıtık suda çözülür.

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

Yöntem

Besin ortamından alınan örnek santrifüjlenerek mikroorganizmadan ayrılır. Çözelti içindeki şeker derişimi 0-0.5 g/L olacak şekilde seyreltilir. Seyreltilen çözeltiden alınan 1.5 mL örnek bir deney tüpüne konur ve üzerine 1.5 mL DNS çözeltisi eklenerek kaynar suda 15 dk bekletilir. Su banyosundan alınan örneğin üzerine 1 mL Rochella tuzu çözeltisi konularak musluk suyunda soğutulur. UV-spektrofotometre cihazı kullanılarak 575 nm'de absorbansı ölçülür ve melas sakkarozu derişimi ile absorbans arasındaki ilişkiyi veren kalibrasyon doğrusu (Şekil E.5) kullanılarak sakkaroz derişimi bulunur. Kör çözeltisi olarak 1.5 mL distile su ile hazırlanan ve aynı işlemlerden geçirilen çözelti kullanılır.



Şekil E.5. Melas sakkarozu derişiminin analizi için kullanılan çalışma doğrusu

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan PAŞAOĞLU

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 25.06.1983

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise 1997-2000 : Yüce Fen Lisesi

İngilizce Hazırlık 2000-2001 : Hacettepe Üniversitesi, Yabancı diller Yüksek Okulu

Lisans 2001-2006 : Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi :

2007-2009 : Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı.