

**ATIKSULARDAKİ TEKSTİL BOYARMADDELERİ VE
METAL İYONLARININ TEKLİ VE İKİLİ KARIŞIMLARININ
SERBEST VE TUTUKLANMIŞ MİKROORGANİZMA
SİSTEMLERİ İLE BİYOGİDERİMİNİN KESİKLİ VE SÜREKLİ
SİSTEMLERDE İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE BIOREMOVAL OF SINGLE AND
BINARY MIXTURES OF TEXTILE DYES AND METAL IONS
IN WASTEWATERS BY FREE AND IMMOBILIZED
MICROORGANISMS IN BATCH AND CONTINUOUS
SYSTEMS**

FERDA GÖNEN

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
KİMYA Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

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

Başkan :.....
(Prof. Dr. Tülin Kutsal)

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

Üye :.....
(Prof. Dr. Gönül Dönmez)

Üye :.....
(Prof. Dr. Menemşe Gümüşderelioğlu)

Üye :.....
(Prof. Dr. Serpil Takaç)

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof.Dr. Ahmet R. ÖZDURAL
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

ATIKSULARDAKİ TEKSTİL BOYARMADDELERİ VE METAL İYONLARININ TEKLI VE İKİLİ KARIŞIMLARININ SERBEST VE TUTUKLANMIŞ MİKROORGANİZMA SİSTEMLERİ İLE BİYOGİDERİMİNİN KESİKLİ VE SÜREKLİ SİSTEMLERDE İNCELENMESİ.

Ferda GÖNEN

ÖZ

Tez çalışmasında, atıksularda sıklıkla rastlanılan ve Türk tekstil endüstrisinde en çok kullanılan reaktif boyarmaddelerden Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarının tekli biyobirikimi *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarıyla kesikli sistemde, ikili karışımlarının biyobirikimi ise serbest ve aljinata tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla kesikli ve sürekli düzende çalışan dolgulu kolon reaktörde incelenmiştir.

Bu amaçla öncelikle hiçbir kirletici içermeyen melaslı besin ortamında bütün mayaların üreme kinetiği incelenmiş, en yüksek üremenin pH 4'de gerçekleştiği, sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artışıyla ise üreme hız ve veriminin arttığı görülmüştür. Monod eşitliğinden her bir mayaya ait kinetik sabitler saptanmıştır. Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren besin ortamlarında da en iyi üremenin yine pH 4'de gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu kirleticilerin mayaların üremesine inhibisyon etkisi araştırıldığında ise, her iki kirletici için de inhibisyonun yarışmalı olduğu saptanmıştır. Daha sonra bu kirleticilere karşı en yüksek direnci gösteren *C. tropicalis* mayası ile Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını farklı oranlarda birlikte içeren karışımlarla mikroorganizmanın üreme kinetiği incelenmiş ve kirleticilerin mayanın üremesine ortak inhibisyon etkisinin yine yarışmalı olduğuna karar verilmiştir. Serbest mayalarla kesikli sistemde gerçekleştirilen çalışmaların son kısmında tekli boyarmadde veya metal iyonu 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 *C. tropicalis* mayası ile sabit sakkaroz derişiminde boyarmadde ve ağır metal iyonlarını farklı oranlarda birlikte içeren melas ortamlarında her iki kirleticinin eşzamanlı biyobirikim çalışmaları, bir kirleticinin derişimi sabit tutulup, diğeri değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve her bir sisteme ait kinetik sabitler bulunarak ortak iyon etkisi araştırılmıştır.

Kesikli karıştırılmalı kap çalışmalarının ikinci kısmında, *C. tropicalis* mayası kalsiyum aljinat jele tutuklanarak Remazol Turkuaz Blue G ve/veya bakır(II) biyobirikimi, tanecik büyüklüğü, başlangıç boyarmadde ve metal iyonu derişimleri gibi sistem parametrelerinin fonksiyonu olarak incelenmiş ve sonuçlar serbest *C. tropicalis* mayası ile bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar kesikli sistemde serbest *C. tropicalis* ile elde edilen biyobirikim değerlerinin tutuklanmış mayayla elde edilenlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Çalışmaların son kısmında tutuklanmış *C. tropicalis* ile sürekli düzende çalışan dolgulu kolonda besleme akış hızının ve besleme boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin tekli ve karışım halinde tutuklanmış maya hücresinin biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Tekstil boyarmaddesi, ağır metal, Remazol Turkuaz Blue G, bakır(II), biyobirikim, maya, tutuklanmış maya, kesikli sistem, dolgulu kolon reaktör.

Danışman: Prof. Dr. Zümriye Aksu, H.Ü. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

INVESTIGATION OF THE BIOREMOVAL OF SINGLE AND BINARY MIXTURES OF TEXTILE DYES AND METAL IONS IN WASTEWATERS BY FREE AND IMMOBILIZED MICROORGANISMS IN BATCH AND CONTINUOUS SYSTEMS

Ferda GÖNEN

ABSTRACT

In this thesis study, the single bioaccumulation of Remazol Turquoise Blue G, one of the mostly used textile dyes in Turkish textile industry, and copper(II) ions, frequently encountered in wastewaters, was investigated by *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* and *C. lipolytica* yeasts and the bioaccumulation of the binary mixtures of these pollutants was investigated by free and calcium alginate immobilized *C. tropicalis* in a batch system and in a continuous packed bed column reactor.

Firstly the growth kinetics of all the yeasts was investigated in the molasses medium containing no pollutants. It was seen that the highest growth was obtained at pH 4, and growth rate and yield were increased with the increasing sucrose concentration up to 20 g/L. By using Monod equation, kinetic constants for each yeast were determined. Again the best growth in the nutrient media containing Remazol Turquoise Blue G and copper(II) was found at pH 4. When the inhibition effects of these pollutants on the microbial growth were investigated, inhibition type was determined as competitive for each pollutant. After that, the growth kinetics of microorganism was studied with the mixtures containing Remazol Turquoise Blue G and copper(II) ions together at different ratios by *C. tropicalis* which is the most resistant yeast to these pollutants and binary inhibition effect of dye and heavy metal ion on the cell growth was determined as competitive again. At the last part of the batch studies with the free cells, bioaccumulation rate and capacity of each yeast was investigated as a function of initial sucrose and pollutant concentration in the molasses medium containing single dye or single metal ion and kinetic model constants were determined by modelling the pollutant bioaccumulation. In addition, at a constant sucrose concentration simultaneous Remazol Turquoise Blue G and copper(II) bioaccumulation by *C. tropicalis* was investigated in the molasses medium by varying the concentration of first pollutant as the second pollutant concentration was kept constant and kinetic constants were determined by considering the effects of binary mixtures on bioaccumulation.

At the second part of the batch studies, Remazol Turquoise Blue G and copper(II) bioaccumulation was investigated as a function of particle size, initial dye and heavy metal ion concentration by Ca-alginate immobilized *C. tropicalis* and the results obtained were compared with the free cell studies. Experimental results proved that free *C. tropicalis* has a higher bioaccumulation capacity than that of immobilized *C. tropicalis*.

At the last part of studies, in the continuous packed bed column reactor, the effects of feed flow rate and dye and metal ion concentrations on the bioaccumulation rate and capacity of immobilized yeast were investigated in single and binary mixtures of pollutants.

Keywords: Textile dyes, heavy metal, Remazol Turquoise Blue G, copper(II), bioaccumulation, yeast, immobilized yeast, batch system, packed bed column reactor.

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

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren, ilgi, teşvik ve desteğini gördüğüm tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Zümriye Aksu'ya,

Deneysel çalışmalarımda kullandığım maya hücrelerinin teminine olanak sağlayan, güler yüzlü ve pozitif yaklaşımıyla tez çalışmam boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Gönül Dönmez'e,

Tezimin deneysel aşamasında maya hücrelerinin üremesi için temel bileşen olarak kullandığım melas maddesi ve tezimin yazım aşamasında kaynak teminindeki katkıları nedeniyle Sayın Dr. Metin Şengül'e,

Doktora eğitimim süresince Yurt İçi Doktora Bursu kapsamında maddi destek sağlayan TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiştirme Grubu'na,

Deneysel çalışmalarımda kullandığım boyarmaddenin herhangi bir ücret talep edilmeksizin bana ulaşımına kadar gösterdikleri büyük nezaket ve yardımlarından ötürü DYSTAR firması ve çalışanlarına,

Proje kapsamında çalışmalarımın maddi destek sunan Hacettepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Birimi'ne,

İçten ve samimi davranışlarıyla benden yardımlarını eksik etmeyen, dostluğunu ve değerli fikirlerini paylaştığım arkadaşım Araş Gör. A. Begüm Elmas'a,

Dünyanın en lezzetli kahvesini üretip, tezimin yazım aşamasında beni bütün gece ayakta tutan Nescafe üreticisi NESTLE'ye,

En yorucu ve yoğun dönemlerimde beni kendi dünyalarına katıp her türlü olumsuzluğu unutturan dünya tatlısı yeğenlerim Umut ve Yiğit Taburoğlu'na,

Varlıklarıyla her zaman gurur duyduğum ve mutlu olduğum, hayatım boyunca her konuda desteklerini gördüğüm, tezimin oluşturulmasında göstermiş oldukları sabır, destek ve hoşgörüden dolayı aileme (özellikle canım annem sana),

Tezimin deneysel ve yazım aşamasından basım aşamasına kadar katkıda bulunan, burada isimlerini tek tek sayamadığım emeği geçen herkese,

Sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xix
1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI.....	1
2. TEMEL BİLGİLER.....	4
2.1. Boyarmaddeler.....	4
2.1.1. Tekstil boyarmaddeleri.....	4
2.1.2. Reaktif boyarmaddeler.....	5
2.1.2.1. Remazol Turkuaz Blue-G reaktif boyarmaddesinin özellikleri.....	7
2.2. Atıksular.....	7
2.2.1. Atıksuların arıtım yöntemleri.....	9
2.3. TekstilEndüstrisi Atıksuları.....	10
2.3.1. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtım yöntemleri.....	10
2.3.1.1. Boyarmadde giderim yöntemleri.....	11
2.3.1.2. Ağır metal giderim yöntemleri.....	13
2.4. Mikroorganizmalar.....	15
2.4.1. Mikroorganizmaların genel özellikleri.....	15
2.4.2. Mayalar.....	16
2.5. Biyobirikim.....	18
2.6. Tutuklanmış Mikroorganizmalar.....	22
2.6.1. Tutuklama yöntemleri.....	24
2.6.2. Tutuklama ajanlarından aljinatlar.....	27
2.6.3. Kalsiyum aljinat jele mikroorganizma tutuklanması.....	27
2.7. Çalışılan Sistemlerin Analizi.....	28
2.7.1. Kesikli Sistem.....	28
2.7.2. Sürekli Sistem.....	30
3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI.....	31
3.1. Kesikli Sistem.....	31
3.1.1. Serbest maya hücrelerinin boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içermeyen ve içeren ortamlarda üreme kinetiği.....	31
3.1.1.1. Mikroorganizma özgül üreme hızı.....	31
3.1.1.2. Boyarmadde ve metal iyonu içermeyen ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	31
3.1.1.3. Boyarmadde ve metal iyonu içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	32
3.1.1.4. İki kirletici türünü birlikte içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi.....	33
3.1.2. Serbest maya hücrelerinin boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içeren ortamlarda biyobirikim kinetiği.....	34

3.1.2.1.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı.....	34
3.1.2.2.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi.....	35
3.1.2.3.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kinetiğinin modellenmesi	35
3.1.3.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> mayası ile boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içeren ortamlarda biyobirikim kinetiği.....	36
3.1.3.1.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı.....	36
3.1.3.2.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi.....	36
3.2.	Sürekli Sistem.....	36
3.2.1.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı.....	36
3.2.2.	Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi.....	37
4.	DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ.....	38
4.1.	Mikroorganizma ve Üretim Yöntemi.....	38
4.2.	Mikroorganizmaların Boyarmadde ve/veya Metal İyonu İçeren Besin Ortamlarına Alıştırılması.....	38
4.3.	Mikroorganizmanın Kalsiyum Aljinat Jele Tutuklanması.....	39
4.4.	Deney Düzenekleri.....	40
4.4.1.	Kesikli Sistem.....	40
4.4.2.	Sürekli Sistem.....	40
4.5.	Analiz Yöntemleri.....	40
4.5.1.	Bakır(II) iyon derişiminin tayini.....	41
4.5.2.	Remazol Turkuaz Blue-G derişiminin tayini.....	41
4.5.3.	Remazol Turkuaz Blue-G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda her bir kirletici derişiminin tayini.....	42
4.5.4.	Mikroorganizma derişimi tayini.....	42
4.5.5.	Sakkaroz derişimi tayini.....	42
5.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	43
5.1.	Serbest Maya Hücreleriyle Melaslı Besin Ortamında Yapılan Kesikli Sistem Çalışmaları.....	45
5.1.1.	Boyarmadde veya metal iyonu içermeyen besin ortamında maya üreme kinetiğinin incelenmesi.....	45
5.1.1.1.	Başlangıç pH'ının etkisi.....	45
5.1.1.2.	Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi.....	46
5.1.1.3.	Kinetik sabitlerin bulunması.....	49
5.1.2.	Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında maya üreme kinetiğinin İncelenmesi.....	49
5.1.2.1.	Başlangıç pH'ının etkisi.....	49
5.1.2.2.	Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi.....	50
5.1.2.3.	Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	57
5.1.2.4.	İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	61
5.1.3.	Bakır(II) içeren besin ortamında maya üreme kinetiğinin incelenmesi.....	69
5.1.3.1.	Başlangıç pH'ının etkisi.....	69
5.1.3.2.	Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi.....	70
5.1.3.3.	Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi	78
5.1.3.3.	İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	81
5.1.4.	Remazol Turkuaz Blue G-bakır(II) karışımlarını birarada içeren melaslı besin ortamında <i>C. tropicalis</i> 'in büyüme kinetiğinin incelenmesi.....	89
5.1.4.1.	Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	89

5.1.4.2.	Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	92
5.1.4.3.	İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması.....	93
5.1.5.	Serbest maya hücrelerine Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	96
5.1.5.1.	Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi.....	96
	Başlangıç pH'ının etkisi.....	96
	Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	97
	Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi.....	105
	Kinetik sabitlerin bulunması.....	109
5.1.5.2.	Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	112
	Başlangıç pH'ının etkisi.....	112
	Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi.....	114
	Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi.....	122
	Kinetik sabitlerin bulunması.....	126
5.1.5.3.	Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının <i>C. tropicalis</i> mayasına biyobirikiminin incelenmesi.....	129
	Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	130
	Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	133
	Kinetik sabitlerin bulunması.....	135
5.2.	Kalsiyum Aljinata Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> Mayasıyla Melaslı Besin Ortamında Yapılan Kesikli Sistem Çalışmaları.....	137
5.2.1.	Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi.....	138
5.2.1.1.	Tanecik çapının etkisi.....	138
5.2.1.2.	Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	139
5.2.2.	Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	141
5.2.2.1.	Partikül çapının etkisi.....	141
5.2.2.2.	Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi.....	142
5.2.3.	Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının biyobirikiminin incelenmesi.....	145
5.2.3.1.	Her bir sabit bakır(II) İyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	145
5.2.3.2.	Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	148
5.3.	Kalsiyum Aljinata Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> Mayasıyla Melaslı Besin Ortamında Sürekli Sistem Dolgulu Kolon Çalışmaları.....	150
5.3.1.	Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi.....	151
5.3.1.1.	Besleme akış hızının etkisi.....	151
5.3.1.2.	Besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	152
5.3.2.	Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi.....	153
5.3.2.1.	Besleme akış hızının etkisi.....	153
5.3.2.2.	Besleme bakır(II) derişiminin etkisi.....	154
5.3.3.	Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının biyobirikiminin incelenmesi.....	156
5.3.3.1.	Her bir sabit besleme bakır(II) iyon derişiminde besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi.....	156
5.3.3.2.	Her bir sabit besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminde	

6.	besleme bakır(II) iyon derişiminin etkisi.....	158
	SONUÇLARIN TARTIŞILMASI VE ÖNERİLER.....	160
	KAYNAKLAR.....	169
	EKLER.....	174
	Ek 1.Bakır (II) İyon Derişiminin Tayini	174
	Ek 2.Remazol Turkuaz Blue-G Derişiminin Tayini.....	175
	Ek 3.Mikroorganizma Derişimi Tayini.....	176
	Ek 4.Melas Sakkarozu Derişiminin Tayini	181
	Ek 5. Örnek Hesaplamalar.....	182
	ÖZGEÇMİŞ.....	186

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Remazol Turkuaz Blue G reaktif boyarmaddesinin kimyasal yapısı.....	7
Şekil 4.1.	Sürekli düzende çalışan dolgulu kolon reaktör.....	41
Şekil 5.1.	Başlangıç pH'ının her bir mayanın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	45
Şekil 5.2.	Başlangıç sakkaroz derişiminin her bir mayanın özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	47
Şekil 5.3.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde elde edilen üreme ve sakkaroz tüketim eğrileri	47
Şekil 5.4.	100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında başlangıç pH'ının her bir mayanın üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	50
Şekil 5.5.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	52
Şekil 5.6.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	52
Şekil 5.7.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	53
Şekil 5.8.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	53
Şekil 5.9.	1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	59
Şekil 5.10.	1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	59
Şekil 5.11.	1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	60
Şekil 5.12.	1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	60
Şekil 5.13.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde elde edilen üreme eğrileri.....	61
Şekil 5.14.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	63

Şekil 5.15.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	63
Şekil 5.16.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.17.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.18.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.19.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	65
Şekil 5.20.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.21.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	66
Şekil 5.22.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.23.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.24.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.25.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	68
Şekil 5.26.	100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'ının her bir mayanın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi.....	70
Şekil 5.27.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	72
Şekil 5.28.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	72
Şekil 5.29.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> 'ın özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	73
Şekil 5.30.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi	73
Şekil 5.31.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül	

	üreme hızı üzerine etkisi.....	79
Şekil 5.32.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	79
Şekil 5.33.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	80
Şekil 5.34.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	80
Şekil 5.35.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde elde edilen üreme eğrileri.....	81
Şekil 5.36.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.37.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.38.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	84
Şekil 5.39.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	84
Şekil 5.40.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	85
Şekil 5.41.	<i>C. utilis</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	85
Şekil 5.42.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.43.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	86
Şekil 5.44.	<i>C. membranaefaciens</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.45.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.46.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	88
Şekil 5.47.	<i>C. lipolytica</i> için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰	

	doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	88
Şekil 5.48.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	90
Şekil 5.49.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi.....	93
Şekil 5.50.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	94
Şekil 5.51.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	95
Şekil 5.52.	<i>C. tropicalis</i> için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45 ⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılması.....	95
Şekil 5.53.	2.5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	99
Şekil 5.54.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. utilis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	99
Şekil 5.55.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi	100
Şekil 5.56.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	100
Şekil 5.57.	10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayalarına ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları.....	105
Şekil 5.58.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Gemazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	107
Şekil 5.59.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	107
Şekil 5.60.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> tarafından maksimum	

	biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	108
Şekil 5.61.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	108
Şekil 5.62.	<i>C. tropicalis</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	109
Şekil 5.63.	<i>C. utilis</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	110
Şekil 5.64.	<i>C. membranaefaciens</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	110
Şekil 5.65.	<i>C. lipolytica</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	111
Şekil 5.66.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	115
Şekil 5.67.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. utilis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	116
Şekil 5.68.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	116
Şekil 5.69.	1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	117
Şekil 5.70.	10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L bakır(II) derişiminde <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayalarına ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları.....	122
Şekil 5.71.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	124
Şekil 5.72.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. utilis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	124
Şekil 5.73.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. membranaefaciens</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	125

Şekil 5.74.	50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin <i>C. lipolytica</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	125
Şekil 5.75.	<i>C. tropicalis</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	126
Şekil 5.76.	<i>C. utilis</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	127
Şekil 5.77.	<i>C. membranaefaciens</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	127
Şekil 5.78.	<i>C. lipolytica</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	128
Şekil 5.79.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	131
Şekil 5.80.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	134
Şekil 5.81.	100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları.....	135
Şekil 5.82.	<i>C. tropicalis</i> için her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	136
Şekil 5.83.	<i>C. tropicalis</i> için her bir sabit bakır(II) derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v'ya karşı μ grafikleri.....	136
Şekil 5.84.	Kalsiyum aljinat'a tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> mayasına Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine tanecik çapının etkisi.....	138
Şekil 5.85.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde başlangıç boyarmadde derişiminin maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	139
Şekil 5.86.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'in 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde elde edilen biyobirikim eğrisi...	141
Şekil 5.87.	Kalsiyum aljinat'a tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> mayasına bakır(II) biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine tanecik çapının etkisi.....	142
Şekil 5.88.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde başlangıç metal iyonu derişiminin maksimum tutulan bakır(II) derişimi	

	üzerine etkisi.....	143
Şekil 89.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'in 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde elde edilen biyobirikim eğrisi.....	144
Şekil 5.90.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi.....	146
Şekil 5.91.	0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi.....	149
Şekil 5.92.	100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları.....	150
Şekil 5.93.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde farklı akış hızlarında elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim eğrileri.....	151
Şekil 5.94.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde farklı besleme derişimlerinde elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim eğrileri.....	153
Şekil 5.95.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde farklı akış hızlarında elde edilen bakır(II) biyobirikim eğrileri.....	154
Şekil 5.96.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde farklı besleme derişimlerinde elde edilen bakır(II) biyobirikim eğrileri.....	156
Şekil 5.97.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e 50 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 50 mg/L bakır(II) içeren karışımın biyobirikiminde her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrileri	159
Şekil 6.1.	Serbest ve tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G, 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) olmak üzere toplam 200 mg/L kirletici içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim eğrileri.....	165
Şekil E.1.	Bakır(II) iyon derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu...	174
Şekil E.2.	Remazol Turkuaz Blue-G derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu.....	175
Şekil E.3.1.	<i>C. tropicalis</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu.....	177
Şekil E.3.2.	<i>C. utilis</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu.....	177
Şekil E.3.3.	<i>C. membranaefaciens</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu	178
Şekil E.3.4.	<i>C. lipolytica</i> için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu.....	178
Şekil E.3.5..	<i>C. tropicalis</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu.....	179
Şekil E.3.6.	<i>C. utilis</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu.....	179
Şekil E.3.7.	<i>C. membranaefaciens</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu.....	180
Şekil E.3.8.	<i>C. lipolytica</i> için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu.....	180
Şekil E.4	Melas sakkarozu derişimi tayini için kullanılan çalışma doğrusu...	182
Şekil E.5.1.	Hiçbir kirletici içermeyen besin ortamında <i>C. tropicalis</i> mayası için elde edilen $\ln X/X_0$ 'a karşı t grafiği.....	183
Şekil E.5.2.	10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G	

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1	Çeşitli polimerik jeller için bir tane tutuklanmış taneciğin bozulmadan dayanabildiği maksimum kuvvet..... 27
Çizelge 4.1.	Tutuklanmış mikroorganizmaların aktifleştirilmesinde kullanılan besin ortamı..... 40
Çizelge 5.1.	Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayaları için elde edilen özgül üreme hızları, maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 48
Çizelge 5.2.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> mayaları için elde maksimum özgül üreme hızı ve doyunluk sabiti değerleri..... 49
Çizelge 5.3.	Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 54
Çizelge 5.4.	Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 55
Çizelge 5.5.	Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. membranaefaciens</i> özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 56
Çizelge 5.6.	Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 57
Çizelge 5.7.	Remazol Turkuaz Blue G'nin <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> 'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri..... 62
Çizelge 5.8.	Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 74
Çizelge 5.9.	Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. utilis</i> 'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 75
Çizelge 5.10.	Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. membranaefaciens</i> özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri..... 76

Çizelge 5.11.	Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen <i>C. lipolytica</i> 'nın özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri.....	77
Çizelge 5.12.	Bakır(II) iyonlarının <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> 'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri.....	82
Çizelge 5.13.	Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen <i>C. tropicalis</i> 'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri.....	91
Çizelge 5.14.	Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ve ikili karışımlarının <i>C. tropicalis</i> 'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri.....	94
Çizelge 5.15.	Başlangıç pH'ının <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> 'nın biyobiriktirdiği maksimum Remazol Turkuaz Blue G derişimine ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesine etkisi.....	97
Çizelge 5.16.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde <i>C. tropicalis</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri.	101
Çizelge 5.17.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde <i>C. utilis</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri.....	102
Çizelge 5.18.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde <i>C. membranaefaciens</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri.....	103
Çizelge 5.19.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde <i>C. lipolytica</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri	104

Çizelge 5.20.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler.....	112
Çizelge 5.21.	Başlangıç pH'ının <i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> 'nın biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve bakır(II) biyobirikim kapasitesine etkisi	113
Çizelge 5.22.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde <i>C. tropicalis</i> için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri.	118
Çizelge 5.23.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde <i>C. utilis</i> için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri.....	119
Çizelge 5.24.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde <i>C. membranaefaciens</i> için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri.....	120
Çizelge 5.25.	Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde <i>C. lipolytica</i> için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri.....	121
Çizelge 5.26.	<i>C. tropicalis</i> , <i>C. utilis</i> , <i>C. membranaefaciens</i> ve <i>C. lipolytica</i> için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler.....	129
Çizelge 5.27.	Her bir sabit bakır(II) derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde <i>C. tropicalis</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri.....	132
Çizelge 5.28.	<i>C. tropicalis</i> için her bir sabit bakır(II) derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimleri için ve her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler.....	137
Çizelge 5.29.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde başlangıç boyarmadde derişiminin Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi.....	139

Çizelge 5.30.	Tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde başlangıç metal iyonu derişiminin bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi.....	143
Çizelge 5.31.	Her bir sabit bakır(II) derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri....	147
Çizelge 5.32.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde akış hızının biyobirikim hızı, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi.....	151
Çizelge 5.33.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi.....	152
Çizelge 5.34.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde akış hızının biyobirikim hızı, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi.....	154
Çizelge 5.35.	Dolgulu kolonda tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> 'e bakır(II) biyobirikiminde besleme bakır(II) derişiminin biyobirikim hızı, maksimum tutulan bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi....	155
Çizelge 5.36.	Dolgulu kolonda <i>C. tropicalis</i> 'e Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) karışımlarının biyobirikiminde her bir sabit besleme bakır(II) derişiminde farklı giriş Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri....	157
Çizelge 6.1.	10 g/L sabit sakkaroz ve farklı iki başlangıç kirletici derişiminde (100 ve 500 mg/L) elde edilen özgül üreme ve biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen kirletici derişimleri, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri, biyobirikim kapasiteleri ve % giderim değerleri.....	163
Çizelge 6.2.	Serbest ve tutuklanmış <i>C. tropicalis</i> ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G, 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) olmak üzere toplam 200 mg/L kirletici içeren besin	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C_{oRTBG}	:Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi (mg/L)
C_{oCu}	:Başlangıç bakır(II) derişimi (mg/L)
C_{tut}	:Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) kirletici derişimi (mg/L)
$C_{tutRTBG}$:Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) Remazol Turkuaz Blue G derişimi (mg/L)
C_{tutCu}	:Mikroorganizma tarafından biyobiriktirilen (tutulan) bakır(II) derişimi (mg/L)
I	:İnhibisyona neden olan bileşen derişimi (mg/L)
I_1, I_2	:İnhibisyona neden olan birinci ve ikinci bileşen derişimleri (mg/L)
K_s	:Doygunluk sabiti (g/L)
K_i	:İnhibisyon sabiti (mg/L)
K_{RTBG}	:Remazol Turkuaz Blue G'ye ait inhibisyon sabiti (mg/L)
K_{Cu}	:Bakır(II)'ye ait inhibisyon sabiti (mg/L)
K_{I1}, K_{I2}	:Birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitleri (mg/L)
$K.H.$:Karıştırma hızı
q_m	:Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan kirletici miktarı (mg/g)
q_{mRTBG}	:Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan Remazol Turkuaz Blue G miktarı (mg/g)
q_{mCu}	:Birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı (mg/g)
S	:Substrat derişimi (g/L)
S_o	:Başlangıç substrat derişimi (g/L)
t	:Zaman (sa)
$t_{üreme}$:Üreme süresi (sa)
X	:Kuru mikroorganizma derişimi (g/L)
Ortalama % Hata	:Ortalama yüzde hata
% Tüketim	:% kirletici tüketim değeri
X_m	:Maksimum kuru mikroorganizma derişimi (g/L)
v	:Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim hızı (mg/g k. mo.sa)
v_k	:Kolon boyarmadde veya metal biyobirikim hızı (mg kirletici/g k. mo.sa)
α	Luedeking and Piret modeline ait kinetik sabit (mg/g)
β	Luedeking and Piret modeline ait kinetik sabit (mg/g-sa)
μ	:Özgül üreme hızı (sa ⁻¹)
μ_{teo}	:Teorik olarak elde edilen özgül üreme hızı (sa ⁻¹)
μ_{den}	:Deneysel olarak elde edilen özgül üreme hızı (sa ⁻¹)
μ_m	:Maksimum özgül üreme hızı (sa ⁻¹)
Q	:Dolgulu kolondaki hacimsel akış hızı (mL/dak)
X_k	:Dolgulu kolondaki toplam kuru mikroorganizma miktarı (g)
q_k	:Dolgulu kolondaki boyarmadde veya metal iyonu biyobirikim kapasitesi (mg kirletici/ g k. mo.)
t_{∞}	:Dolgulu kolondaki toplam akış süresi (dak)

1.GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Her türlü madde ya da enerjinin doğal birikiminin üstündeki miktarlarda çevreye katılması çevre kirliliği olarak adlandırılır. Su kirliliği ise çevre kirliliğinin en önemli sınıfını oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksuları ise, içerdiği çeşitli boyarmaddeler ve bazı boyarmaddelerin yapısal bozunmaya uğramasıyla ya da dış kaynaklardan alıcı ortama yayılan ağır metal iyonlarından dolayı ciddi boyutta kirliliğe neden olmaktadır. Meydana gelen bu kirliliğin alıcı ortamlarda estetik görüntüyü bozduğu, suyun ışık geçirgenliğini ve gazların çözünürlüğünü etkilediği, metal iyonlarının ve klorürlerin suda yaşayan canlılar için toksik etki yaptığı bilinmektedir. Doğa, bir ölçüde bazı atıkların üstesinden gelmesine karşın atıksuyun yeniden kazanımını sağlamada yetersiz kalmakta ve dolayısı ile atıksuların arıtımında yeni teknolojilerin oluşturulması ve geliştirilmesiyle ilgili çalışmalar giderek önem kazanmaktadır.

Reaktif boyarmaddeler, tekstil endüstrisi atıksularında en çok rastlanan kirleticilerdendir. Günümüzde bu boyarmaddeleri içeren atıksuların arıtımında kullanılan koagülasyon-flokülasyon, oksidasyon, filtrasyon, elektrokimyasal bozunma, ozonlama gibi fiziksel ve kimyasal yöntemlerin pahalı, yatırım ve işletme maliyeti yüksek, yeni kirlilik üreten yöntemler olması nedeniyle, alternatif olarak ucuz, kullanımı kolay, çevreyi kirletmeyen yeni yöntemlerin geliştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar giderek yoğunluk kazanmaktadır.

Boyama işlemi esnasında, yapısında ağır metal iyonu içeren boyarmaddelerin bozunmasıyla, tekstil endüstrisi atıksularında önemli bir kirlilik olan ağır metal kirliliği de oluşabilmektedir. Ayrıca, ağır metal kirliliği içeren maden, metal kaplama, elektrokaplama, metal işleme ve petrokimya gibi çeşitli endüstrilerin atıksuları da değişik yollarla tekstil endüstrisi atıksularına karışarak ağır metal kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu tür kirleticilerin gideriminde kullanılan çöktürme, aktif karbon adsorpsiyonu, iyon değişimi gibi klasik yöntemler yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği, arıtma sonrasında yeni kirleticilerin oluşması gibi nedenlerden dolayı pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır.

Son yıllarda boyarmadde ve/veya ağır metal kirliliği içeren düşük pH'a sahip atıksularda aktif olarak üreyebilen ve boyarmadde ve metal iyonlarına karşı direnci fazla olan mikroorganizmaların (genellikle mayaların), bu iyonları hücre yapısına alarak biriktirme yeteneğinden yararlanarak bu tür kirleticilerin gideriminde kullanılması ile ilgili çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Genel olarak bu çalışmalarda sakkaroz, glukoz gibi şekerleri içeren yapay besin ortamlarının kullanıldığı gözlenmiştir. Eğer besin ortamında yüksek oranda sakkaroz ve tuz bileşenleri içeren melas gibi atıklar kullanılacak olursa, mikroorganizmanın üretiminin ve kirletici gideriminin daha ekonomik olacağı düşünülebilir.

Bu tez çalışmasının amacı, atıksularda sıklıkla rastlanılan ve Türk tekstil endüstrisinde en çok kullanılan reaktif boyarmaddelerden Remazol Turkuaz Blue G'nin ve boyarmaddenin yapısında yer alan bakır(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının, bu kirleticilere karşı direncinin ve biyobirikim kapasitesinin yüksek olduğu bilinen serbest ve tutuklanmış çeşitli maya türlerine biyobirikiminin melas içeren besin ortamında serbest ve tutuklanmış mikroorganizma sistemleriyle kesikli karıştırmalı kapta ve sürekli düzende çalışan dolgu kolon reaktörde incelenmesidir.

Tez çalışmasında, şeker endüstrisi atığı olan melas içerdiği yüksek sakkaroz ve tuz bileşenlerinden dolayı maya hücrelerinin üremesinde temel besin kaynağı olarak kullanılmıştır. Böylece mikroorganizmanın hızlı ve bol miktarda üremesi, dolayısıyla bünyesinde biriktirdiği metal iyonu ve/veya boyarmadde derişiminin artması, ve ayrıca melas atığının değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Çalışmaların ilk kısmında serbest *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının özgül üreme hızına ve eriştiği maksimum mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ı ve başlangıç substrat (sakkaroz) derişiminin etkileri araştırılmış, her bir mayaya ait kinetik sabitler Monod eşitliğinden bulunmuştur. Ortamda boyarmadde ve/veya ağır metal iyonunun bulunması mikroorganizmanın üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Tekli Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında, boyarmadde ve metal iyonunun her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak, inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu kirleticilere karşı en yüksek direnci gösteren maya türü olarak seçilen *C. tropicalis* ile Remazol

Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonunu birlikte içeren melaslı besin ortamında boyarmadde ve metal iyonunun ortak inhibisyon etkisi modellenerek inhibisyon türü saptanmış ve her bir kirleticiye ait inhibisyon sabiti bulunmuştur. Serbest hücre ile gerçekleştirilen çalışmaların son kısmında ise tekli Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında her bir mayanın boyarmadde veya metal iyonu biyobirikime kapasitesi başlangıç pH'ının ve başlangıç boyarmadde veya metal iyonu derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve kirletici biyobirikimi modellenerek model sabitleri bulunmuştur. Ayrıca sabit substrat derişiminde Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren melaslı besin ortamında en yüksek biyobirikim kapasitesini gösteren *C. tropicalis* mayasına her iki kirleticinin eşzamanlı biyobirikimi çalışmaları, bir kirleticinin derişimini sabit tutup, diğeri değıştirilerek gerçekleştirilmiş ve ortak kirletici etkisi araştırılmıştır. Kesikli karıştırmalı kap çalışmalarının son kısmında, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarına karşı en yüksek direnci ve biyobirikim kapasitesini gösteren *C. tropicalis* mayası, kalsiyum aljinat jele tutuklanarak, tanecik büyüklüğü, boyarmadde ve metal iyonu derişimleri gibi sistem parametrelerinin mikroorganizmanın metal iyonu ve boyarmadde biyobirikim kapasitesine etkileri incelenmiş ve sonuçlar serbest mikroorganizma için bulunanlar ile karşılaştırılmıştır.

Tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile kesikli sistemde en uygun çalışma koşulları saptandıktan sonra, dolgulu kolon çalışmalarına geçilmiştir. Dalgulu kolonda besleme akış hızının, başlangıç boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin tekli ve karışım halinde tutuklanmış maya hücresinin biyobirikim kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Boyarmaddeler

Boyarmadde; bir materyale kendiliğinden veya uygun reaksiyon maddeleri sayesinde afinitesi olan, birlikte muamele edildikleri cisme renklilik kazandıran kimyasal maddelerdir. Boyarmaddenin renk verebilmesi için çift bağlara sahip olması gerekmektedir. Bugün kullanılan sentetik boyarmaddelerin çoğunda çift bağ içeren molekül olarak; benzen, naftalin, antrasen gibi aromatik çekirdekler kullanılmaktadır. Mor ötesi ışınları absorbe ederek aktifleşmeleri nedeniyle, bu çekirdekler tek başlarına renksiz olarak görünürler. İnsan gözünün bunların rengini fark edebilmesi kromofor denilen ve aromatik çekirdeklerin mor ötesi ışınlar bölgesinde olan absorpsiyonu görünür spektrum bölgesine kaydıran belirli grupların moleküle bağlanması ile mümkündür. Kromofor, organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlardır. Kromofor gruplarının hepsi azot, nitro, nitrozo ve karbonil grubu gibi çift bağ içerirler. Boyarmadde yapısında yer alan ve kromofor içeren aromatik halkalı bileşiklere kromojen denir (Yakartepe, 1997).

Boyarmaddeler renk verecekleri yüzey üzerine bir veya birkaç fiziksel bağla bağlanır. Bu bağlar; hidrojen bağları, Van der Waals, elektrostatik veya koordinasyon bağlardır. Belirli durumlarda ise kovalent bağlarla kimyasal olarak bağlanırlar.

2.1.1. Tekstil boyarmaddeleri

Tekstil boyarmaddeleri pamuklu, keten, yün, ipek gibi doğal kumaşların ve viskon, rayon, poliamid, poliakrilik elyafların renklendirilmesinde kullanılır. Tekstil boyarmaddelerinin seçiminde afinite, haslıklar, kullanım yeri, boyama yöntemi, renk, işlem kolaylığı gibi faktörler önem kazanır. Bir elyaf için uygun boyarmadde seçiminde en önemli kriter hangi boyarmaddenin hangi elyafa afinitesi olduğunun bilinmesidir. Boyarmadde seçiminde ikinci önemli kriter ise haslıktır. Yıkama, ışık

ve renk haslıklarında beklentiler her elyaf için farklıdır. Hem lifin cinsi hem de kullanılacağı yer boyarmadde seçimine etki eder.

Boyarmaddeler birkaç şekilde sınıflandırılabilir. Sınıflandırmada çözünürlük, kimyasal yapı, boyama özellikleri, kullanım yerleri gibi çeşitli özellikler gözönüne alınabilir. Aşağıda sıklıkla kullanılan sınıflandırma çeşitlerinden, “Boyarmaddenin uygulama metoduna göre sınıflandırılması” gösterilmiştir.

- Anyonik boyarmaddeler
 - a. Asit boyarmaddeler
 - b. Direkt boyarmaddeler
 - c. Metal kompleks boyarmaddeleri
 - d. Reaktif boyarmaddeler
- Katyonik boyarmaddeler
- Uygulama öncesi kimyasal reaksiyon gerektiren boyarmaddeler
 - a. Küp boyarmaddeleri
 - b. Kükürt boyarmaddeleri
- Özel renklendirici sınıflar
 - a. Dispers boyarmaddeler
 - b. Solvent boyarmaddeleri
 - c. Pigmentler

2.1.2. Reaktif boyarmaddeler

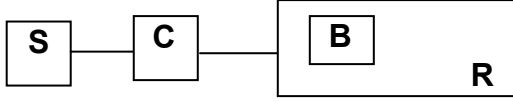
Reaktif boyarmaddeler, uygun koşullar altında elyaf ile kimyasal reaksiyona girerek, kovalent bağ yapma özelliğine sahip, yüksek ölçüde suda çözünebilen anyonik boyarmaddelerdir. Gerçek kovalent bağ nedeniyle elyaf üzerine kuvvetle tutunurlar. Karakteristikleri küçük ve basit molekül yapılarına sahip olmalarıdır. Molekül ağırlıkları genellikle 69-221 g/mol civarındadır. Küçük partikül özelliği elyafa hızlı bir şekilde nüfuz etmesini sağlar. Çok parlak renklere sahip reaktif boyarmaddeler, basit yapılarının sonucu olarak spektrumlarında çok dar ve yüksek pikler gösterir. En çok mavi, kırmızı, oranj ve sarı renklerin eldesi için kullanılırlar.

Reaktif boyarmaddeler öncelikle selüloz esaslı lifler (pamuk, viskon, keten vb.) için geliştirilmişlerdir. Ancak şimdilerde yaygın olmasa da yün, ipek, orlon, akrilik ve karışımları için de kullanılmaktadır. Boyarmadde grubu olarak azo grubu içeren

reaktif boyarmaddeler aşındırma baskılarda uygundur. Özellikle pamuk baskısında yüksek ışık ve yaş haslıklarına sahip parlak renkler elde edilir.

Reaktif boyarmaddeler Türkiye’de en fazla tüketilen boyarmaddelerdendir. Pamuklu dokuma ve pamuklu örme kumaşların %80’i reaktif boyarmaddelerle renklendirilmektedir. Türkiye’de reaktif boyarmadde tüketimi yaklaşık 5700 ton dolayındadır.

Bir reaktif boyarmadde molekülü aşağıdaki şekilde gösterilebilir:



Burada,

S: Suda çözünebilir grup (Sülfonik asit grupları)’u,

C: Moleküle renk veren grup (Sarı, turuncu ve kırmızı boyarmaddeler monoazo yapısında, mor, koyu kırmızı ve lacivert boyarmaddeler disazo yapısında, parlak ve açık mavi renkler ise antrakınon ve ftalosiyenin türevleri)’u,

B: Köprü bağları (Moleküldeki renkli grup ile reaktif grubu birbirine bağlayan -NH-, -CO-, -SO₂- gibi gruplar)’nı ve

R: Reaktif grup (Elyaftaki fonksiyonel grup ile kovalent bağ oluşturan grup)’u göstermektedir (Clarke and Anlıker, 1980).

Reaktif boyarmaddeler, reaktif grupların reaktifliklerine göre yüksek reaktifliğe sahip reaktif boyarmaddeler ve düşük reaktifliğe sahip boyarmaddeler olmak üzere iki grupta toplanırlar.

Yüksek reaktifliğe sahip reaktif boyarmaddeler, vinilsülfon, diklorotriazin, difloroprimidin veya dikloroprimidin reaktif grubu içeren reaktif boyarmaddelerdir. Bu tip boyarmaddelerle 50-60 °C gibi düşük sıcaklıklarda boyama işlemi gerçekleştirilir. Düşük reaktifliğe sahip reaktif boyarmaddeler ise monoklorotriazin ve trikloroprimidin gibi reaktif gruplar içeren reaktif boyarmaddelerdir. Bu tip boyarmaddelerle yüksek sıcaklıklarda (80-85°C) boyama işlemi gerçekleştirilir. Yüksek reaktifliğe sahip reaktif boyarmaddelerle, düşük reaktifliğe sahip boyarmaddelere oranla daha hızlı boyama sağlanır ve aynı zamanda kimyasal madde ve enerji tüketimi daha azdır. Düşük reaktifliğe sahip reaktif boyarmaddelerle boyama işleminde ise hidroliz tehlikesinin daha az olması

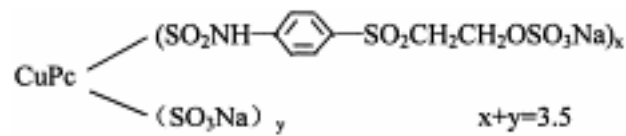
nedeniyle boyarmadde kaybı daha azdır (Hu, 1996; Juang et al., 1997; Lambert et al., 1997; Lee et al., 1999).

Reaktif boyarmaddelerin yıkama haslıkları çok iyi, ışığa haslıkları mükemmeldir. Renkleri parlak ve canlıdır. Reaktif gruplarına bağlı olarak, basit ve çeşitli aplikasyon tekniklerine uygundur. Yüksek ölçüde tekrarlanabilirlik mümkündür. Düzgün boyama kolaydır ve çok düzgün boyamalar elde edilir.

Reaktif boyarmaddelerin klor haslıkları ve bazik çözeltilere haslıkları iyi değildir. Merserize, soda kaynatma, ağartma gibi işlemlere dayanıklı olmadıklarından, terbiye görecektir, ipliği boyalı kumaşlarda kullanılmazlar. Yaş haslıkları iyi değildir. Reaktif boyarmaddelerle boyama ya da baskı sonrası ard işlemler uzun ve zaman alıcıdır ve maliyeti artırmaktadır. Boyama sırasında istenmeyen yan reaksiyon sonucu, boyarmaddenin % 15 ila 40'ı hidrolize olur.

2.1.2.1. Remazol Turkuaz Blue-G reaktif boyarmaddesinin özellikleri

Tez çalışmasında, Türk tekstil endüstrisinde en çok kullanılan reaktif boyarmaddelerden biri olan Remazol Turkuaz Blue-G kullanılmıştır. Diğer adı C. I. Blue 21 olan bu boyarmadde bakır-ftalosiyenin kromofor grubu içermektedir. Kimyasal yapısında bir adet N=N çift bağı içerdiğinden dolayı mono azo boyarmadde sınıfına girmektedir. İçerdiği vinilsülfon reaktif grubundan dolayı da yüksek reaktifliğe sahiptir. 60-80°C aralığındaki boyama sıcaklığından dolayı da sıcak reaktif boyarmadde olarak bilinir. Kimyasal yapısı Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Remazol Turkuaz Blue-G reaktif boyarmaddesinin kimyasal yapısı.

2.2. Atıksular

Atıksu, evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya

yüzeyaltı akışa dönüşmesi sonucunda oluşan sular olarak tanımlanabilir (19919 No'lu Resmi Gazete, 1988).

Endüstriyel kaynaklı atıksular, yerleşim yerlerinden kaynaklanan atıksulara göre önemli ayrıcalıklar gösterir. Evsel atıksulardaki kirleticilerin organik nitelikte olması, bunların aşırı miktarda deşarj edilmemesi şartıyla alıcı sularda mikroorganizmalar tarafından zararsız inorganik bileşiklere dönüşmesini mümkün kılmaktadır. Halbuki bazı endüstriyel atıksularda mevcut dayanıklı kirleticiler, alıcı su ortamında birikme, canlıların dokularında yoğunlaşma ve belli sınırlar üstünde canlılar üzerinde doğrudan toksik etki etme özelliklerine sahiptirler. Ayrıca endüstriyel atıksuların sebep olduğu kirlenmelerde ekolojik denge bozulmasına daha çok rastlanmakta ve bu bozunma çoğunlukla geri dönüşü olmayan bir nitelik taşımaktadır.

Atıksu özellikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak gruplandırılabilir (Weber, 1972; Metcalf and Eddy, 1991; Özbelge, 1992; Haktanır and Arcak, 1998).

Fiziksel özellikler

I) Sıcaklık: Sularda biyolojik aktiviteyi (organizma gelişim hızını) etkiler. Gazların sudaki çözünürlüğünü değiştirir. Suyun tabakalaşması, yoğunluğu, viskozitesi, yüzey gerilimi vb. sıcaklıkla değişir.

II) Koku ve tad: Suyun estetik değerini etkiler. Diğer kirletici parametrelerin ve aerobik/anaerobik ortamların varlığının göstergelerinden biridir.

III) Renk ve bulanıklık: Suya ışık sızmasını ve buna bağlı olarak organizma gelişimini etkiler. Suyun estetik özelliklerini değiştirir. Su yaşamına zararlı etki gösterebilir. Diğer kirleticilerin varlığının göstergelerinden biridir.

IV) Toplam katılar: Atıksuyun içerdiği çözünmüş ve çözünmemiş maddelerin göstergesidir.

Kimyasal özellikler

I) Yağ ve gres: Havalanmayı, dolayısıyla sudaki oksijen miktarını etkiler. Estetik değeri ve tadı bozar. Kuşları ve balıkları etkiler.

II) Deterjan ve pestisitler: Köpük oluşturur, havalanmayı etkiler, oksijen gereksinimi yaratır. Toksik etkilidir.

III) pH: Su yaşamını etkiler. Karbonat dengesini değiştirir.

IV) İletkenlik: Çözünmüş maddelerin göstergesidir.

V) Tuzluluk: Yoğunluğu, tadı ve osmotik basıncı, iletkenliği değiştirir. Balık türlerini ve yumurtlamayı etkiler. Oksijeni etkiler.

VI) Azot, fosfor, ağır metal, radyoaktif maddeler: Su yaşamını etkiler. Serbest amonyak ve nitrit toksik etki yaparken, nitrat insan sağlığını etkiler.

Biyolojik özellikler

I) Patojenik bakteri ve virüsler: İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilirler.

II) Diğer mikroorganizmalar: Atıksuda, atıksu arıtımında etken bakteri ve protozoalar da yer alabilir.

2.2.1. Atıksuların arıtım yöntemleri

Atıksu arıtımı, suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal, fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin biri veya birkaçı olarak tanımlanabilir.

Genel olarak atıksu arıtımını fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım olmak üzere üç gruba ayırmak mümkündür.

Fiziksel arıtım prosesleri, atıksuyun içediği askıda kolloidal partikülleri ve diğer iri katı maddeleri sudan ayırarak, ileriki proseslere arıtılmak üzere hazırlayan yöntemlerdir.

Kimyasal arıtma prosesleri atıksudaki bileşiklerin kimyasal yapısını değiştirerek onları arıtmaya yarar. Kimyasal arıtma proseslerinde daha az zararlı veya zararsız atıklar oluşur.

Biyolojik arıtım yöntemleri atıksu bünyesinde bulunan organik ve kısmen de inorganik kirletici maddelerin, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmak suretiyle atıksudan uzaklaştırılması esasına dayanan metodlardır. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücrelerine, bir kısmı da

enerjiye dönüşür. Biyolojik arıtma yöntemleri, sistemde oksijenin olup olmamasına bağlı olarak, aerobik ve anaerobik olmak üzere ikiye ayrılırlar.

2.3. Tekstil Endüstrisi Atıksuları

Tekstil endüstrisinde, haşıl sökme, pişirme, ağartma, nötralizasyon, boyama, basma ve yıkama işlemleri sırasında oldukça fazla miktarda su kullanılmakta, bu nedenle oluşan atık suyun debisi de çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Tekstil endüstrisi atıksuları içerdikleri çok çeşitli kimyasallardan ve özellikle boyarmaddelerden dolayı arıtılması zor olan endüstriyel atıksulardır. Değişik türde organik madde, ağır metal, çözünmüş tuzlar, renk, bulanıklık içeren ve değişen pH'larda dış ortama verilen bu sular birinci derecede arıtma ihtiyacı duyulan atıksulardır. Boyarmadde ve kumaşın türüne ve özelliklerine göre boyama esnasında çeşitli yardımcı maddelerin ilave edilmesi bu atıksuların arıtma işlemlerini daha da güçleştirmektedir. Çok çeşitli türde olan bu maddeler genelde uzun, birden fazla aromatik halka, birden fazla çift bağ ve değişik fonksiyon grupları taşımaları nedeniyle biyolojik ayrışabilirlikleri az olan, dayanıklı ve kalıcı, çoğu zehirli kimyasal maddelerdir (Gurnham, 1965).

Tekstil endüstrisi atıksularında yer alan boyarmaddeler renk kirliliğinin yanı sıra ışık penetrasyonuna neden olarak sudaki yaşamın fotosentetik aktivitesini engellerler. Bu boyarmaddelerin bir kısmı toksik olup bir kısmı da sadece suyun renginin değişmesine, tadının ve kokusunun bozulmasına neden olur. Ayrıca bazıları çeşitli ağır metal iyonlarını içermeleri nedeniyle sudaki canlı yaşamını olumsuz etkiler. Ülkemizde Su Kirliliği Yönetmeliğinde, deşarj standartlarında renkle ilgili parametre olmamasından dolayı, bu atıksuların arıtımında daha çok KOI, BOI ve AKM giderimi amaçlanmaktadır. Buna karşın ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde renkle ilgili kesin deşarj sınırlamaları getirilmesinden dolayı son yıllarda tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan bütün arıtma teknolojileri renk giderimi üzerine yoğunlaşmıştır.

2.3.1. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtım yöntemleri

Tekstil endüstrisi atıksularında yeralan boyarmaddelerin ve ağır metal iyonlarının uzaklaştırılmasında çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlileri her bir kirlenici çeşidi için aşağıda kısaca

açıklanmaya çalışılmıştır (Kırk-Othmer, 1970; Ullmann, 1987; Metcalf and Eddy, 1991; Morais et al., 1999; Nigam et al., 2000).

2.3.1.1. Boyarmadde giderim yöntemleri

i. Fiziksel yöntemler

Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, tekstil endüstrisi atıksularından renk gideriminde en çok kullanılan yöntemlerden biridir ve granüler ya da toz haldeki aktif karbon da en çok kullanılan yüksek verimli adsorbentlerdendir. Ancak aktif karbonun pahalı ve rejenerasyonunun zor olmasından dolayı kullanımı sınırlıdır. Bu nedenle son yıllardaki çalışmalar uçucu kül, odun talaşı, çeşitli tarımsal atıklardan elde edilen adsorbentler gibi daha ucuz sorbentlerin renk gideriminde kullanılabilirliği üzerine yoğunlaşmıştır.

Membran sistemleri

Renk gideriminde ticari amaçlı olarak kullanılan membran sistemleri ultrafiltrasyon, ters osmoz ve elektrodiyalizdir. Membran sistemlerinin atıksudan boyayı uzaklaştırmada, arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanılması ve bazı boyarmaddelerin geri kazanımı gibi avantajları vardır. Ancak bu yöntem kullanıldığında membranda yoğunlaşan maddenin uzaklaştırılması problemiyle karşılaşmaktadır.

Koagülasyon – Flokülasyon

Bu işlemlerde inorganik koagülantlar, örneğin kireç, magnezyum ve demir tuzları boyarmaddelerin koagülasyonu amacıyla uzun zamandan beri kullanılmaktaydı. Ancak son zamanlarda boyarmaddelerin yapılarında meydana gelen değişimler boyarmaddelerin artık bu kimyasallarla uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır.

ii. Kimyasal yöntemler

Ozonlama

Bu yöntem tekstil atıksularından renk gideriminde uygun bir yöntem gibi görünmekle birlikte oldukça pahalı bir arıtma yöntemidir. Özellikle tekstil endüstrisinin fazla miktarda su kullandığı gözönüne alındığında sistemin gerek ilk yatırım gerekse işletme maliyetinin oldukça fazla olduğu görülmektedir. Buna ek olarak ozon rengin tamamını uzaklaştırmakta başarılı olamamaktadır. Öte yandan bir başka problem ise boyarmaddelerin ozon tarafından parçalanmasıyla ortaya çıkan ürünlerin canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratmasıdır.

Kimyasal oksidasyon

Bu yöntem için kullanılan kimyasallar klor, klordioksit ve hidrojen peroksittir. Klorla yapılan renk gidermede sodyum hipoklorit kullanılmaktadır. Bu yöntemle rengin tamamını gidermek mümkün değildir. Ayrıca ortamda oluşan bazı klorlu bileşiklerin alıcı su ortamlarında olumsuz bir takım etkileri vardır.

Kimyasal indirgeme

Kimyasal indirgeme, tekstil endüstrisi atıksularının renginin gideriminde genellikle ön arıtımda kullanılan yöntemlerden biridir. Yaygın olarak kullanılan kimyasallar sodyum hiposülfid, sodyum borhidrit, sodyum formaldehit sülfoksalat ve kalay II klorürdür.

Elektrokimyasal yöntem

Sistem genel olarak alüminyum ya da demir bileşiklerinin floklayıcı bileşiklerini oluşturmada bir demir ya da alüminyum elektrod kullanılması esasına dayanır. Bu oluşan floklar kendi başına çökebileceği gibi, ortama inorganik maddelerin eklenmesiyle elde edilen çökeltmeden daha iyi bir çökeltme verimi sağlanabilir. Bu yöntem renk, KOI, toplam organik karbon, askıda katı ve ağır metallerin tekstil endüstrisi atıksularından uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır.

iii. Biyolojik yöntemler

Biyodegradasyon

Lakkaz, mangan peroksidaz, lignin peroksidaz gibi enzimleri içeren bazı beyaz çürükçül fungusların (*Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor* gibi)

havalı ortamda tekstil boyarmaddelerini yüksek verimde biyolojik bozunmaya uğrattıkları bilinmektedir. Aerobik parçalanmaya oldukça dirençli olan boyarmaddelerin ise, anaerobik koşullarda bazı bakteriler tarafından biyolojik parçalanmasıyla ilgili çalışmalara literatürde rastlanılmaktadır. Ancak parçalanma ürünü olan aminlerin toksik etkilerinden dolayı arıtımın tam olarak sağlanamaması söz konusudur (Robinson et al., 2001).

Biyosorpsiyon

Tekstil endüstrisi atıksularından boyarmadde gideriminde kullanılan yeni bir yöntem de biyosorpsiyondur. Genelde ağır metal iyonlarının gideriminde kullanılan bu yöntemin, boyarmadde gibi organik kirleticilerin giderimine de uygulanabileceği gözlenmiştir. Bugün kurutulmuş ya da çeşitli şekillerde inaktive edilmiş alg, maya, küf mantarı gibi mikroorganizmalar adsorbent olarak hızlı, verimli, ekonomik ve güvenli olarak hemen hemen her çeşit boyarmaddenin adsorpsiyonunda başarıyla kullanılmaktadır (Robinson et al., 2001).

Biyobirikim

2.3.1.2. Ağır metal giderim yöntemleri

i. Fiziksel yöntemler

Adsorpsiyon

Adsorpsiyonda atıksudaki ağır metal iyonu seçici olarak bir katı adsorbent yüzeyindeki aktif gruplara çeşitli fiziksel ve kimyasal bağlarla tutunarak atıksudan ayrılır. Aktif karbon sahip olduğu büyük yüzey alanı ve poroz yapısından dolayı ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda da etkin olarak en çok kullanılan adsorbenttir. Ancak aktif karbonun yüksek maliyeti ve rejenerasyonu zor olmasından dolayı, son yıllarda araştırmacılar, araştırmalarını daha ucuz ve etken adsorbentlerin araştırılması üzerine yoğunlaştırmışlardır. Uçucu kül, çeşitli silikatlar, çeşitli tarımsal atıklar (odun talaşı, pirinç kabuğu, pancar küspesi v.b.) ağır metal gideriminde araştırılan yeni adsorbentlerdir.

İyon değişimi

Bu yöntem metal iyonlarının elektrostatik kuvvetlerle fonksiyonel grup halinde katı yüzeyinde tutularak ortamdaki farklı türdeki iyonlarla değiştirilmesi ilkesine dayanır. Bu amaçla iyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır (Gurnham, 1965; Clark, 1971; D.S.İ., 1980; Aksu, 1988; Sağ, 1993).

ii. Kimyasal yöntemler

Çöktürme

Ağır metal kirliliği içeren atıksuların kimyasal arıtımı, temelde kimyasal olarak metal iyonunun çökebilen bir bileşiği şekline dönüştürülmesine dayanır. Çöktürmede başlıca üç tür yöntem kullanılır.

I) İndirgeme-çökeltme yöntemi: Bu yöntemle yüksek değerlikli metal iyonu, çökebilen bir şekline indirgendikten sonra nötralize edilir. Reaktifin aşırısı metal iyonunu çökeltir ve istenilen metal ortamdan ayrılmış olur. Bu yöntem özellikle kromlu atıkların arıtımında kullanılır.

II) 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 iyonlarını içeren atıksular için kullanılır.

III) Nötralizasyon-çökeltme yöntemi: Bu yöntemde ağır metallerin uzaklaştırılması için önce atık nötralize edilir. Krom(VI), bakır(II), çinko(II), nikel(II), kadmiyum(II) gibi ağır metal iyonları kireç, soda ve/veya sodyum hidroksit katılarak hidroksitleri şekline çöktürülerek atık sudan uzaklaştırılır.

iii. Biyolojik yöntemler

Biyosorpsiyon

Ağır metal kirliliğinin giderilmesinde de kurutulmuş ve çeşitli şekillerde inaktive edilmiş mikroorganizmaların adsorbent olarak kullanılması (biyosorpsiyon) son yılların en çok araştırılan konularındandır. Araştırmalar ağır metal iyonlarının

biyosorpsiyonunda, biyosorpsiyon hız ve kapasitesinin, ortam pH'ı, sıcaklık, başlangıç kirletici derişimi, biyosorbent miktarı, ortamda bulunan diğer anyon ve kation derişimleri gibi pek çok parametreye bağı olduğunu göstermektedir (Sağ; 1993; Aksu, 1998).

Biyobirikim

2.4. Mikroorganizmalar

2.4.1. Mikroorganizmaların genel özellikleri

Canlılar alemi ribozomal RNA dizi analizlerine göre genel olarak üç grupta incelenebilir.

1. Öbakteriler

Hücre yapıları ökaryotlara benzerdir. Çoğu bakteri bu gruba girer.

2.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.

3. 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 büyüyebilirler. Sadece çok yüksek tuz derişimindeki ortamlarda büyüeyebilen halobakterilerde bu grubun diğer bir üyesidir.

Bu üç grupta yer alan canlıların çoğu biyokimya mühendisliğinde oldukça önem taşırlar ve çeşitli ürünlerin eldesi, enzim ve protein ayırma ve saflaştırma, genetik ve medikal uygulamalar, atıksuların arıtılması gibi birçok amaç için geniş ölçüde kullanılırlar. Mikroorganizmalar doğada, su ve toprakta, bazı gıda maddelerinde, gelişmiş canlıların deri ve bağırsaklarında, organik maddelerde hemen her yerde bulunurlar (Pekin, 1980; Aksu, 1988; Kargı, 1993); Walker, 2000).

Mikroorganizmalar yapılarında (virüsler hariç) yaklaşık % 75-80 oranında su içerirler. Bakteri, maya ve tek hücreli alglerin kuru ağırlıklarının % 50'si proteinden oluşur. Mantarlar gibi daha karmaşık mikroorganizmaların hücre duvarını oluşturan

inert polisakkarid bileşikler ise, kuru ağırlıklarının büyük oranını oluşturur. Virüsler hariç bütün mikroorganizmaların diğer bir önemli bileşeni de lipidlerdir

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

2.4.2. 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 molekülü 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 bulunmaktadır.

Mayaların üremeleri bölünerek ya da tomurcuklanarak olmaktadır. Bölünerek çoğalan maya hücreleri, hücre ortasından bölünerek bir ara bölme oluşturur ve buradan hücre ikiye ayrılarak aynı büyüklükte iki yavru hücre oluşur. Tomurcuklanarak çoğalan mayalar uygun çevre koşulları bulurlarsa

tomurcuklanma ile bir hücreden bir veya daha çok çıkıntı meydana gelir ve bunlar yeni hücreler halinde gelişir. Gelişen bu hücreler daha sonra ana hücreden ayrılır. Tomurcuklanarak çoğalan bir maya hücresi yaklaşık 50-55 defa tomurcuklanabilmektedir.

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

Mayaların gelişebilmeleri ve aktivitelerini devam ettirebilmeleri için bazı ortam şartlarına ve bazı besin maddelerine ihtiyaçları vardır. Mayaların üremelerini etkileyen en önemli ortam şartları pH, sıcaklık ve havalandırmadır. Mayalar asidik ortamda gelişebilen mikroorganizmlardır. 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 daha düşük ve yüksek sıcaklık maya aktivitesini ve üremesini oldukça yavaşlatır. Mayaların üremesini etkileyen bir diğer etken ise havalandırmadır. Mayalar havalandırılmalı ve havasız ortamda üreyebilirler. Ancak havalandırılmalı ortamda daha hızlı ürerler. Havasız ortamda ise besin maddesini ürüne (etil alkol) dönüştürürler. Maya büyümesine ortam şartları dışında bazı besin maddeleri de doğrudan etki eder. Heterotrof bir mikroorganizma olan mayaların en önemli ve üremesini kısıtlayan ve kontrol eden besin maddesi karbonhidratlardır. Bu karbonhidrat kaynağı glukoz, sakkaroz, fruktoz, mannoz veya laktoz olabilir. Mayaların üremesine etki eden bir diğer önemli madde ise azottur. Bunun yanında potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum gibi maddelere de ihtiyaç duyarlar.

İnsanlık tarihinde ilk kullanılan mikroorganizmalar mayalardır. Günümüze kadar yaklaşık 700 çeşit maya kültürü belirlenmiş olmakla beraber yeni maya kültürlerinin tanımlanmasına da halen devam edilmektedir. Mayalar binlerce yıldır insanlar tarafından değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Mayaların ilk kullanımının Babil'liler, Sümer'ler ve Mısır'lılar tarafından bira ve şarap üretiminde ve hamurun mayalanmasında olduğu sanılmaktadır Modern çağda ise mayalar geleneksel gıda endüstrisinde (ekmek mayası üretimi, çeşitli enzimler, pigmentler, gıda

asitlendiricilerin elde edilmesi) kullanımlarının yanısıra, birçok fermantasyon prosesinde (bira, etanol) de kullanılmaktadır. Mayaların gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarında, çevresel biyoteknolojide ve insan sağlığını ilgilendiren pek çok biyolojik gelişmede daha geniş uygulama alanı bulacağı beklenmektedir. Enerji üretimi açısından bakıldığında mayaların metabolik olarak etanol ürettikleri bilinmektedir. Bu üretimi yenilenebilir karbonhidratlar üzerinden gerçekleştirdiği göz önüne alındığında bunun büyük bir avantaj sağlayacağı görülmektedir. Mayaların çevresel biyoteknolojide de gittikçe artan önemde kullanılacağı tahmin edilmektedir. Atıksulardan biyosorpsiyon ve biyobirikim yöntemleriyle ağır metal iyonlarının ve boyarmaddelerin giderimi ve geri kazanımı çalışmalarında çeşitli türdeki mayalar başarıyla kullanılmaktadır. Mayaların zorlu ortam koşullarında, örneğin, asidik ve toksik etkiye sahip ağır metal iyonu, boyarmadde içeren ortamlarda üreyebilme dayanıklılığı göstermesi ve bu tür maddeleri hücre içerisine alabilme özelliğinin bulunması (biyobirikim), mayaların diğer mikroorganizmalara göre üstünlüğünü göstermektedir. İlaç endüstrisinde aşı üretimi ve özellikle insan tedavi amaçlı proteinlerin, hormonların ve kan faktörlerinin üretiminde de mayalar kullanılmaktadır. Tek hücre proteinlerinin üretilmesi ve bunların farklı fonksiyonel gruplar içermesi önemli uygulamalardan sayılabilir.

Mayalar asidik pH'a sahip ve boyarmadde ve/veya ağır metal kirliliği içeren ortamlarda iyi üreyebilen mikroorganizmalardandır ve boyarmadde ve ağır metal iyonlarının biyobirikim yöntemiyle gideriminde başarıyla kullanılabilir. Hem boyarmadde hem de 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 (Açikel, 2003).

2.5. Biyobirikim

Biyobirikim, akışkan fazda çözülmüş halde bulunan belirli bileşenlerin aynı ortamdaki bir canlı hücre zarından geçerek, hücre içerisnde biriktirilmesi olayıdır. Canlı hücrelerin ürettiği ortamdaki belirli bileşenlerin hücre içine alımı, hücre içi ve dışı derişim farkından dolayı oluşan sürücü güç ile bu maddelerin hücre zarından geçerek, hücre içinde birikmesi şeklinde olmaktadır. Difüzyona sebep olan sürücü

güç kimyasal potansiyel olarak adlandırılır ve bu durum, hücre dışındaki kimyasal hücre içerisine hareket ettirir. Bu durum Gibbs serbest enerjisi ile ifade edilirse; $\Delta G = -RT \ln(C_{dış}/C_{iç})$ formülüne göre $C_{dış}$ derişimi her zaman büyük olacağından, bu işlemin sonucu daima eksi çıkacaktır. Yani ortamdaki maddelerin hücre zarından geçerek hücre içerisine girmeleri istemli bir durumdur. Canlı hücreler, bu maddelerin, ne kadar zehirli etkiye sahip olurlarsa olsunlar hücre içerisine girmelerine engel olamamaktadır. Ayrıca hücre zarında çok sayıda bulunan ve besin maddelerini hücre yüzeyinden alıp hücre içerisine transfer eden çok sayıda transfer edici enzimlerin (transferaz enzimleri), besinlerle beraber bu maddelerin de hücre dışından hücre içerisine transferini gerçekleştirdiği düşünülmektedir. Yani ortamdaki maddelerin hücre zarından kendiliğinden difüzyonu yanında, özellikle taşıyıcı enzimler yardımıyla kolaylaştırılmış difüzyon diye adlandırılan bu mekanizmayla da hücre içine alımı söz konusudur. Hücrenin toksik etkiye sahip ve dönüştüremediği bu maddeleri stoplazma içerisindeki boşluklarda (vakol) diğer hücre içi atıklarla beraber biriktirdiği düşünülmektedir. Hücre içerisine giren bu maddelerin bir kısmının ise yüklerine ve stoplazmanın izoelektrik noktasına göre stoplazmada yeralan bazı proteinlere veya yağ asitlerine bağlandığı varsayılmaktadır. Hücre içerisinde madde biyobirikimini etkileyen bir diğer faktör de o maddenin sudaki çözünürlüğüyle ilgilidir. Hidrofobik bir madde hücre içerisinde kalma eğilimindedir. Biyobirikimle ilgili önerilen başka bir mekanizma ise, hücre içerisine giren ve bir merkeze bağlanan maddenin dış ortamdaki aynı maddenin hücre içine aktarımını hızlandırdığı yönündedir. Aslında biyobirikim oldukça kompleks bir süreçtir ve bugüne kadar mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır

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. Yine bazı mikroorganizmalar eğer ortamda boyarmadde ve/veya ağır metal iyonları varsa bu iyonların toksik etkisine karşı direnç kazanabilir ve bu iyonları hücre içinde biriktirebilir ve bu özellik atıksu arıtımında kullanılabilir. Genellikle arıtım, yapay besin ortamlarında gerçekleşir. (Dönmez, 2002; Aksu, 2003).

Biyobirikimi etkileyen bazı önemli parametreler arasında ortam pH'ı, sıcaklık, substrat ve kirletici derişimleri, hücre sayısı ve yüzey alanı sayılabilir. Canlı hücrelerin optimum üreme pH'ı ve sıcaklığı daha yoğun ve hızlı hücre üremesine dolayısıyla da hücre zarından geçen madde derişiminin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca çözeltideki hidronyum iyonlarının hücre zarından geçerken oluşturdukları etki diğer maddelerin transferini de kolaylaştırmaktadır. Yüksek substrat ve kirletici derişimleri, itici güç ΔC 'nin artmasından dolayı madde aktarımını hızlandırmaktadır. Tam olgunluğa erişmiş hücrelerin yüzey alanı daha büyük ve hücre aktiviteleri üst seviyededir, dolayısıyla daha fazla madde transferine imkan tanımaktadır. Yine hücre sayısının fazlalığı birikim kapasitesinin artmasına olanak sağlar (Macaskie, et al 1989; Ting, 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).

Literatürde çeşitli boyarmadde ve ağır metal iyonlarının farklı türden alg, bakteri, maya ve küf mantarlarına tekli biyobirikimiyle ilgili bazı çalışmalara rastlanmaktadır (Ting et al., 1991; Macaskie, 1997; Aksu and Dönmez, 2000; Mejare et al., 2001; Lee and Wang, 2001; Dursun, et al., 2002).

Ağır metal iyonlarının biyobirikimiyle ilgili ilk çalışma, Ting ve arkadaşları (1991) 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, hücresel 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., 1991)

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 bakır(II); 321.5 mg/L başlangıç nikel(II) derişiminde ise 46.8 mg/g nikel(II) giderim kapasitesi değerleri elde etmişlerdir (Dönmez and Aksu, 2001).

Lee ve Wang (2001) yaptıkları bir çalışmada deniz kıyısında yaşayan mikroalgelere 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).

Aksu (2003), yaptığı bir çalışmada boyarmadde bulunan ortama alıştırılmış canlı *Saccharomyces cerevisiae* mayasının Remazol Blue, Remazol Black B ve Remazol Red RB boylarına biyobirikimini başlangıç pH'ı ve başlangıç boya derişiminin fonksiyonu olarak incelemiş, her üç boya için optimum pH değerini 3 olarak belirleyerek 380.1 mg/L başlangıç Remazol Blue derişiminde 84.6 mg/g; 410 mg/L başlangıç Remazol Black B derişiminde 88.5 mg/g; 324.4 mg/L başlangıç Remazol Red RB derişiminde ise 48.8 mg/g maksimum biyobirikim kapasitesi değerleri elde etmiştir (Aksu 2003).

Dönmez ve Aksu (2005), ayrıca boyarmadde bulunan melaslı besin ortamına alıştırılmış canlı *C. tropicalis* mayasının Remazol Blue ve Remazol Black B boylarına biyobirikimini de yine başlangıç sakkaroz ve boya derişiminin fonksiyonu olarak incelemişler, sakkaroz derişiminin 15 g/L'ye kadar artmasıyla mikroorganizma derişimi ve biyobirikim kapasitesi değerlerinin arttığını gözlemişler ve 1000 mg/L başlangıç Remazol Blue derişiminde 167.5 mg/g;

1000 mg/L mg/L başlangıç Remazol Black B derişiminde ise 163.3 mg/g özgül giderim kapasitesi değerleri elde etmişlerdir (Aksu and Dönmez, 2005).

Literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde, genellikle tek bileşenli metal veya boyarmadde biyobirikim çalışmalarının öne çıktığı ve düşük metal iyonu/boyarmadde derişimlerinde ve yapay besin ortamlarında çalışıldığı görülmektedir. Tez çalışmasında literatürde rastlanmayan farklı bir boyarmadde (Remazol Turkuaz Blue G) ve boyarmaddenin içerdığı metal iyonu (bakır(II)) ile melas katılmış besin ortamlarında tekli ve ikili Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim çalışmalarının gerçekleştirilmesinin literatüre önemli bir katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

2.6. Tutuklanmış Mikroorganizmalar

Katalizör özelliği taşıyan aktif enzimlerin ve mikroorganizmaların, özelliklerini geliştirme ve endüstride kullanılabilme olanaklarını artırmak amacıyla inorganik ya da organik taşıyıcılarda çeşitli yöntemlerle hapsedilmesi ve bağlanması işlemine tutuklama (immobilizasyon) denir (Çetin, 1983). Tutuklanmış mikroorganizmalar ve enzimler tıpkı heterojen katalizörler gibi ortamdaki kolaylıkla ayrılarak daha saf ürün elde edilmesine ve kendilerinin arka arkaya birçok kez kullanılabilmesine olanak verebilmektedir. Ayrıca bu yolla enzimlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri de olumlu yönde değiştirilebilmekte ve teknolojik işlemlere uyumlulukları artırılabilir. Biyokatalizör olarak hücrelerin tutuklanması, enzimlerin tutuklanması kadar bilinen bir yöntemdir. Son yıllarda tutuklanmış enzimler yerine tutuklanmış mikroorganizmaların kullanımı tercih edilmektedir. Bunun temel nedeni mikroorganizmaların zaten birer enzim deposu oluşu ve birçok enzimin temelini mikroorganizmaların oluşturmasıdır. Tutuklanmış mikroorganizmalar ile yapılan çalışmalar yaklaşık yıllardır sürmekte ve bu yöntemler, amino asitler, organik asitler ve sirke üretimi ile atıksu arıtımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Norton and D'Amore, 1994). Tutuklanmış hücrelerin tutuklanmış enzimler yerine endüstriyel biyokatalizör olarak kullanılmasının ekonomik oluşu yanında daha başka avantajları da vardır. Bu yolla pahalı enzim saflaştırma ve izolasyon basamakları ortadan kalkmış olur (Cheetham et al., 1979). Ayrıca tutuklanmış mikroorganizma içinde bulunan çok çeşitli enzimler hormon, sakkarit, amino asit,

alkaloid ve makromoleküler yapıların sentezinin katalitik verimini artırır (Gemeiner, 1992). Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinin üstünlükleri şöyle sıralanabilir.

- Mikroorganizmalar, inert bir desteğe canlıyken tutuklanırsa hücrelerin tüm biyolojik fonksiyonları korunur. Ayrıca duraklama ya da üreme evresinde tutuklanmış hücrelerin tekrar kullanılabilme kapasitesi birçok reaktör türünde tekrarlanabilir veya sürekli prosesleri mümkün kılar.
- Hücreler tutuklanarak çevre koşullarına karşı korunurlar ve hücre için uygun çevre koşulları elde edilir.
- Tutuklanmış hücre yoğunluğu serbest halde bulunan hücre yoğunluğundan daha fazla olduğundan tutuklanmış hücre kullanımı ile daha yüksek reaksiyon hızlarına ulaşılır.
- Tutuklama işlemi sonucu, hücreler reaksiyon sisteminden uzaklaştırılarak, ürün kolaylıkla tepkime kabından uzaklaştırılır.
- Yüksek seyrelme hızlarında hücre silinmesi problemi önlenmiş olur.
- Tutuklanmış mikroorganizmaların çok kolay yollarla geri kazanılarak, tekrar kullanımı sağlanır.
- Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinde kontaminasyona çok sık rastlanmaz. Böylece mikroorganizmaların mutasyona uğramaları engellenerek genetik kararlılık sağlanmış olur.
- Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinin denetimi kolaydır (Shuler and Kargı 1992; Bülbül, 1995).

Bu avantajların yanında tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinin bazı dezavantajları da mevcuttur:

- Tutuklama sırasında zamanla hücrelerin katalitik aktiviteleri azalabilir.
- Tutuklanmış tanecik içinde mikroorganizmanın büyümesi aktiviteyi düşürür.
- Yaşayan hücrelerin üremesi ve gaz çıkışı bazı tutuklanmış matriks sistemlerinde mekanik parçalanma gibi önemli problemler doğurur.
- Tutuklanmış yaşayan mikroorganizmalarda farklı metabolik sistemler sebebiyle, istenen metabolik reaksiyonların yanında istenmeyen reaksiyonlar da oluşabilir.

- Tutuklanmış sistemlerde en önemli problem, difüzyon kısıtlamalarıdır. Bunu en aza indirmek için, sisteme en uygun tutuklama yöntemi seçilmelidir.
- Bazı durumlarda mikroçevre koşullarının kontrolü, sistemin heterojen olması sebebiyle zordur (Rosevear, 1984; Shuler and Kargı, 1992).

2.6.1. Tutuklama yöntemleri

Tutuklama işlemi sırasında mikroorganizmanın enzim yapılarında olumsuz gelişmelerin olmamasına ve fizyolojik özelliklerine dikkat edilmeli, substrat için tanecik içine difüzyonu da göz önüne alınarak tutuklama yöntemleri belirlenmelidir. Mikroorganizmaların tutuklanmasında kullanılan yöntemler kimyasal ve fizikokimyasal olarak gruplandırılabilir.

Kimyasal tutuklama yöntemleri

a-Kovalent bağlama

Bu yöntemle enzimler ve mikroorganizmalar çeşitli taşıyıcılara (genellikle organik polimerlere) kovalent bağlarla bağlanırlar ve daha çok enzimlerin tutuklanmasında kullanılan bir yöntemdir. Kovalent bağlar, adsorpsiyon kuvvetlerinden daha güçlü ve daha karardır. Hücre içindeki fonksiyonel gruplar genellikle kovalent bağlanma için uygun değildir. Bağlanma yüzeyleri glüteraldehit, karbodiamin ve siyanojen bromür gibi bazı özel bağlayıcı kimyasallar ya da reaktif gruplarla aktif hale getirilmelidir. Bu reaktif gruplar ise hücreler için zehir etkisi yapabilmektedir. Titanyum, zirkonyum oksit, karbodiamin ve agaroz gibi bazı organik veya inorganik maddeler kovalent bağlama için, fonksiyonel gruplara sahip destek maddeleridir (Çetin, 1983; Shuler and Kargı, 1992).

b-Kimyasal çapraz bağlama

Bu yöntemle hücreler bis-diazobenzidin-2,2 disülfonik asit, diizotiyosiyanatlar ve glüteraldehit gibi bifonksiyonel özellikteki ajanlarla fiziksel ve kimyasal çapraz bağlanarak polimerize edilirler. Kimyasal çapraz bağlamada, hücreler çift fonksiyonlu bir madde ile muamele edilip, üç boyutlu bir örgü oluşturulur. Fiziksel çapraz bağlamada ise hücrelerin karşılıklı yapışma kuvvetlerinden yararlanılarak,

topaklaşması esas alınır. Bu yoldan elde edilen tutuklanmış enzimler jelatinimsi özellik gösterdikleri için çoğu kez kullanılmalarında güçlükler ortaya çıkmaktadır (Çetin, 1983; Klein and Lee, 1978, Shuler and Kargı, 1992).

Fizikokimyasal tutuklama yöntemleri

a-Adsorpsiyon

Tutuklama işleminde kullanılan en eski, basit ve ucuz yöntemdir. İlk kez Nelson ve Griffin invertaz enzimini aktif kömür üzerinde adsorbe ederek özelliklerini incelemişlerdir. Bu yöntem enzimlerin ve hücrelerin gözenekli katı bir desteğe tutunması ilkesine dayanır. Yüzeyde kısıtlı miktarda hücre tutunabilmesi ve bağların zayıf oluşu yöntemin dezavantajlarıdır. Bağlar basit Van der Waal's kuvvetleri ve hidrofobik etkileşim kuvvetlerinin oluşturduğu bağlar olabileceği gibi, güçlü iyonik bağlar da olabilir. Bu yöntemde iyon değiştiriciler ve polifenolikler gibi sentetik veya biyolojik kkenli destek maddeleri kullanılabilir (Çetin, 1983; Rosevear, 1984, Shuler and Kargı, 1992).

b- Mikroapsülleme

Bu yöntemde hücrelerin çevresinde çapı 1 µ ya da daha büyük (genellikle 5-300 µ) olan polimer yapıları zarlar oluşturulur. Kapsül zarı enzimlerin çözeltiliye geçmelerini önler. Zarın geçirgenliği reaksiyona girecek küçük moleküllü substratlar ile oluşan ürünlerin kolaylıkla geçmesine elverişli düzeyde olmalıdır. Birçok polimer, kapsül zarı olarak kullanılabilir. Bunlardan bazıları; naylon, polistiren, akrilat ve poliester membranlardır (Çetin, 1983; Shuler and Kargı, 1992).

c- Polimer jele tutuklama

Bu yöntemde hücreler, yapay ya da doğal polimerlerdeki kafesler içerisine sokularak tutuklanmaktadır. Bu amaçla en çok kullanılan polimer, poliakrilamittir. Polimerik tanecikler, substratın ve ürünün taneciğinin içine girip çıkabilmesini sağlayacak şekilde, substrat ve ürün molekül boyutundan büyük, hücre boyutundan küçük gözenek büyüklüğüne sahip olmalıdır. Böylece substrat ve

ürünler, gözenekli polimer ağı içinde rahat hareket edebilmekte, mikroorganizmalar ise dışarı çıkamamaktadır. Sonuç olarak, etkin tutuklama materyalinin seçimindeki en önemli faktörler, materyalin moleküler boyutu ve yapısı ile matriks içine ve dışına difüzleneren substratla ürünün boyutudur. Bu tutuklama yöntemi için kullanılan destek maddeleri arasında gözenekli polimerler (agar, aljinat, poliakrilamid, jelatin), gözenekli metaller, poliüretan, siliksjel, polistiren yer alır.

i-Çökeltme ile jel oluşumu

Bu yöntemle hücreler, polimer çözeltisi içine dağıtılır ve polimer pH, sıcaklık, çözücü ve tuz derişimi gibi parametrelerin değiştirilmesi yoluyla çöktürülür. Polimerin başlangıç çözeltisi, organik çözücü ya da su-çözücü karışımı ile hazırlanmalıdır. Alkol ve aseton su ile karışabilen çözücülere örnektir. Bu yöntemde kullanılan polimerler; polistiren, selüloz triasetattır. Mikroorganizmaların çözücülerle direkt teması aktifliğin kaybolmasına ve hücrelerin ölümüne sebep olabilir.

ii- Polikondenzasyon

Polikondenzasyon tepkimeleri sonucu, yüksek kimyasal ve mekanik kararlılığa sahip kovalent ağlar oluşur. Fonksiyonel gruplar genellikle, hidroksi, amino, epoksi ve izosiyanat gruplarıdır. Yüksek sıcaklık, düşük ya da yüksek pH gibi çeşitli reaksiyon koşulları ve toksik fonksiyonel gruplar, hücre aktivitesini etkileyebilir (Shuler and Kargı, 1992).

iii- Çapraz bağ ile jel oluşumu

Bu yöntemde polimerik ağlar, vinil bir grup içeren monomerlerin çapraz bağlı kopolimerleriyle hazırlanır. Poliakrilamid jeller bu tür polimerlerdir.

iv- İyon değiştirme ile jel oluşumu

Bu yöntemde enzimler, elektrostatik çekim etkisi ile iyon değiştiriciler üzerinde tutulmaktadır. Suda çözünen bir polielektrolitin bir tuz çözeltisi ile karıştırılması sonucu elde edilir. Katılma bu bileşenlerin reaksiyonu sonucu meydana gelir.

Sıcaklığın düşmesi sonucu jelleşme tamamlanır. Tepkime tersinir olduğundan bu gruptaki jelleri, jel yapısını bozacak iyonlardan korumak gerekir. Ayrıca tutuklanmış tanecikler yumuşak ve mekanik olarak dayanıksızdır. İyonik jeller kovalent bağlarla kararlı hale getirilir. Aljinatlar iyon değiştirme ile jel oluşturularak mikroorganizma tutuklanmasında kullanılan polimerlerdir (Shuler and Kargi, 1992).

2.6.2. Tutuklama ajanlarından aljinatlar

Sodyum, kalsiyum ve magnezyum tuzları şeklinde bulunan aljinatlar, aljinik asitin tuzlarıdır ve *Phaeophyceae* kahverengi alginden üretilir. Aljinik asit, (1-4) glikozidik bağlarıyla bağlı β -D-manuronik asit ve α -L-gluronik asitin bir kopolimeridir.

Aljinat jellerin sertliği, molekül ağırlığı, polimer derişimi ve manuronat/gluronat oranına bağlıdır. Manuronat oranı yüksek polimerler çok zayıf ve bulanık jeller, gluronat oranı yüksek polimerler oldukça kararlı, saydam jellerdir. Tutuklama işleminde kullanılacak aljinat seçiminde monomer bileşimi, zincir düzeni ve gluronat bloklarının uzunluğu dikkate alınırsa iyi sonuçlar elde edilir. Aljinatların yarı ömrü poliakrilamid ve karajen gibi diğer tutuklama ajanlarına göre 15 kat fazladır. CO₂ kabarcıkları aljinat taneciklerden yapıyı bozmayacak şekilde çıkabilir.

Sıkıştırma deneyleri sonucu atmosferik basınç referans olarak alınarak çeşitli polimerik jeller için bir adet jel taneciğın deforme olmadan dayanabildiği maksimum kuvvet Çizelge 2.1'de sunulmuştur. Diğer polimerik jellere göre, aljinatların oldukça yüksek kuvvete bozunmadan dayanabildiği görülmektedir. (Kierstan and Bucke, 1977; Klein and Lee, 1978; Bucke, 1987; Gemeiner, 1992; Bülbül, 1995).

Çizelge 2.1. Çeşitli polimerik jeller için bir tane tutuklanmış taneciğın bozulmadan dayanabildiği maksimum kuvvet

Polimer	Bağıl Kuvvet
Poliakrilamid	10
Karajen	10
Aljinat	100-800
Epoksit	600-1000
Polistiren/Divinil benzen reçine	≤900

2.6.3. Kalsiyum aljinat jele mikroorganizma tutuklanması

Mikroorganizmaların aljinata tutuklanmasında sodyum aljinat ve mikroorganizma çözeltisi ile yapılan polimer ağı için Ca^{+2} gibi iki değerlikli katyonlar kullanılır. Na^{+} ile Ca^{+2} iyonlarının yer değiştirmesi sonucu kalsiyum aljinat polimer tanecikler oluşur. Bunun için Ca^{+2} iyonları içeren inorganik tuzlar sodyum aljinat ile temas ettirilir. Kullanılan tuzlardan bazıları kalsiyum klorür, kalsiyum sitrat ve dikalsiyum fosfattır.

Aljinatin Ca^{+2} ile jelleşmesi kalsiyum iyonlarının gluronat bloklarına bağlanması ile gerçekleşir. Jellerin kararlı, direncinin fazla olması için aljinatin yüksek miktarda gluronat blok içermesi gerekir. Yüksek molekül ağırlıklı sodyum aljinat düşük derişimlerde kullanıldığında en başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Basit ve hızlı olan yöntemin bazı dezavantajları da mevcuttur. Kalsiyum aljinat jeller K^{+} , Mg^{+2} , PO_4^{-3} iyonlardan fazlaca etkilenir. Tutuklanan tanecik türüne göre jel içinde oksijen kısıtlanması olması da yerine göre avantaj ya da dezavantaj olabilir (Kierstan et al., 1982; Tanaka, 1984; Gemeiner, 1992).

2.7. Çalışılan Sistemlerin Analizi

Tez çalışmasında kesikli ve sürekli sistemlerle biyobirikim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kesikli sistemde serbest hücre çalışmalarında hem mikroorganizmanın üremesi hem de biyobirikiminin zamanla değişimi takip edilmiştir. Tutuklanmış hücreler ile kesikli ve sürekli sistemde yapılan çalışmalarda ise sadece biyobirikimin zamanla değişimi incelenmiştir.

2.7.1. Kesikli Sistem

Kesikli sistemde zamanla üreme ortamındaki mikroorganizma miktarında artış gözlenir. Mikroorganizmanın üremesine bağlı olarak da substrat tüketimi gerçekleşir. Üreme mikroorganizmanın sayısal artışı ya da kütleli artışı şeklinde olur ve aşağıdaki denklemle ifade edilebilir (Kargı, 1993).

Besin maddeleri+Mikroorganizma hücreleri→Ürünler+Yeni mikroorganizma hücreleri

Kültüre alınan mikroorganizmaların sabit pH, sıcaklık, iyon kuvveti ve basınç gibi dış koşullar altında belirli substrat derişiminde gelişme ve üremeleri çeşitli evrelerden geçer. Mikroorganizmaların üreme evreleri:

1. Gelişme veya gecikme evresi
2. Logaritmik veya üstel üreme evresi
3. Duraklama evresi
4. Sabit evre
5. Ölüm evresi

Gelişme veya gecikme evresi

Belirli besin ortamına ekilen mikroorganizma yeni ortama uyum sağlayıp çoğalmaya başlayıncaya kadar geçen süreye “gelişme” ya da “gecikme” evresi (lag phase) adı verilir. Bu dönemde, besin ortamının bileşimi ve ortam şartlarına göre organizmaları iç yapısında bazı değişiklikler olur. Yeni enzimler üretilir, bazı enzimlerin üretimi durur. Ekonomik yönden bu sürenin kısaltılması büyük yararlar sağlar. Bunun için de yüksek derişimde aktif bir hücre kütlesi aşısı olarak kullanılmalı, sıcaklık ve pH gibi ortam şartları uygun olmalı ve ortamda toksik özellik gösterebilecek madde bulunmamalıdır. Bu evredeki hücre sayısında hemen hemen hiçbir artış gözlenmemektedir (Pekin, 1980, Kargı, 1993).

Logaritmik veya üstel üreme evresi

Mikroorganizma derişimi belli bir düzeye ulaşıncaya üstel üreme evresine varılır. Ortama adapte olan organizmalar, bu dönemde maksimum hızla büyürler ve bütün hücre bileşenleri aynı hızla büyüdüklerinden ortalama hücre bileşimi sabit kalır. Bu evrede mikroorganizmaların canlı, genç ve dinç olduğu kabul edilir ve ölüm yok sayılır. Hücrelerin kütlesi, zamanla üstel olarak artar ve büyüme hızı besin maddesi derişiminden bağımsızdır. Bu evrede ortamda inhibe edici ürünler de oluşabileceği için mikroorganizmanın ideal ve maksimum derişimine erişilemeyebilir.

Duraklama Evresi

Logaritmik evreden sonra mikroorganizmanın yaşlanması ve ölüm olayının belirginleşmesi nedeni ile çoğalmada yavaşlama yani logaritmik evreye kıyasla

üreme hızında azalma gözlenir. Bu evreye “duraklama” evresi adı verilir (Pekin, 1980).

Sabit evre

Bu evrede kimi mikroorganizma ürer, kimileri ölür ve bazıları da üremeden yaşamlarını sürdürür. Bu üç etmen birbirini dengelediği için mikroorganizmanın derişiminde zamanla net bir artma ya da azalma olmaz. Sabit evrede, toplam hücre kütlesi sabit kalmakla birlikte canlı ve aktif hücre derişimi düşer. Dış ortamda da yeteri kadar besin maddesi kalmadığından organizmalar hücre içi kaynakları tüketirler. Bu dönemi geciktirebilmek için toksik maddeler ortamdaki uzaklaştırılmalıdır (Pekin, 1980; Kargı, 1993).

Ölüm evresi

Mikrobiyal kinetiğin son evresi olan bu evrede mikroorganizmanın ölüm hızı arttığı için zamanla derişiminde azalma gözlenir. Ölme hızı üreme hızına oranla oldukça fazladır. Bu nedenle bu evreye “ölüm” evresi adı verilir. Ölüm fazı başlamadan önce, hücreler taze besin ortamına aktarılırsa yeniden büyüyebilirler (Pekin, 1980).

2.7.2. Sürekli Sistem

Biyoteknolojik proseslerde kesikli düzende çalışan reaktörlerin yanısıra sürekli düzende çalışan kolon tipi reaktörlerin tutuklanmış mikroorganizmalarla kullanımı da oldukça yaygındır. Dolgulu kolon reaktörler, büyük hacimli atıksu arıtımında sürekli kullanılabilmesi, arıtılmış suyun sistemden kolaylıkla ayrılabilmesi, sistem denetiminin kolay olması bakımından oldukça avantajlı sistemlerdir. Bu tür sistemler, kesikli sistemlere nazaran daha karmaşıktır (Gönen, 2000).

3. DENEY SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMLANMASI

3.1. Kesikli Sistem

3.1.1. Serbest maya hücrelerinin boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içermeyen ve içeren ortamlarda üreme kinetiği

3.1.1.1. 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, 1980; Kargı, 1992).

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

t=0 anında $X=X_0$, 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 (sa^{-1})

X : Kuru mikroorganizma derişimi (g /L)

t : Zaman (sa)'dır.

3.1.1.2. Boyarmadde ve metal iyonu içermeyen ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Kesikli sistemde substrat inhibisyonunun gözlenmediği durumda, özgül üreme hızı ile mikroorganizmanın üreme hızını kontrol eden besin maddesi (substrat) arasındaki ilişki Monod eşitliği ile verilir (Eş. 3.3) (Pekin, 1980; Kargı, 1992).

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_s + S} \quad (3.3)$$

Burada;

μ_m : Maksimum özgül üreme hızı (sa^{-1})

K_s : Doygunluk sabiti (g/L)'dir.

Eşitlik 3.3'ün doğrusallaştırılmış şekli Eş. 3.4 ile gösterilebilir:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{\mu_m} + \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S} \quad (3.4)$$

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

3.1.1.3. Boyarmadde ve metal iyonu içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

Besin ortamında boyarmadde veya ağır metal iyonu gibi mikroorganizmanın üremesini engelleyecek veya yavaşlatacak etkiye sahip maddelerin bulunması durumunda, bu maddelerin mikroorganizma özgül üreme hızı üzerinde gösterdikleri inhibisyon etkisi, literatürde tanımlanan tek ve iki bileşenli inhibisyon modellerine göre ifade edilmektedir (Pekin, 1980; Kargı, 1992).

Tek bir kirleticinin inhibisyona neden olduğu durumda bu bileşenin, mikroorganizmanın özgül üreme hızı üzerine gösterdiği inhibisyon etkisi literatürde yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon olarak sınıflandırılmıştır. Bu inhibisyonları ifade eden modeller Eş. 3.5, 3.6 ve 3.7'de verilmiştir (Pekin, 1980; Kargı, 1992).

Yarışmalı inhibisyon modeli:

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

Yarışmasız inhibisyon modeli:

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

Kısmi yarışmalı inhibisyon modeli:

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

Burada;

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

K_I : İnhibisyon sabiti (mg/L)'dir.

Her üç inhibisyon türünde de I derişimi arttıkça mikroorganizmanın üremesi azalmakta ve özgül üreme hızı değerleri düşmektedir (Pekin, 1980; Kargı, 1992).

3.1.1.4. İki kirletici türünü birlikte içeren ortamda büyüme kinetiğinin modellenmesi

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 de modellenmiş ve Eş. 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. Bu modeller ikili inhibisyonun türünü belirlemede ve birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitlerinin bulunmasında kullanılmaktadır (Pekin, 1980; Kargı, 1992).

İkili yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S \left(1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right) + S} \quad (3.8)$$

İkili yarışmasız inhibisyon modeli:

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

İkili kısmi yarışmalı inhibisyon modeli:

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S + S \left(1 + \frac{I_1}{K_{I1}} + \frac{I_2}{K_{I2}} \right)} \quad (3.10)$$

Burada:

I_1, I_2 : İnhibisyona neden olan birinci ve ikinci bileşenlerin derişimleri (mg/L),
 K_{I1}, K_{I2} : Birinci ve ikinci bileşene ait inhibisyon sabitleri (mg/L)'dir.

3.1.2. Serbest maya hücrelerinin boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içeren ortamlarda biyobirikim kinetiği

3.1.2.1. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı

Kesikli sistemde üstel üreme evresinde birim kuru mikroorganizma kütlesinin biriktirdiği kirletici derişiminin zamanla değişimi, mikroorganizmanın boyarmadde veya metal biyobirikim hızı olarak ifade edilir ve Eşitlik 3.11 ile verilir.

$$v = \frac{1}{X} \frac{dC_{tut}}{dt} \quad (3.11)$$

Burada;

C_{tut} :Üstel üreme bölgesinde mikroorganizma tarafından biriktirilen (tutulan) boyarmadde veya metal iyonu derişimi (mg/L)

X :Üstel üreme bölgesinde Δt aralığında elde edilen ortalama mikroorganizma derişimi (g/L).

v :Mikroorganizmanın boyarmadde veya metal biyobirikim hızı (mg kirletici/ g k. mo. sa)'dır.

3.1.2.2. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi

Kesikli sistemde üremenin sonunda elde edilen birim kuru mikroorganizma kütesinin biriktirdiği kirletici miktarı, mikroorganizmanın boyarmadde veya metal biyobirikim kapasitesi olarak tanımlanır ve Eşitlik 3.12 ile verilir.

$$q = \frac{C_{tut}}{X} \quad (3.12)$$

Burada;

X : Üremenin sonunda elde edilen maksimum mikroorganizma derişimi (g/L).

q : Mikroorganizmanın boyarmadde veya metal iyonu biyobirikim kapasitesi (mg kirletici/ g k. mo.)'dir.

3.1.2.3. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kinetiğinin modellenmesi

Biyobirikim ve üremenin paralel yürüdüğü sistemlerde biyobirikim (tutma) hızı ile özgül üreme hızı arasındaki doğrusal ilişki ilk olarak Luedeking-Piret (1959) tarafından türetilmiştir (Eşitlik 3.13). Bu eşitlik kirletici biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasında benzer bir ilişki kurmak üzere yeniden düzenlenerek Eşitlik 3.14 elde edilmiştir (Luedeking and Piret, 1959).

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \alpha \frac{\partial X}{\partial t} + \beta X \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial C_{tut}}{\partial t} = \alpha \frac{\partial X}{\partial t} + \beta X \quad (3.14)$$

Eşitlik 3.14'de eşitliğin her iki tarafı 1/X ile çarpılır ve eşitlik yeniden düzenlenirse, Eşitlik 3.15 elde edilir.

$$v = \alpha\mu + \beta \quad (3.15)$$

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

3.1.3. Tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içeren ortamlarda biyobirikim kinetiği

3.1.3.1. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı

Kesikli sistemde tutuklanmış mikroorganizma ile boyarmadde veya metal biyobirikim hızı hesabı için yine serbest mikroorganizmalarla boyarmadde veya metal biyobirikim hızı hesabında kullanılan Eşitlik 3.11'den yararlanılmıştır. Ancak buradaki X, sisteme tutuklanmış matriksle eklenen ve kesikli sistemde elde edilen maksimum kuru mikroorganizma derişimine eşdeğer kuru mikroorganizma derişimidir, dC_{tut}/dt ise $t=0$ anında C_{tut} 'a karşı t eğrisinin eğimidir.

3.1.3.2. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi

Kesikli sistemde tutuklanmış mikroorganizma ile boyarmadde ve/veya metal biyobirikim kapasitesi hesabı için yine serbest mikroorganizmalarla boyarmadde veya metal biyobirikim kapasitesi hesabında kullanılan Eşitlik 3.12'den yararlanılmıştır. Ancak buradaki X, sisteme tutuklanmış matriksle eklenen kuru mikroorganizma derişimidir.

3.2. Sürekli Sistem

3.2.1. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı

Sürekli düzende çalışan tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile doldurulmuş kolonda boyarmadde veya metal biyobirikim hızı Eş. 3.16 ile, tüketim yüzdesi ise Eş. 3.17 ile tanımlanmıştır.

$$v_k = (C_o - C) \frac{Q}{X_k} \left(\frac{60}{1000} \right) \quad (3.16)$$

v_k : Kolon boyarmadde veya metal biyobirikim hızı (mg kirletici/g k. mo.sa)

C_o : Kolon boyarmadde veya metal besleme derişimi (mg/L)

C : Kolon boyarmadde veya metal çıkış derişimi (mg/L)

Q :Hacimsel akış hızı (mL/dak)

X_k : Kolondaki toplam kuru mikroorganizma miktarı (g)

$$\% \text{ Tüketim} = \frac{C_o - C}{C_o} \times 100 \quad (3.17)$$

3.2.2. Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi

Dolgulu kolonda C_{tut} 'a karşı t eğrisinin altında kalan alan biyobiriktirilen boyarmadde veya metal iyonu miktarını vermektedir. Bu değerin kolondaki toplam kuru mikroorganizma miktarına bölümü ise Eşitlik 3.18'de verilen mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesini tanımlamaktadır.

$$q_k = \frac{\int_0^{t_\infty} Q C_{tut} dt}{X_k} \quad (3.18)$$

Burada;

q_k : Kolondaki boyarmadde veya metal iyonu biyobirikim kapasitesi (mg kirletici/g k. mo.)

Q : Besleme akış hızı (mL/dak),

t_∞ : Toplam akış süresi (dak) dir.

4. DENEY SİSTEMİ VE YÖNTEMLERİ

4.1. Mikroorganizma ve Üretim Yöntemi

Yapılan çalışmalarda Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nden temin edilen *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları kullanılmıştır.

Mayaların üretiminde karbon kaynağı olarak bir şeker endüstrisi atığı olan melas kullanılmış ve Ankara Şeker Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Şekerin kristallenme yolu ile elde edilmesiyle son ana şurup olarak geri kalan melas önemli miktarda şeker (sakkaroz) içerir. Ayrıca melas şeker dışı maddeler bakımından da zengindir. Melas yaklaşık % 50 sakkaroz, % 30 şeker dışı maddeler ve % 20 sudan oluşmaktadır. Şeker dışı maddelerin yaklaşık %10'unu ise kül teşkil etmektedir. Kül, melasın yanmasından sonra geri kalan anorganik maddedir. Geri kalan % 20 ise organik şeker dışı maddelerdir (Türkiye Şeker Fabrikaları Yayınları, 1971).

Mayaların üretimi için hazırlanan sıvı besin ortamları 10 g/L melas sakkarozu, 1 g/L amonyum sülfat ve 1 g/L potasyum dihidrojen fosfat içermektedir. Üreme çalışmaları için hazırlanan besin ortamları otoklav'da 15 dk süresince 121°C ve 2 atmosfer basınçta sterillenmiştir.

4.2. Mikroorganizmaların Boyarmadde ve/veya Metal İyonu İçeren Besin Ortamlarına Alıştırılması

Mayaların Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren ortamlara alıştırılması amacıyla, yukarıdaki besin bileşenlerini içeren ortama ilk olarak 25 mg/L

boyarmadde veya metal iyonu ilave edilerek mayaların bu ortamda üremesi sağlanmıştır. Bu kültür ortamı hem bu derişimi içeren deney sistemlerinde hem de 50 mg/L boyarmadde veya metal iyonu içeren besin ortamına mikroorganizmaların alıştırılması amacıyla kullanılmıştır. Bu şekilde aktarmalara devam edilerek, mayaların daha yüksek kirletici derişimlerine adaptasyonu sağlanmıştır (Dönmez and Aksu, 2001).

Mayaların Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamlara alıştırılması ise, kullanılacak kombinasyona göre o derişimleri içeren kirletici ortamlarına ayrı ayrı alıştırılmış 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. Mikroorganizmanın Kalsiyum Aljinat Jele Tutuklanması

Çalışmaların bir bölümünde *C. tropicalis* mayası, iyon değiştirme ile jelleşme temeline göre oluşturulan kalsiyum aljinat jele tutuklanarak kullanılmıştır. (Kierstan M. Et al, 1977; Cheetham et al, 1979; Kurnaz, 1984; Bucke, 1987; Keweloh et al., 1989; Bülbül, 1995). Tutuklama işleminde önce bir aljinik asit tuzu olan sodyum aljinattan, %2 lik sodyum aljinat çözeltisi hazırlanmıştır. Daha sonra zengin sıvı besi ortamında üstel üreme bölgesine kadar üretilen mikroorganizmalar 5000 devir/dak hızda santrifüjlenmiştir. 1 g yaş hücre/3 mL sodyum aljinat çözeltisi olacak şekilde hücreler sodyum aljinat çözeltisi ile karıştırılmıştır. Karışım düzgün küresel tanecikler oluşturabilmek için bir şırınga yardımıyla % 20 lik kalsiyum klorür çözeltisi içine damlatılmış, sodyum aljinat-mikroorganizma karışımı $CaCl_2$ çözeltisine damlatılarak kalsiyum iyonlarının, sodyum iyonları ile yer değiştirmesiyle kalsiyum aljinat jelin çökmesi sağlanmıştır. Böylece mikroorganizma hücreleri de kalsiyum aljinat jeli içine hapsolmuştur. Tutuklanmış hücreleri içeren kalsiyum aljinat taneciklerinin jel oluşumlarını tamamlayabilmeleri için en az 2 saat $CaCl_2$ çözeltisi içinde buzdolabında bekletilmiştir. Tutuklanmış mikroorganizmaların $CaCl_2$ çözeltisi içinde uzun süre saklanabildiği de gözlenmiştir.

Farklı delik çaplı şırınga iğneleri kullanılarak değişik tanecik büyüklüğünde tutuklanmış mikroorganizmalar elde etmek mümkündür. Tutuklanmış

mikroorganizmalar kullanılmadan önce 25 °C da Çizelge 4.1.'de verilen besin ortamında 48 saat aktifleştirilmiştir.

K^+ ve PO_4^{3-} iyonlarını içeren tuzlar kalsiyum aljinatı çözerek, tanecik içindeki mikroorganizmanın dışarı sızmasına neden olur. Taneciklerin besin ortamında bulunan bu tür tuzlardan etkilenecek çözünmelerini ve dayanıksız hale gelmelerini engellemek için aktiveleme kullanılan besin ortamına 0.05 M $CaCl_2$ ilave edilmiştir.

Çizelge 4.1. Tutuklanmış mikroorganizmaların aktive edilmesinde kullanılan besin ortamı

Bileşen	Miktar (g/L)
Melas sakkarozu	10.0
KH_2PO_4	0.01
K_2HPO_4	0.01

4.4. Deney Düzenekleri

4.4.1. Kesikli Sistem

Serbest ve tutuklanmış hücrelerle gerçekleştirilen deneysel çalışmalar 200 ml çalışma hacmine sahip 250 ml'lik steril erlenlerde, sabit sıcaklık ve 150 rpm karıştırma hızında çalışan çalkalayıcıda kesikli olarak gerçekleştirilmiştir.

Serbest hücrelerle yapılan deneyler, boyarmadde/metal iyonu içeren ve içermeyen besin ortamlarına alıştıırılarak üretilip üstel üreme evresine gelmiş mikroorganizma çözeltilisinden 2 ml aşu alınarak deney ortamına eklenmesiyle başlatılmıştır.

Tutuklanmış hücrelerle gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ise, serbest hücre ile yapılan deneylerde, 10 g/L sakkaroz derişiminde elde edilen maksimum mikroorganizma derişimine karşı gelecek şekilde yaş hücre miktarını içeren 2.5, 3.5 ve 4.5 mm ortalama çapa sahip partiküllerle gerçekleştirilmiştir.

4.4.2. Sürekli Sistem

Sabit akış hızı ve besleme substrat derişimi değişiminin boyarmadde/metal iyonu tüketim hız ve verimliliğine etkisinin incelenmesi amacıyla iç çapı 2 cm, boyu 27.5 cm olan pyrex camdan yapılmış bir dolgulu kolon reaktör (Şekil 4.1.) kullanılmıştır. Kolon, ortalama çapı 2.5 mm olan tutuklanmış mikroorganizmalarla doldurularak dolgulu yatak elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Sürekli düzende çalışan dolgulu kolon reaktör

4.5. Analiz Yöntemleri

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

4.5.1. Bakır(II) iyon derişiminin tayini

Tekli bakır(II) içeren deney ortamından alınan örnekteki biyobiriktirilmemiş bakır(II) derişimi, bakır(II) iyonlarının sodyum dietil ditiyokarbamatla yaptığı sarı-kahverengi

renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 460 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir (Ek 1) (Snell and Snell, 1959; Sandell, 1961; Aksu, 1988).

4.5.2. Remazol Turkuaz Blue-G derişiminin tayini

Deney süresince biyobiriktilmeden ortamda kalan Remazol Turkuaz Blue-G boyarmadde derişimi spektrofotometrik olarak, 627 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir (Ek 2).

4.5.3. Remazol Turkuaz Blue-G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda her bir kirletici derişiminin tayini

Remazol Turkuaz Blue-G-bakır(II) iyonlarını birlikte içeren deney ortamından alınan örnekteki Remazol Turkuaz Blue-G derişimi spektrofotometrik olarak, 627 nm'de absorbans okunarak; bakır(II) iyon derişimi ise 1-3.5 mg/L derişim aralığında atomik absorpsiyon spektrofotometresi (UNICAM 929) kullanılarak $\lambda=324.8$ nm'de absorbans değeri okunarak tayin edilmiştir.

4.5.4. Mikroorganizma derişimi tayini

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 (Ek3).

4.5.5. Sakkaroz derişimi tayini

Örnekteki sakkaroz derişimi g/L cinsinden, sakkarozun dinitrosalisilik asit ile verdiği turuncu-koyu kırmızı renkli kompleks yardımıyla spektrofotometrik olarak 575 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir (Forouchi et al., 1983) (Ek4).

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Tez çalışmasında, atıksularda sıklıkla rastlanılan ve Türk tekstil endüstrisinde en çok kullanılan reaktif boyarmaddelerden Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarının tekli biyobirikimi *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarıyla kesikli sistemde, ikili karışımlarının biyobirikimi ise serbest ve

aljinata tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla kesikli ve sürekli düzende çalışan dolgulu kolon reaktörde incelenmiştir.

Mikroorganizma tarafından boyarmadde ve ağır metal iyonlarının tekli ve karışımlarının biyobirikimi esnasında, her iki kirleticinin mikroorganizmanın üremesi üzerine yaptığı tekli ve ikili inhibisyon etkisinin de araştırılması gerekir. Kesikli sistemde serbest *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* maya hücreleri kullanılarak yapılan çalışmalar bu durum gözönüne alınarak planlanmış ve sırasıyla boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içermeyen melaslı besin ortamlarında mayaların üreme kinetiği incelenmiş, Remazol Turkuaz Blue G ve/veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında bu kirleticilerin mayaların üremesine inhibisyon etkisi araştırılmış daha sonra her bir maya için Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarının tekli biyobirikimi incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan en hızlı üreyen, bu iyonlara karşı en yüksek direnci gösteren ve en yüksek kapasitede Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biriktiren mayanın *Candida tropicalis* olduğu saptanmış ve en son olarak da Remazol Turkuaz Blue G-bakır(II) karışımlarının bu mayanın üremesi üzerine ortak inhibisyon etkisi ve bu iyonların biyobirikimi incelenmiştir. Kesikli sistem çalışmalarının son kısmı ve dolgulu kolon çalışmaları kalsiyum aljinat jele tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile gerçekleştirilmiş ve tekli Remazol Turkuaz Blue G, tekli bakır(II) ve ikili Remazol Turkuaz Blue G-bakır(II) karışımlarının biyobirikimi araştırılmıştır.

Çalışmaların ilk kısmında hiçbir kirleticiyi içermeyen besin ortamında mayaların özgül üreme hızına ve maksimum mikroorganizma derişimine başlangıç pH'ı ve başlangıç substrat (sakkaroz) derişiminin etkileri araştırılmış ve her bir mayaya ait kinetik sabitler Monod eşitliğinden bulunmuştur. Ortamda boyarmadde ve/veya metal iyonunun bulunması mikroorganizmaların üreme hızını yavaşlatarak inhibisyona neden olmaktadır. Tekli Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında, başlangıç pH'ının, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G/metal iyonu ve başlangıç sakkaroz derişimlerinin mayaların özgül üreme hızına ve maksimum mikroorganizma derişimlerine etkileri incelenmiş ve her bir bileşenin her bir maya üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılarak inhibisyon türü belirlenmiş ve inhibisyon sabitleri hesaplanmıştır. *C. tropicalis* mayası ile Remazol Turkuaz Blue

G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren melaslı besin ortamında, sabit kirletici derişiminde değişen diğer kirletici derişiminin mayanın özgül üreme hızına ve maksimum mikroorganizma derişimine ortak etkileri araştırılmış, boyarmadde ve metal iyonunun ortak inhibisyon etkisi modellenerek inhibisyon türü saptanmış ve her bir kirleticiye ait inhibisyon sabiti bulunmuştur.

Çalışmaların daha sonraki kısmında Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren besin ortamlarında her bir mayanın boyarmadde/metal iyonu biyobirikirme hızı ve kapasitesi başlangıç pH'ının, başlangıç kirletici ve başlangıç substrat derişiminin fonksiyonu olarak incelenmiş ve boyarmadde/metal biyobirikimi modellenerek model sabitleri bulunmuştur. Ayrıca *C. tropicalis* mayası için sabit substrat derişiminde Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamlarda her iki kirleticinin eşzamanlı biyobirikim çalışmaları, bir kirleticinin derişimi sabit tutulup, diğeri değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve her bir sisteme ait kinetik sabitler bulunarak, ortak iyon etkisi araştırılmıştır.

Kesikli karıştırmalı kap çalışmalarının ikinci kısmında, *C. tropicalis* mayası kalsiyum aljinat jele tutuklanarak, sabit substrat derişiminde; tanecik büyüklüğü, başlangıç boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin tekli ve karışım halinde mikroorganizmanın metal iyonu ve/veya boyarmadde biyobirikim kapasitesine etkileri incelenmiş ve sonuçlar serbest mikroorganizma için bulunanlar ile karşılaştırılmıştır.

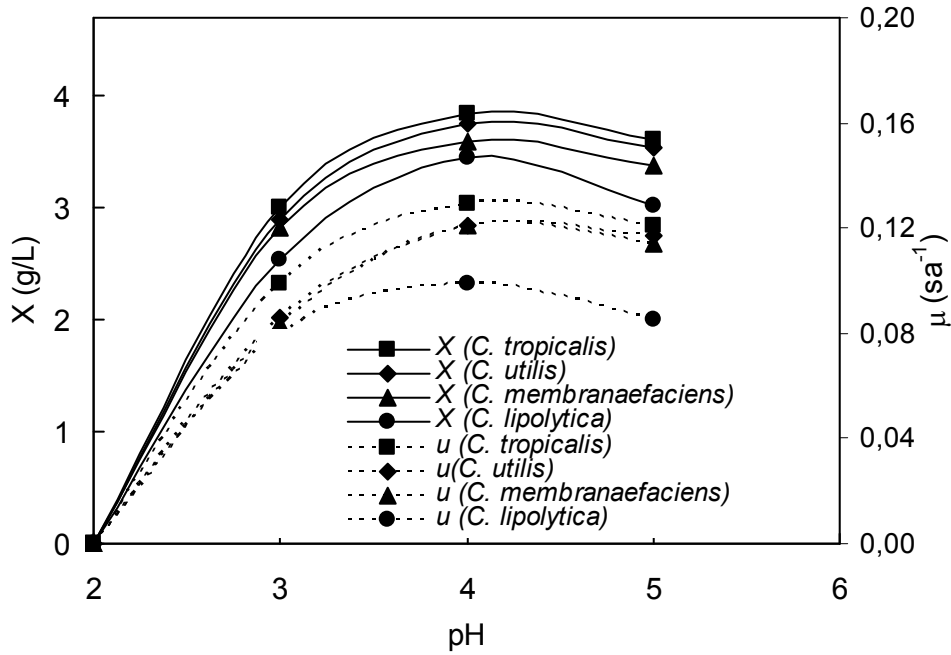
Çalışmaların son kısmında tutuklanmış *C. tropicalis* ile sürekli düzende çalışan dolgulu kolonda besleme akış hızının ve besleme boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin tekli ve karışım halinde tutuklanmış maya hücresinin biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

5.1. Serbest Maya Hücreleriyle Melaslı Besin Ortamında Yapılan Kesikli Sistem Çalışmaları

5.1.1. Boyarmadde veya metal iyonu içermeyen besin ortamında maya üreme kinetiğinin incelenmesi

5.1.1.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Ortam pH'ı mikroorganizmanın üremesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Başlangıç pH'ının her bir mayanın 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'de gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 5.1). Bu pH değerinde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde edilen özgül üreme hızları sırasıyla 0.129, 0.121, 0.120 ve 0.099 sa⁻¹, üreme sonrasında ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ise 3.85, 3.76, 3.59 ve 3.45 g/L'dir. Mayaların üreme hızları ve en yüksek hücre derişim değerleri karşılaştırıldığında *C. tropicalis*'in en hızlı ve verimli ürettiği söylenebilir.

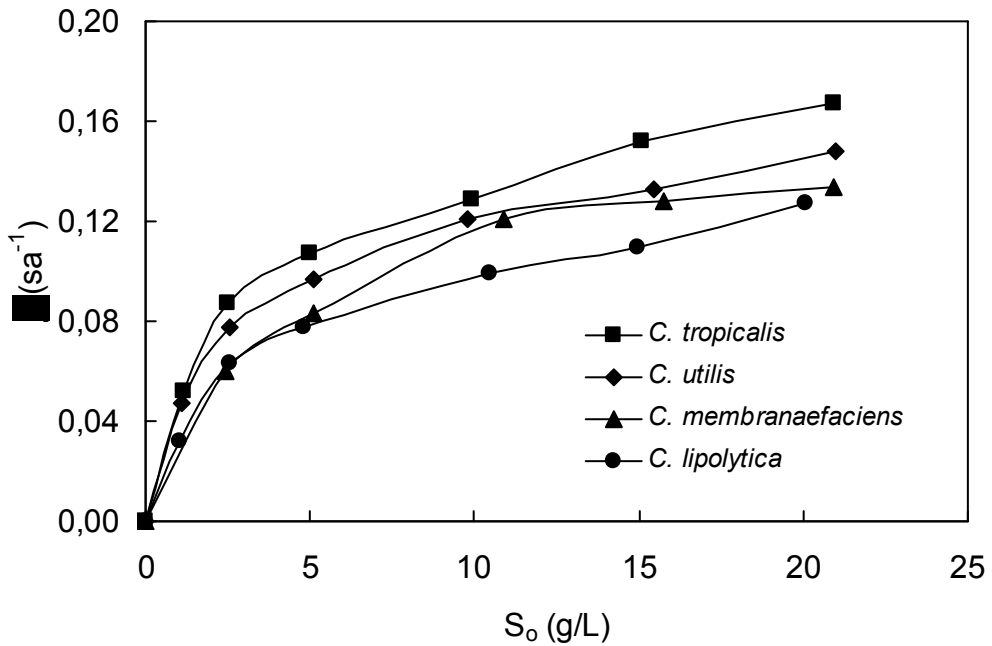


Şekil 5.1. Başlangıç pH'ının her bir mayanın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi. (T=25°C, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm).

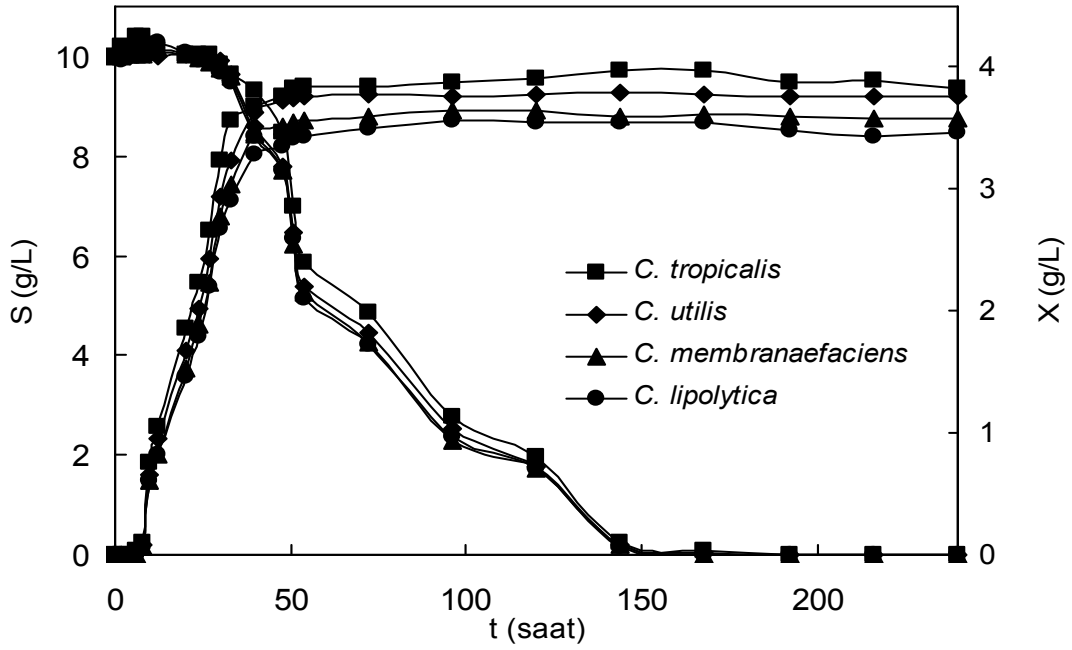
5.1.1.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Mikroorganizmanın üremesini doğrudan etkileyen ve büyümesini sınırlayan ana besin maddesi (substrat), karbon ve enerji kaynağı olarak kullandıkları şeker türü (glukoz, sakkaroz, fruktoz vs.) maddelerdir. Deneysel çalışmalarda, melas sakkarozu substrat olarak kullanılmış ve başlangıç sakkaroz derişiminin dört

mayanın özgül üreme hızına etkisi, 25°C sabit sıcaklıkta, sakkaroz derişimi 1-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve elde edilen eğriler Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekilden, her bir maya türü için başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin arttığı ve bu derişim aralığında substrat inhibisyonun gözlenmediği görülmektedir. Çizelge 5.1'de ise farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait özgül üreme hızları, elde edilen maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç sakkaroz derişiminin 1 g/L'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla her bir maya için elde edilen maksimum mikroorganizma derişimi değerlerinin ve üreme sürelerinin arttığı gözlenmektedir. Aynı çizelgeden 10 g/L sakkaroz derişiminde dört farklı maya türünün maksimum mikroorganizma derişimi değerleri ve üreme süreleri karşılaştırıldığında *C. tropicalis*'in 3.85 g/L maksimum mikroorganizma derişimi ve 49 saat üreme süresi ile diğer maya türlerinden daha yüksek mikroorganizma derişim değerine eriştiği ve daha kısa üreme süresine sahip olduğu söylenebilir. Şekil 5.3'de bütün mayalar için 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde elde edilen üreme ve sakkaroz tüketim eğrileri sunulmuştur. Şekilden mayaların üremelerini 49-59 saat arasında tamamladığı, yine *C. tropicalis*'in üremesinin diğer mayalara göre daha hızlı ve üreme veriminin daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin her bir mayanın özgül üreme hızı üzerine etkisi. (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.3. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde elde edilen üreme ve sakkaroz tüketim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.1. Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde edilen özgül üreme hızları, maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

<i>C. tropicalis</i>				
S_0 (g/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)	
1,1	0,052	0,77	33	
2,5	0,087	1,68	37	
5,0	0,107	2,51	42	
9,9	0,129	3,85	49	
15,1	0,152	5,18	55	
20,9	0,167	5,98	62	
<i>C. utilis</i>				
S_0 (g/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)	
1,1	0,047	0,65	36	

2,6	0,078	1,66	41
5,1	0,097	2,44	45
9,8	0,121	3,76	54
15,4	0,133	5,04	61
21,0	0,148	5,84	65
<i>C. membranaefaciens</i>			
S_o (g/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
2,5	0,06	1,56	43
5,1	0,083	2,30	48
10,9	0,120	3,59	57
15,8	0,128	4,82	64
20,9	0,134	5,71	69
<i>C. lipolytica</i>			
S_o (g/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
1,0	0,032	0,56	40
2,5	0,063	1,47	45
4,8	0,078	2,16	51
10,5	0,099	3,45	59
15,0	0,11	4,74	67
20,1	0,127	5,60	73

5.1.1.3. Kinetik sabitlerin bulunması

C. tropicalis, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için Monod eşitliğinin doğrusallaştırılmasıyla elde edilen Eşitlik 3.4'e göre çizilen $1/\mu$ 'ye karşı $1/S$ grafiklerinden bulunan mikroorganizmaların maksimum özgül üreme hızı (μ_m) ve doygunluk sabiti (K_s) değerleri Çizelge 5.2'de sunulmuştur. Her bir mayaya ait kinetik sabitlerden, *C. tropicalis*'in maksimum özgül üreme hızına sahip olduğu, *C. tropicalis* ve *C. utilis* mayaları için düşük sakkaroz derişimlerinde daha yüksek özgül üreme hız değerlerine ulaşılacağı gözlenmiştir.

Çizelge 5.2. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde maksimum özgül üreme hızı ve doygunluk sabiti değerleri

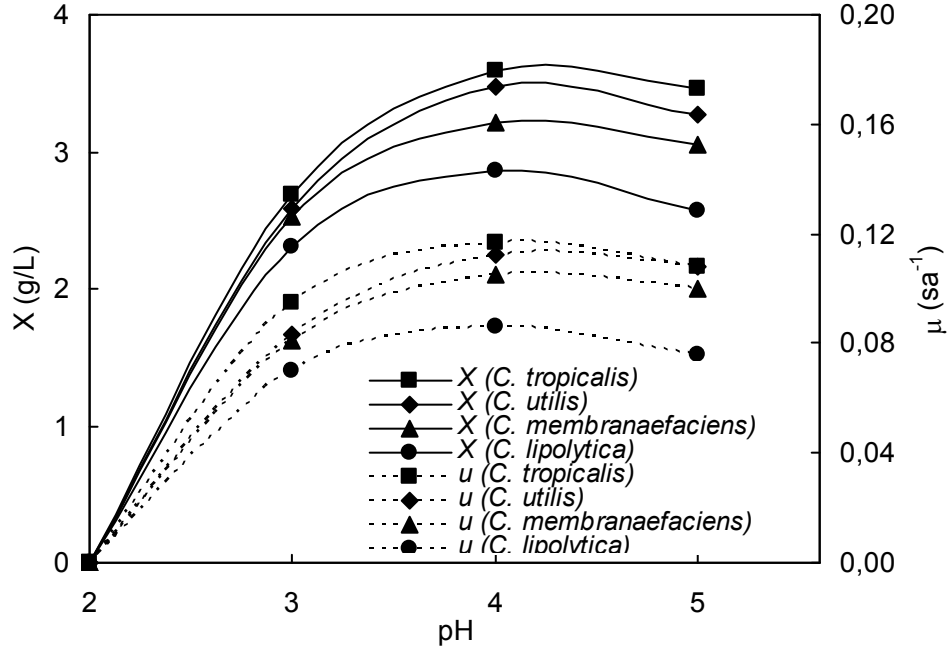
Maya türü	μ_m (sa ⁻¹)	K_s (g/L)	R^2
-----------	-----------------------------	-------------	-------

<i>C. tropicalis</i>	0,174	2,675	0.992
<i>C. utilis</i>	0,155	2,581	0.996
<i>C. membranaefaciens</i>	0,148	3,297	0,993
<i>C. lipolytica</i>	0,138	3,346	0,995

5.1.2. Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında maya üreme kinetiğinin İncelenmesi

5.1.2.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Remazol Turkuaz Blue G içeren melas ortamında da başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesini nasıl etkilediğinin bilinmesi daha sonraki çalışmalara ışık tutması açısından önemlidir. Bu amaçla 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında, başlangıç pH'ının her bir mayanın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimine etkisi pH 2.0-5.0 aralığında incelenmiş ve hiçbir kirleticiyi içermeyen besin ortamında bulunan sonuçlara benzer olarak yine dört farklı maya türü içinde pH 2.0'de üreme gözlenmemiş, pH 4.0'de ise maksimum özgül üreme hızı ve mikroorganizma derişim değerleri elde edilmiştir (Şekil 5.4). Ancak boyarmadde içeren ve içermeyen ortamlarda bulunan optimum üreme pH değerleri aynı olsa da, boyarmadde içeren ortamda elde edilen maksimum özgül üreme hız ve mikroorganizma derişim değerlerinin bütün mayalar için daha düşük olduğu da göz ardı edilmemelidir. Yine *C. tropicalis* mayasıyla elde edilen özgül üreme hız ve verim değerlerinin diğer mayalardan daha yüksek olduğu da gözden kaçırılmamalıdır.

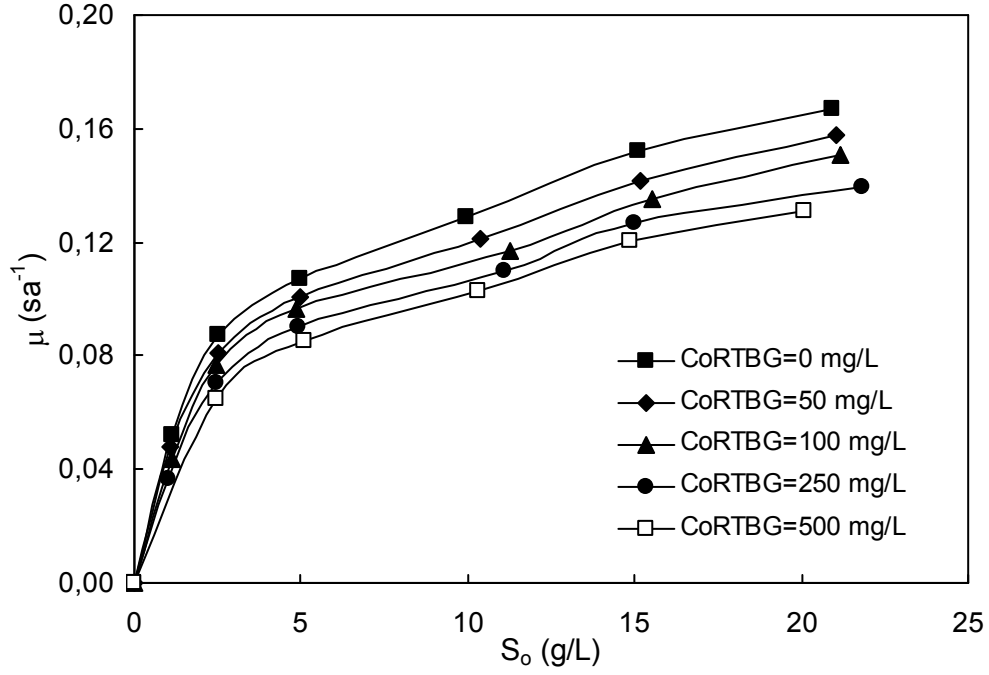


Şekil 5.4. 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında başlangıç pH'ının her bir mayanın üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T=25°C, S₀=10 g/L, C_{0RTBG}=100 mg/L, K. H. 150 rpm)

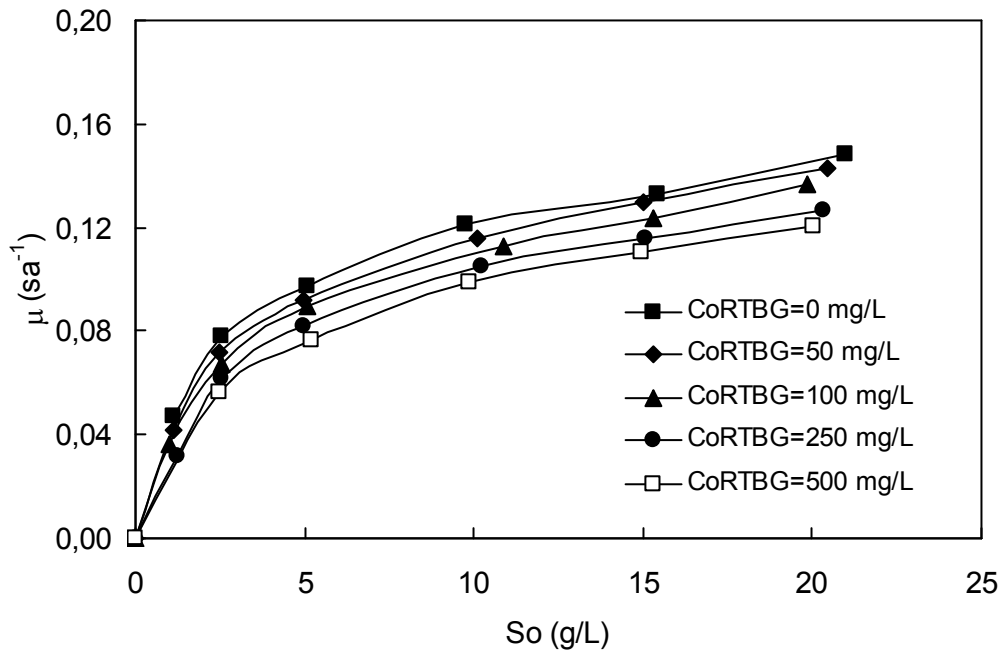
5.1.2.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Her ne kadar mayalar üreme ortamındaki boyarmadde iyonlarına karşı dirençli olsalar da, bu iyonlar mikroorganizmanın üremesini doğrudan etkileyen ve büyümesini sınırlayan inhibitörler olarak etki ederler. Bu durumda başlangıç sakkaroz derişiminin mikroorganizmanın özgül üreme hızına etkisi incelenirken, boyarmadde iyonlarının neden olduğu inhibisyonun da araştırılması gerekmektedir. Ancak her bir sabit inhibitör derişiminde başlangıç substrat derişimi değiştirilerek boyarmadde iyonlarının neden olduğu inhibisyonun modellenmesi ve inhibisyon türünün belirlenmesi mümkündür. Bu amaçla 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, her bir mayanın üremesine başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi 1.0-20 g/L aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.5-5.8'de sunulmuştur. Şekillerden, çalışılan her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin arttığı, ancak Remazol Turkuaz Blue G içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, boyarmadde derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini az da olsa azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.3-5.6'da ise her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen her bir

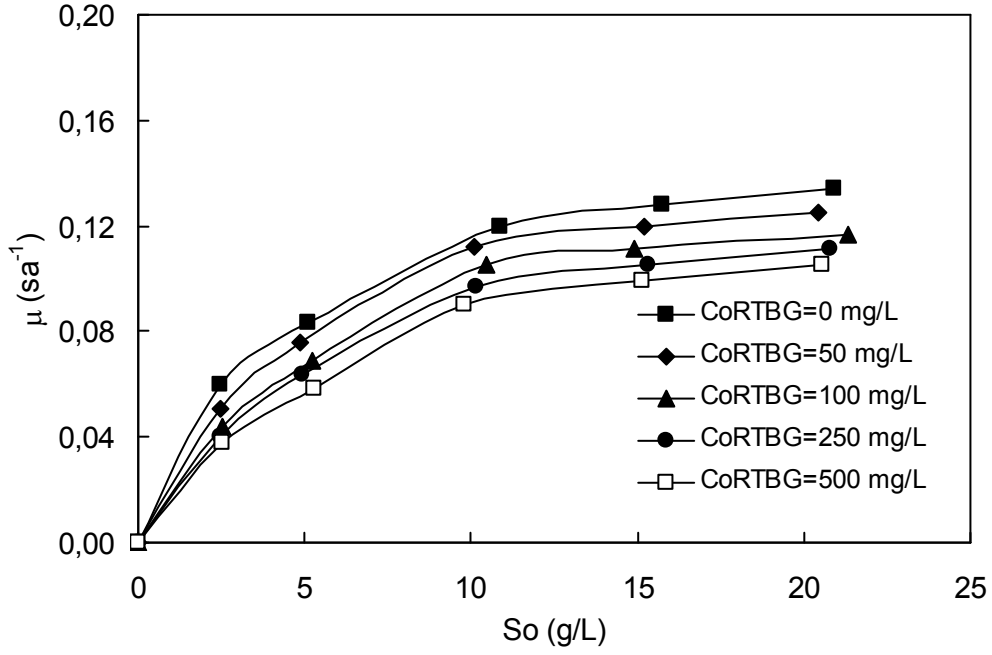
mayanın özgül üreme hızları, üreme sonucunda ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri sunulmuştur. Çizelgelerden başlangıç sakkaroz derişiminin 1'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla 0'dan 500 mg/L'ye kadar artan bütün Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde, dört farklı maya türü için de özgül üreme hızının, maksimum mikroorganizma derişiminin ve üreme süresinin arttığı, Remazol Turkuaz Blue G derişimindeki artışın ise bu değerleri düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G ve 2.5 g/L başlangıç sakkaroz derişimi içeren melas ortamında özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.077 sa⁻¹, *C. utilis* için 0.068 sa⁻¹, *C. membranaefaciens* için 0.044 sa⁻¹, *C. lipolytica* için 0.044 sa⁻¹, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 1.45 g/L, *C. utilis* için 1.47 g/L, *C. membranaefaciens* için 1.31 g/L, *C. lipolytica* için 1.24 g/L, ve üreme süreleri *C. tropicalis* için 43 saat, *C. lipolytica* için 50 saat, *C. membranaefaciens* için 47 saat, *C. lipolytica* 48 için saat iken, aynı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişimi 10 g/L'ye arttıldığında özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.117 sa⁻¹'e *C. utilis* için 0.113 sa⁻¹, *C. membranaefaciens* için 0.105 sa⁻¹, *C. lipolytica* için 0.086 sa⁻¹, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.60 g/L'ye, *C. utilis* için 3.48 g/L'ye, *C. membranaefaciens* için 3.21 g/L'ye, *C. lipolytica* için 2.86 g/L'ye, üreme süreleri ise *C. tropicalis* için 54 saate, *C. utilis* için 63 saate, *C. membranaefaciens* için 59 saate ve *C. lipolytica* için 62 saate çıkmıştır. Şekillerden ve çizelgeden *C. tropicalis*'in çalışılan bütün sakkaroz ve boyarmadde derişimlerinde diğer mayalardan daha hızlı ve daha kısa sürede ürediği ve daha yüksek üreme kapasitesine sahip olduğu da gözlenmektedir.



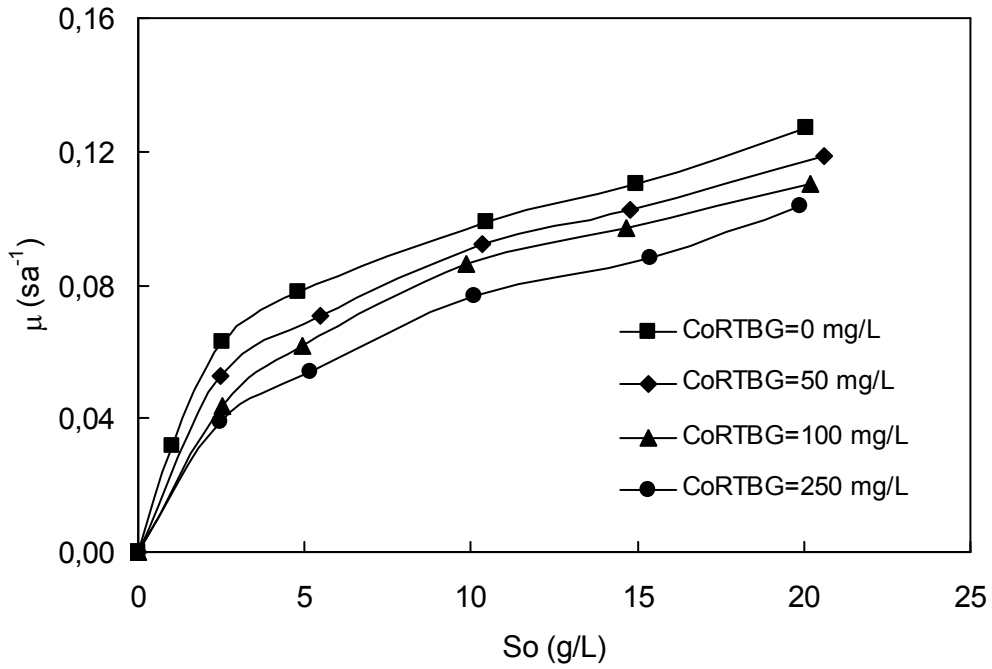
Şekil 5.5. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.6. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.7. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. membranaefaciens*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.8. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.3. Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S_0 (g/L)	C_{ORTBG} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
1,1	0,0	0,052	0,77	33
2,6	0,0	0,087	1,68	37
5,1	0,0	0,107	2,51	42
9,9	0,0	0,129	3,85	49
15,1	0,0	0,152	5,18	55
20,9	0,0	0,167	5,98	62
1,1	49,5	0,048	0,70	37
2,5	50,5	0,081	1,61	41
5,0	49,9	0,101	2,42	45
10,4	51,2	0,121	3,63	51
15,2	48,7	0,142	5,01	58
21,0	52,3	0,157	5,66	65
1,2	99,6	0,044	0,60	40
2,5	101,7	0,077	1,45	43
4,9	100,3	0,097	2,19	48
11,3	99,5	0,117	3,60	54
15,5	99,0	0,136	4,75	60
21,2	101,7	0,151	5,44	67
1,0	251,4	0,037	0,44	48
2,5	251,2	0,071	1,24	51
4,9	249,9	0,090	2,00	55
11,1	248,6	0,110	3,11	61
15,0	251,3	0,127	3,95	66
21,8	250,8	0,140	5,19	71
2,5	500,2	0,065	1,10	55
5,1	503,2	0,086	1,71	58
10,3	498,6	0,103	2,68	63
14,8	502,3	0,121	3,95	68
20,1	497,8	0,131	4,80	74

Çizelge 5.4. Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S_0 (g/L)	C_{ORTBG} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
1,1	0,0	0,047	0,65	36
2,6	0,0	0,078	1,66	41
5,1	0,0	0,097	2,44	45
9,8	0,0	0,121	3,76	54
15,4	0,0	0,133	5,04	61
21,0	0,0	0,148	5,84	65
1,1	50,9	0,042	0,62	41
2,5	49,6	0,072	1,56	46
5,0	50,8	0,092	2,33	49
10,1	51,3	0,116	3,63	57
15,0	49,6	0,130	4,82	64
20,4	50,6	0,143	5,71	70
1,0	101,2	0,036	0,53	45
2,5	99,8	0,068	1,47	50
5,1	100,6	0,090	2,20	55
10,9	103,3	0,113	3,48	63
15,3	102,6	0,124	4,67	70
19,9	99,9	0,137	5,52	74
1,2	250,8	0,032	0,44	52
2,5	251,5	0,062	1,28	56
5,0	249,8	0,082	1,95	60
10,2	251,8	0,105	3,09	67
15,1	248,7	0,116	4,36	73
20,3	249,8	0,127	5,21	77
2,5	500,3	0,057	1,17	60
5,2	498,6	0,077	1,69	64
9,9	501,4	0,099	2,72	69
14,9	503,2	0,111	3,91	75
20,0	499,8	0,121	4,79	80

Çizelge 5.5. Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. membranaefaciens* özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S_0 (g/L)	C_{ORTBG} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
1,0	0,0	0,036	0,77	33
2,5	0,0	0,060	1,56	43
5,1	0,0	0,083	2,30	48
10,9	0,0	0,120	3,59	57
15,8	0,0	0,128	4,82	64
20,9	0,0	0,134	5,71	69
1,1	49,3	0,044	0,61	42
2,5	50,4	0,051	1,41	46
4,9	51,1	0,076	2,08	49
10,1	49,7	0,113	3,31	58
15,2	51,3	0,120	4,60	65
20,5	49,7	0,125	5,44	70
1,2	99,4	0,036	0,56	47
2,5	99,9	0,044	1,31	47
5,2	100,8	0,069	1,97	51
10,4	101,2	0,105	3,21	59
14,9	102,5	0,112	4,38	67
21,3	99,7	0,117	5,24	72
1,0	152,3	0,030	0,33	54
2,5	251,3	0,040	1,16	49
4,9	249,9	0,064	1,77	54
10,1	252,4	0,097	2,83	61
15,3	250,8	0,105	4,05	69
20,8	252,5	0,111	4,92	75
1,1	505,8	0,021	0,25	62
2,6	500,7	0,038	1,06	53
5,3	499,7	0,058	1,62	58
9,8	502,4	0,091	2,58	65
15,2	501,6	0,100	3,69	72
20,6	500,8	0,105	4,51	78

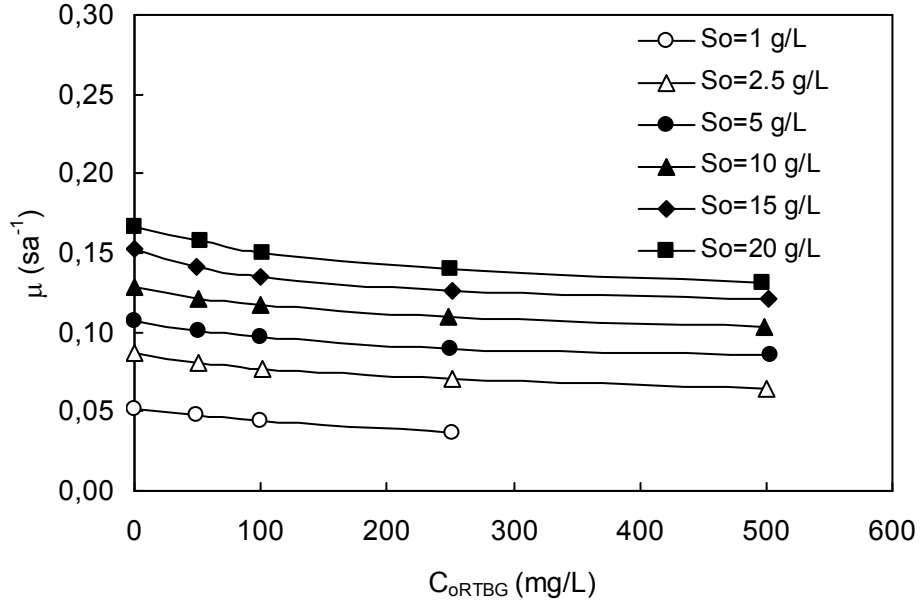
Çizelge 5.6. Her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S ₀ (g/L)	C _{ORTBG} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X _m (g/L)	t _{üreme} (sa)
1,0	0,0	0,032	0,77	40
2,5	0,0	0,063	1,47	45
4,8	0,0	0,078	2,16	51
10,5	0,0	0,099	3,45	59
15,0	0,0	0,110	4,74	67
20,1	0,0	0,127	5,60	73
2,5	49,8	0,053	1,30	47
5,4	51,4	0,071	1,90	52
10,3	50,6	0,092	2,99	61
14,8	49,8	0,103	4,12	69
20,6	51,3	0,119	4,92	74
2,5	100,6	0,044	1,24	48
5,0	101,4	0,062	1,83	53
9,9	99,8	0,086	2,86	62
14,7	102,5	0,097	3,94	71
20,2	103,1	0,111	4,68	76
2,5	250,7	0,039	1,11	50
5,2	248,8	0,054	1,69	54
10,1	251,6	0,077	2,65	60
15,4	250,8	0,088	3,76	68
19,9	249,8	0,104	4,48	80

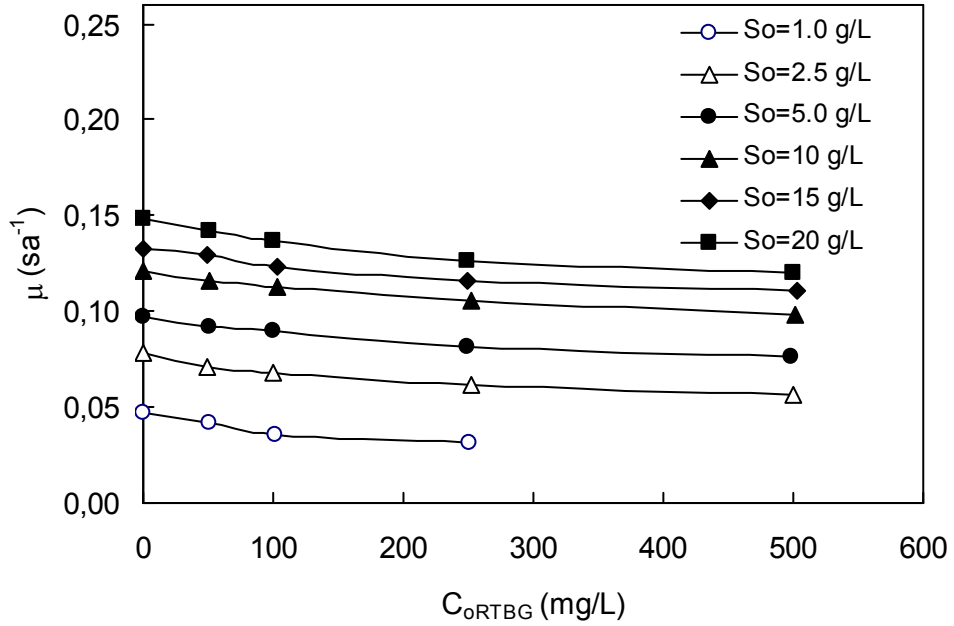
5.1.2.3. Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

Remazol Turkuaz Blue G boyarmadde iyonlarının neden olduğu inhibisyon, aynı verilerle, 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 0-500 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle farklı sabit sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızına karşı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi grafikleri Şekil 5.9-5.12'de sunulmuştur.

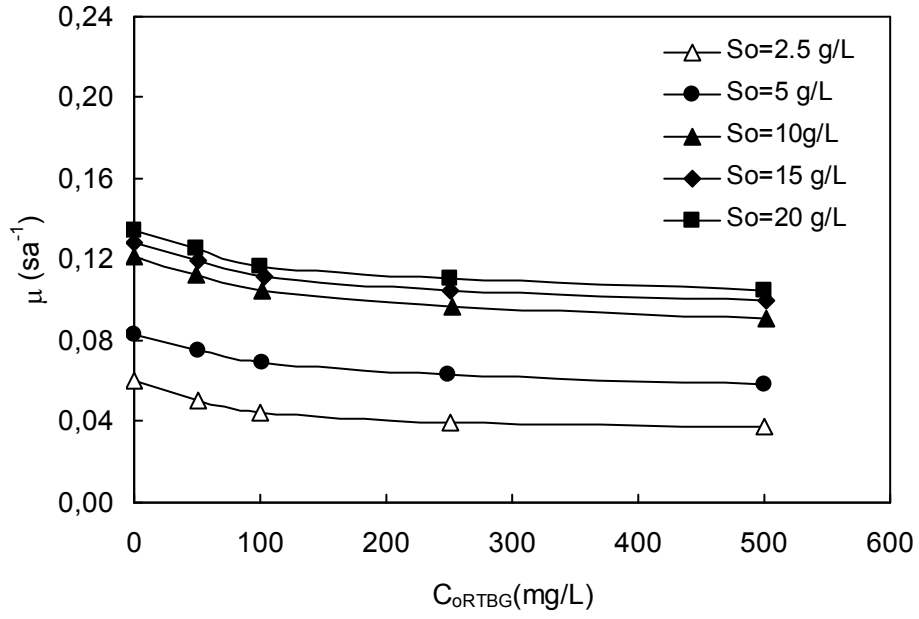
Şekillerden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görülmektedir. Örneğin 10 g/L başlangıç sakkaroz derişiminde besin ortamı hiç Remazol Turkuaz Blue G içermediğinde özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.129 sa⁻¹, *C. utilis* için 0.121 sa⁻¹, *C. membranaefaciens* için 0.120 sa⁻¹, *C. lipolytica* için 0.099 sa⁻¹, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.85 g/L, *C. utilis* için 3.76 g/L, *C. membranaefaciens* için 3.59 g/L, *C. lipolytica* için 3.45 g/L, ve üreme süreleri *C. tropicalis* için 49 saat, *C. utilis* için 54 saat, *C. membranaefaciens* için 57 saat, *C. lipolytica* için 59 saat bulunmuşken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortama 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G eklendiğinde özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.117 sa⁻¹e, *C. utilis* için 0.113 sa⁻¹e, *C. membranaefaciens* için 0.105 sa⁻¹e, *C. lipolytica* için 0.086 sa⁻¹e, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.60 g/L'ye, *C. utilis* için 3.48 g/L'ye, *C. membranaefaciens* için 3.21 g/L'ye, *C. lipolytica* için 2.86 g/L'ye düşerken, üreme süreleri ise *C. tropicalis* için 54 saate, *C. utilis* için 63 saate, *C. membranaefaciens* için 59 saate ve *C. lipolytica* için 62 saate çıkmıştır. Bu durumda, özgül üreme hızınının *C. tropicalis* için % 9.3, *C. utilis* için % 12.4, *C. membranaefaciens* için % 18.6, ve *C. lipolytica* için % 33.3 azaldığı gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak Remazol Turkuaz Blue G boyasına karşı en yüksek dirence sahip mayanın *C. tropicalis* olduğu söylenebilir.



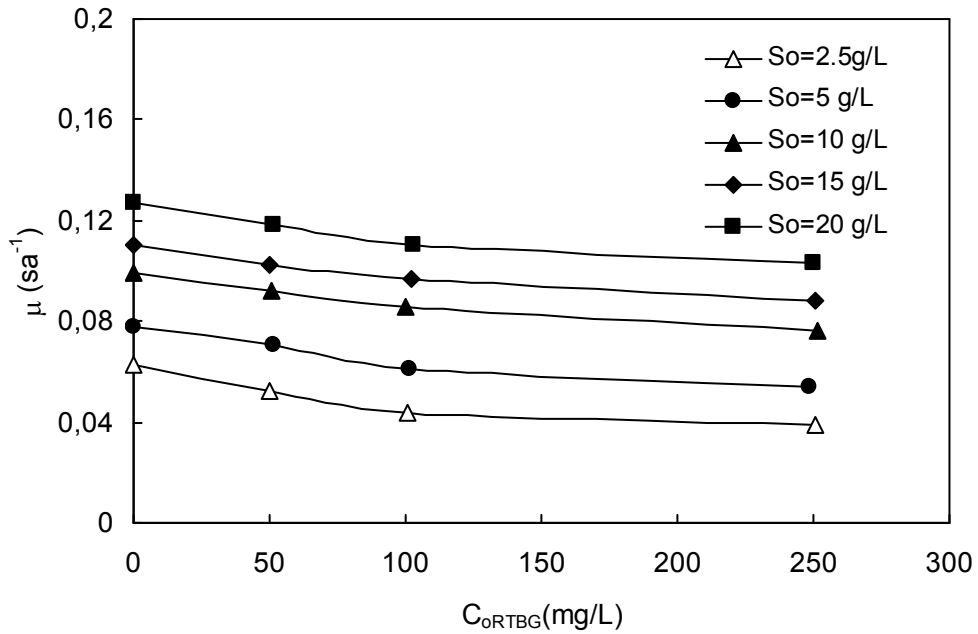
Şekil 5.9. 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.10. 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

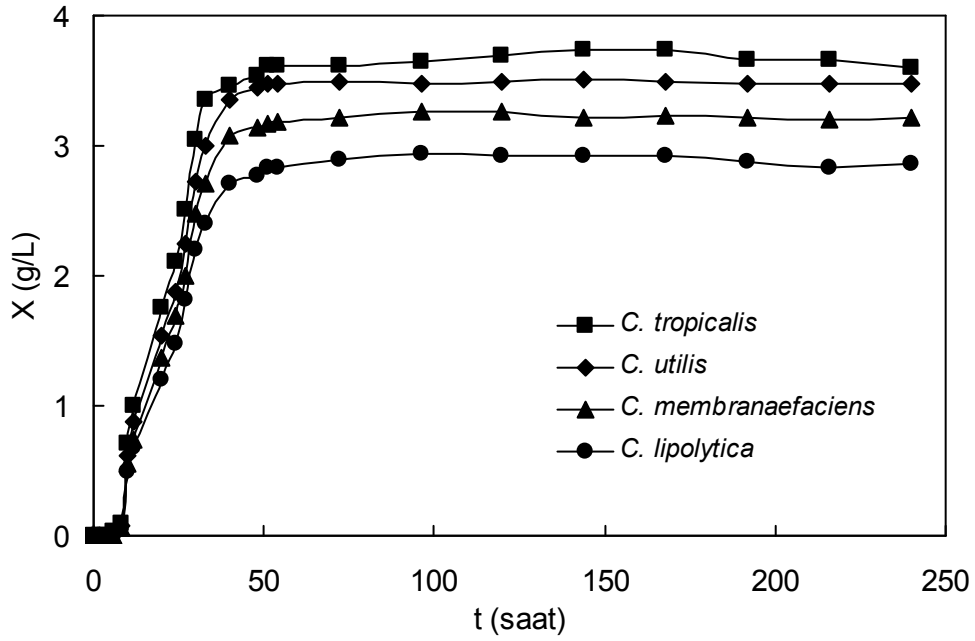


Şekil 5.11. 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. membranaefaciens*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.12. 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Şekil 5.13'de bütün mayalar için 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde elde edilen üreme eğrileri sunulmuştur. Şekilden bütün mayalar için boyarmadde içeren besin ortamında elde edilen mikroorganizma derişim değerlerinin boyarmadde içermeyen besin ortamında elde edilen mikroorganizma derişim değerlerinden daha düşük olduğu ve üreme sürelerinin ise daha da uzadığı görülmektedir. Ancak *C. tropicalis*'in boyarmadde içeren besin ortamında da diğer mayalara nazaran daha iyi ürediği gözden kaçırılmamalıdır.



Şekil 5.13. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde elde edilen üreme eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

5.1.2.4. Inhibisyon sabitlerinin hesaplanması

Besin ortamındaki boyarmadde iyonlarının, *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 3.5, 3.6 ve 3.7'de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Her bir modele ait inhibisyon sabiti non-linear regression yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Deneysel verilerin yukarıda sayılan inhibisyon modellerinden hangisine en iyi uyduğunu saptamak amacıyla her bir model için hesaplanan

ortalama % hata değerleri karşılaştırılmıştır ve sonuçlar izelge 5.7'de sunulmuştur. Ortalama % hata Eş. 5.1'de tanımlanmıştır.

$$\text{Ortalama \%Hata} = \frac{\sum_{i=1}^N ((\mu_{i,den} - \mu_{i,teo}) / \mu_{i,den}) \times 100}{N} \quad (5.1)$$

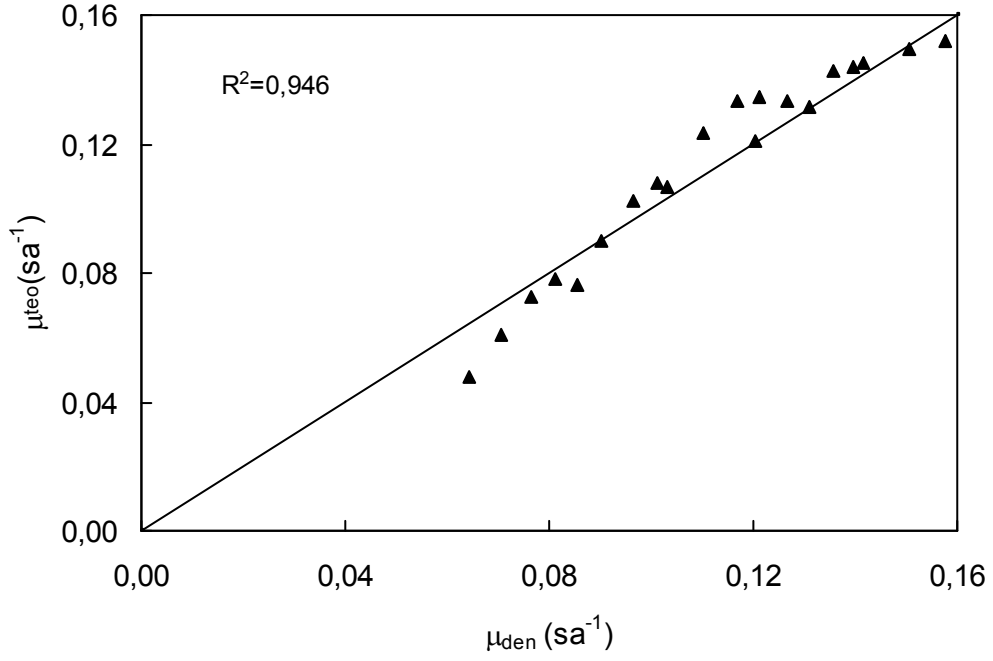
Burada N deney sayısını göstermektedir.

Deneysel ve inhibisyon modellerinden bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45⁰ doğrusu üzerinde bulunmasının mkemmek bir uyumu ifade ettiği düşünülebilir. Deneysel ve teorik noktaların birbiriyle matematiksel uyumu R² (non-lineer regresyon katsayısı) cinsinden de ifade edilebilir. Şekil 5.14-5.25'de dört maya için hesaplanan teorik μ değerleri deneysel μ değerleriyle R²'ler verilerek 45⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır.

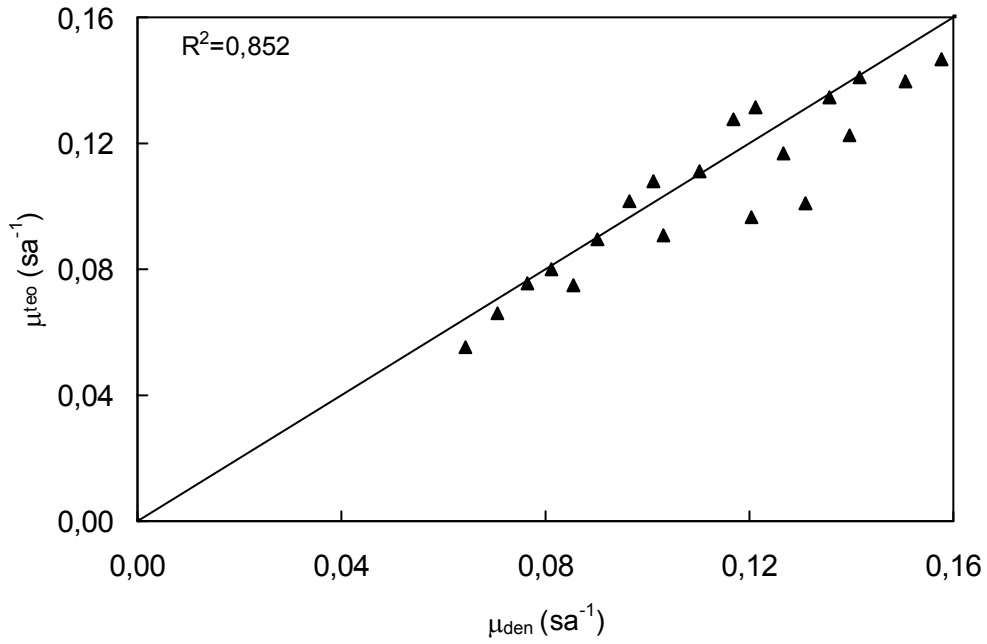
Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan % hata değerleri kıyaslanarak, Remazol Turkuaz Blue G iyonlarının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline uyduğu söylenebilir.

Çizelge 5.7. Remazol Turkuaz Blue G'nin *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri

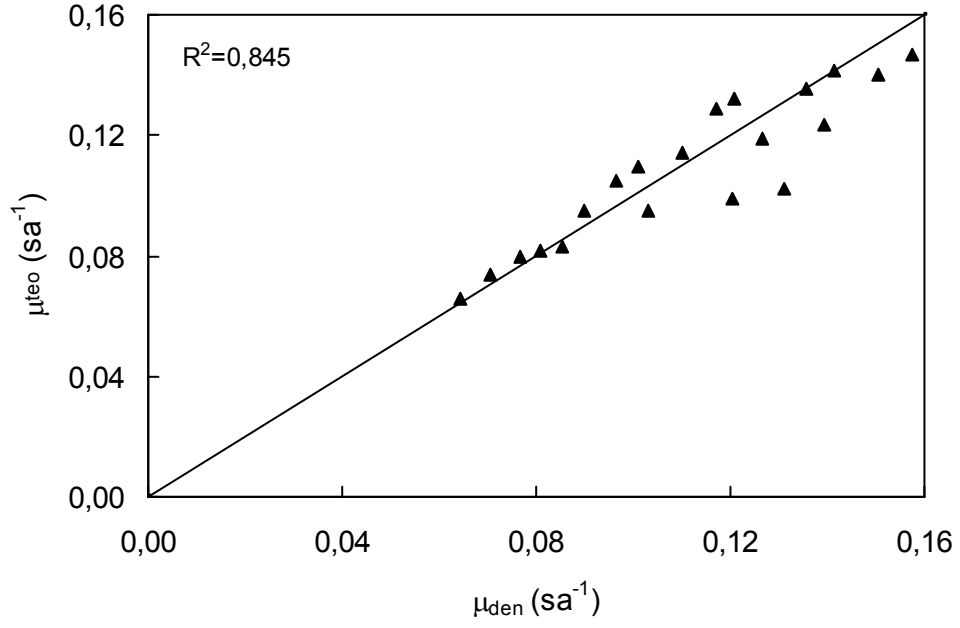
Maya türü	İnhibisyon türü	K _i (mg/L)	Ort % Hata
<i>C. tropicalis</i>	Yarışmalı	348,03	6,62
	Yarışmasız	955,07	7,82
	Kısmi yarışmalı	876,22	6,93
<i>C. utilis</i>	Yarışmalı	367,07	4,15
	Yarışmasız	1056,22	6,96
	Kısmi yarışmalı	896,09	7,60
<i>C. membranaefaciens</i>	Yarışmalı	369,48	7,02
	Yarışmasız	1123,30	11,68
	Kısmi yarışmalı	968,13	14,39
<i>C. lipolytica</i>	Yarışmalı	433,01	12,60
	Yarışmasız	1778,26	14,94
	Kısmi yarışmalı	1089,17	15,01



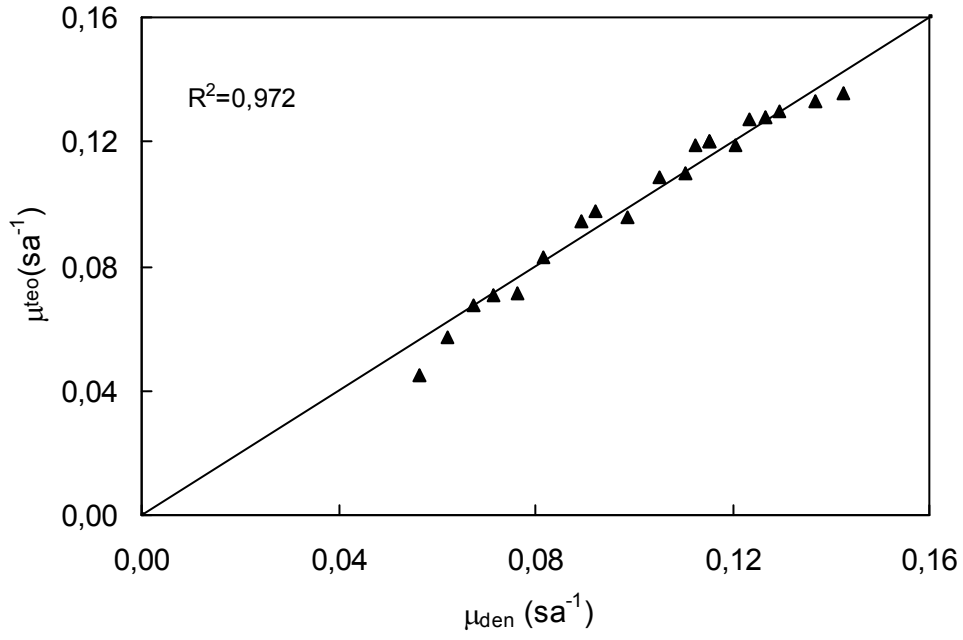
Şekil 5.14. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



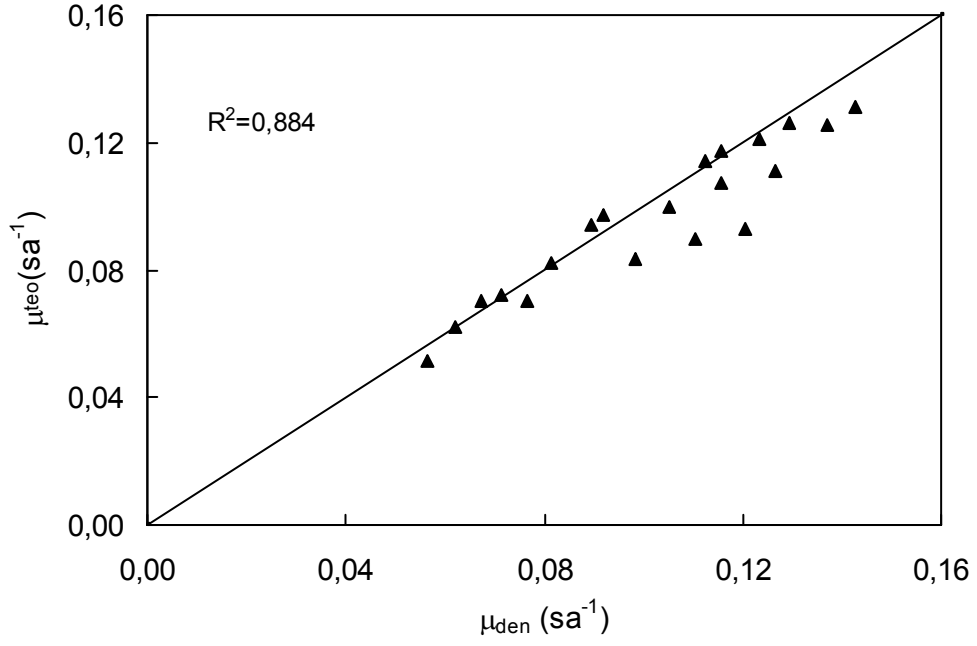
Şekil 5.15. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



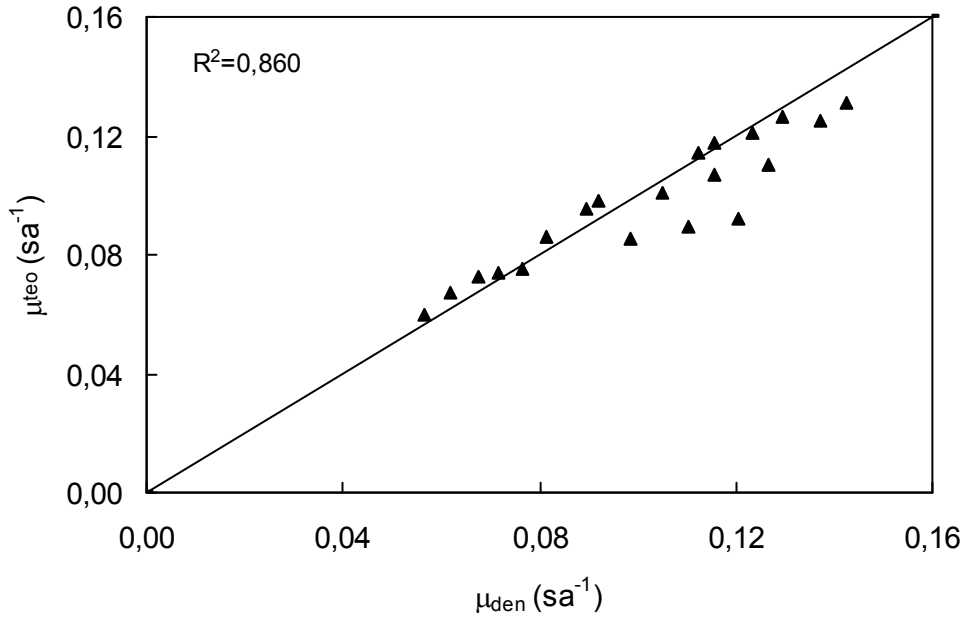
Şekil 5.16. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



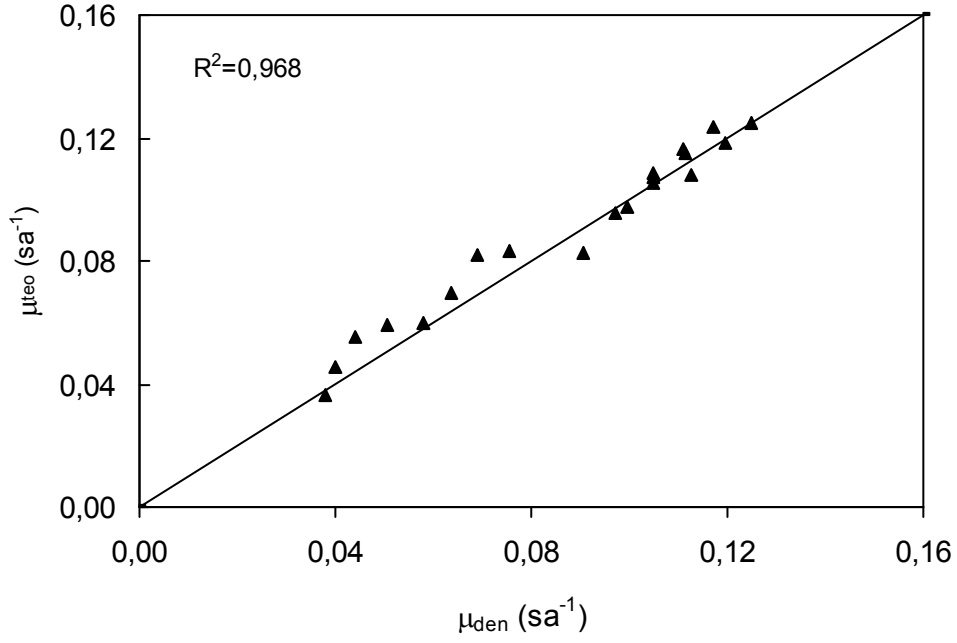
Şekil 5.17. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



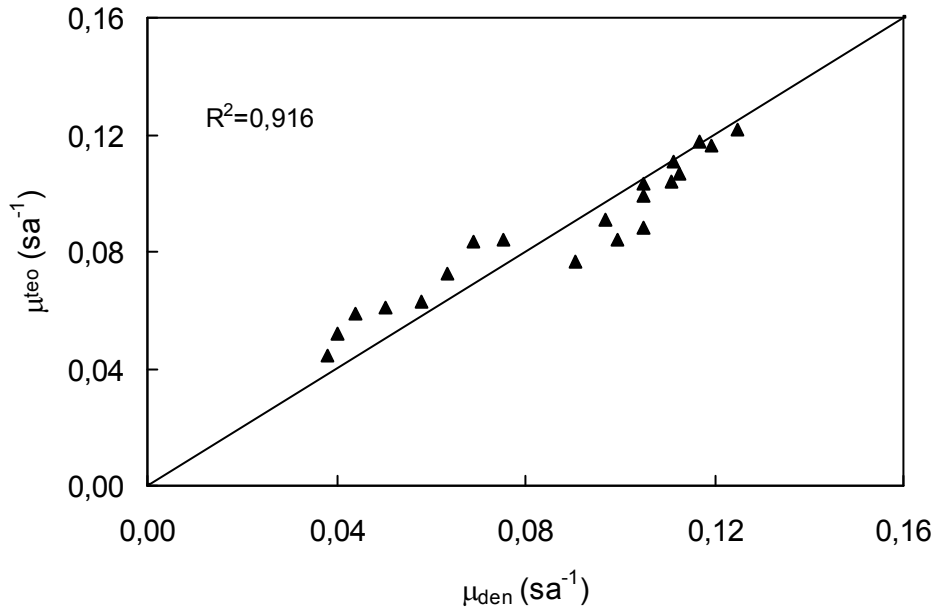
Şekil 5.18. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



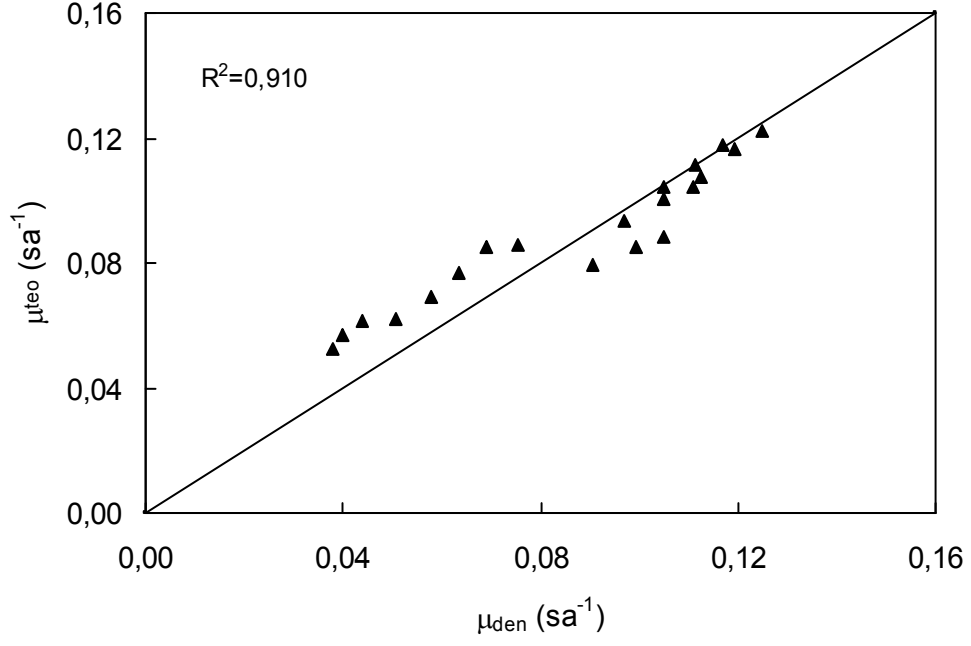
Şekil 5.19. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



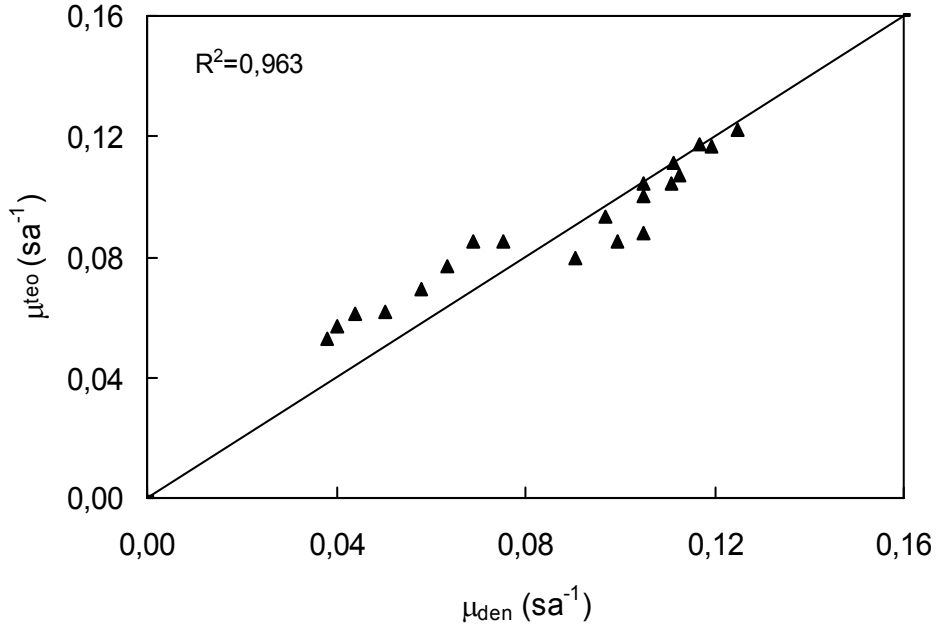
Şekil 5.20. *C. membranaefaciens* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



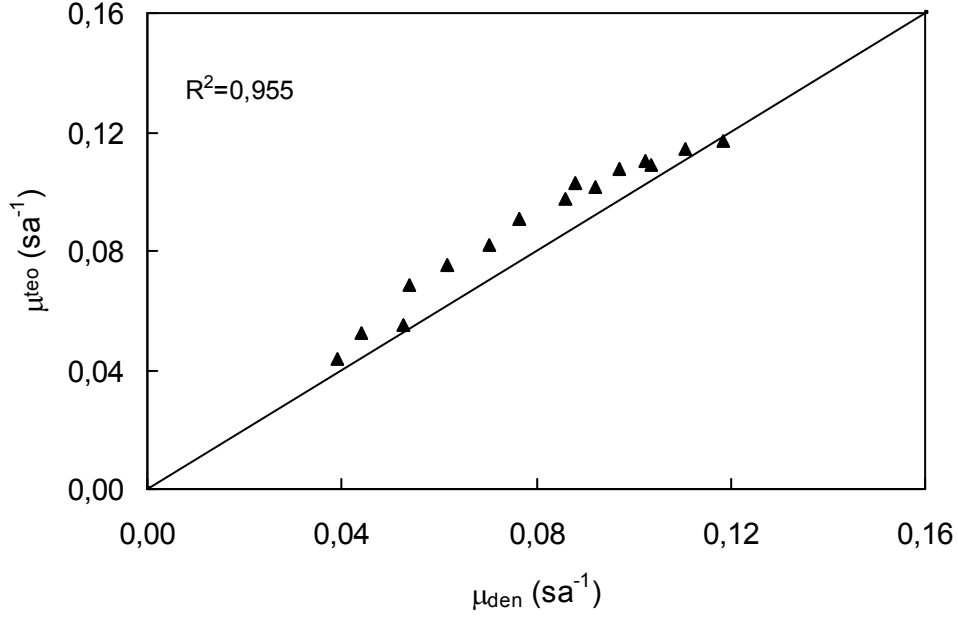
Şekil 5.21. *C. membranaefaciens* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



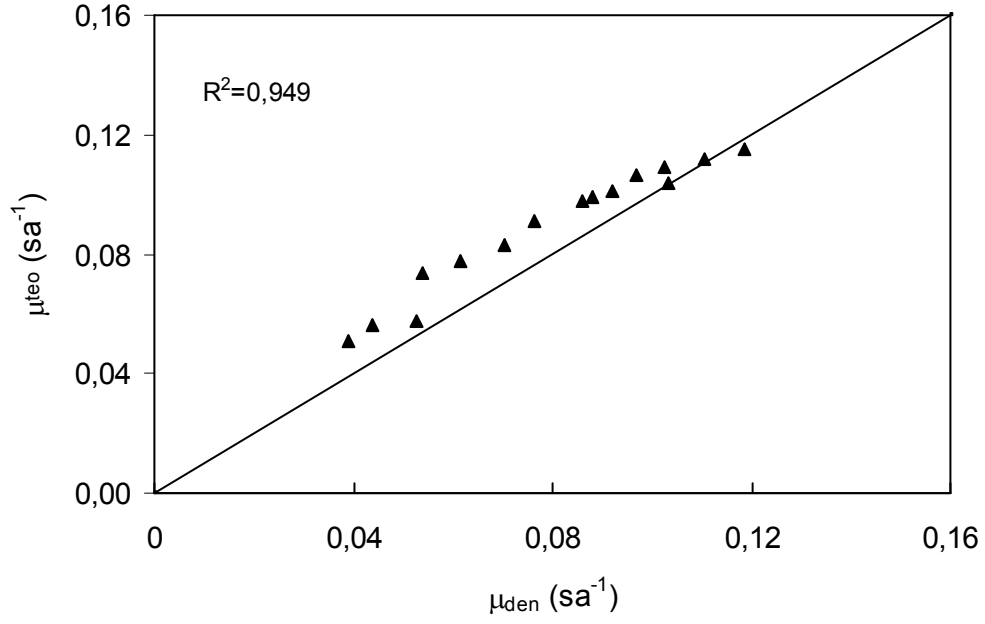
Şekil 5.22 *C. membranaefaciens* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.23. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



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



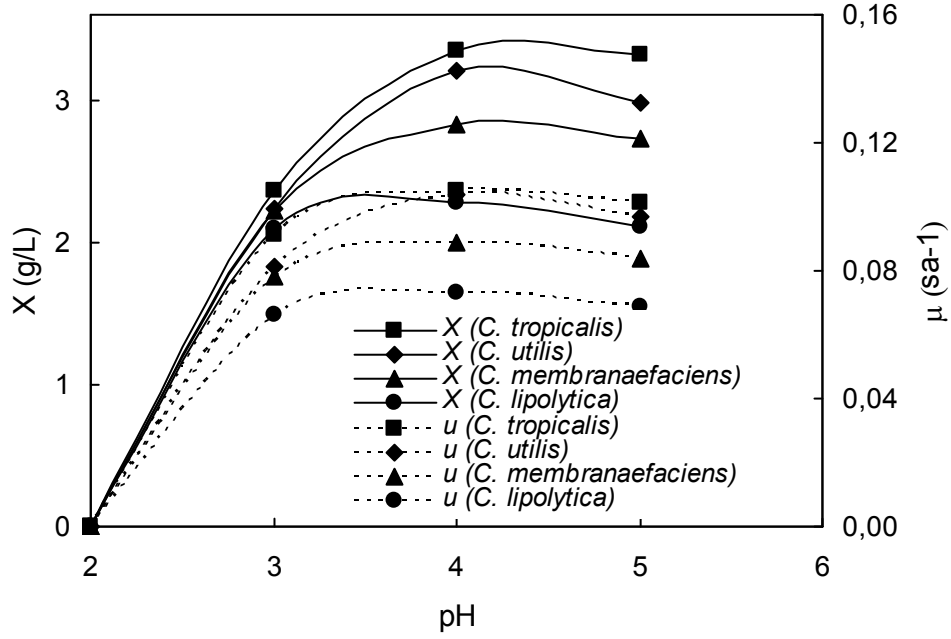
Şekil 5.25. *C. lipolytica* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.1.3. Bakır(II) içeren besin ortamında maya üreme kinetiğinin incelenmesi

5.1.3.1. Başlangıç pH'ının etkisi

Metal iyonu içeren besin ortamında da başlangıç pH'ının mikroorganizmanın üremesini nasıl etkilediğini bilmek biyobirikim çalışmalarına yol göstermesi açısından önemlidir. Bu amaçla 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında, başlangıç pH'ının her bir mayanın özgül üreme hızına ve maksimum üreyen 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 5.26).

Ancak bakır(II) iyonu içeren ve içermeyen ortamlarda bulunan optimum üreme pH değerleri aynı olsa da, bakır(II) iyonu içeren ortamda elde edilen maksimum özgül üreme hız ve mikroorganizma derişim değerlerinin bütün mayalar için çok daha düşük olduğu da göz ardı edilmemelidir. Yine *C. tropicalis* mayasıyla elde edilen özgül üreme hız ve üreme verim değerlerinin diğer mayalardan daha yüksek olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Ayrıca bakır(II) iyonu veya boyarmadde içeren besin ortamlarında elde edilen maksimum özgül üreme hız ve mikroorganizma derişim değerleri karşılaştırıldığında bakır(II) iyonu içeren besin ortamında elde edilen değerlerin bütün mayalar için daha düşük olduğu da dikkati çekmektedir ve dolayısıyla bakır(II) iyonlarının bütün mayaların üremesini Remazol Turkuaz Blue G boyasından daha fazla olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.

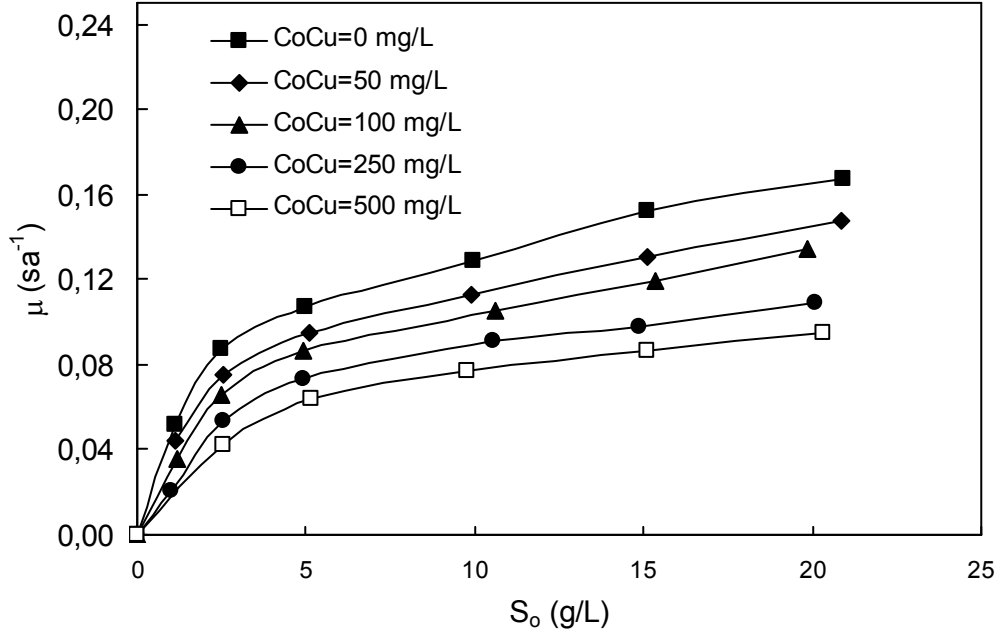


Şekil 5.26. 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında başlangıç pH'nın her bir mayanın özgül üreme hızı ve maksimum üreyen mikroorganizma derişimi üzerine etkisi (T=25°C, S₀=10 g/L, C_{0Cu}=100 mg/L, K. H. 150 rpm)

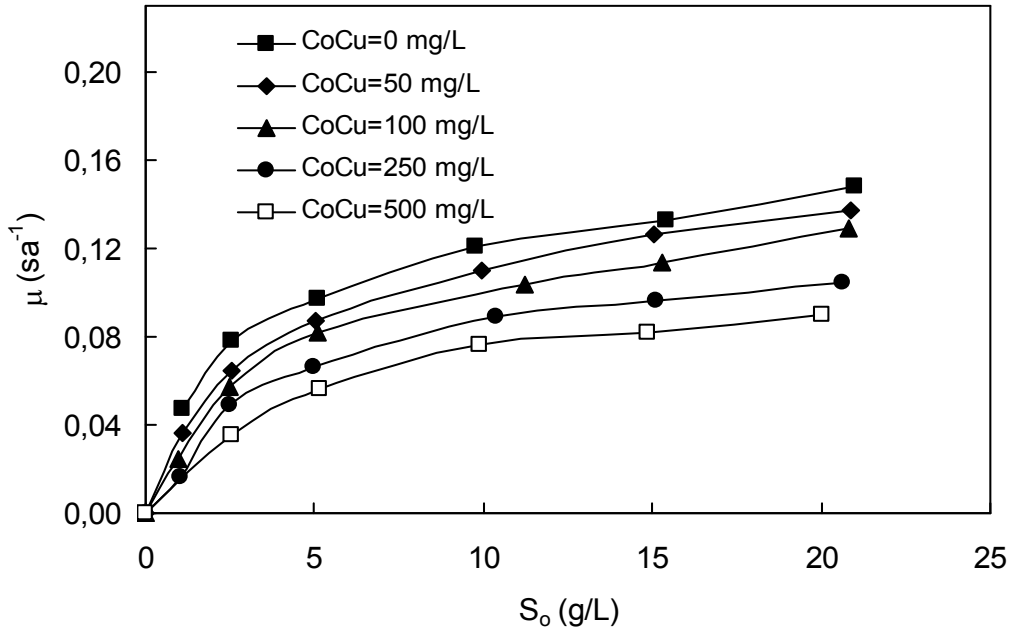
5.1.3.2. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Tez kapsamında başlangıç sakkaroz derişiminin mikroorganizmanın özgül üreme hızına etkisi incelenirken, ağır metal iyonlarının neden olduğu inhibisyon da araştırılmıştır. Bu amaçla ağır metal iyonlarının neden olduğu inhibisyon modellenerek inhibisyon türü her bir maya için belirlenmiştir. Farklı (0-500 mg/L aralığında değişen) sabit bakır(II) iyon derişimlerinde başlangıç substrat derişimi 1-20 g/L aralığında değiştirilerek çalışılmış ve böylece her bir maya için özgül üreme hızının sakkaroz ve metal iyonu derişimine bağlı değişimi Şekil 5.27-5.30'da sunulmuştur. Şekillerden, çalışılan her bir sabit başlangıç bakır(II) iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin arttığı, ancak bakır(II) içermeyen besin ortamında yapılan çalışmayla karşılaştırıldığında, bakır(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini büyük ölçüde düşürdüğü görülmektedir. Çizelge 5.8-5.11'de ise her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'ya ait özgül üreme hızları, üreme sonunda elde edilen maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri sunulmuştur. Çizelgelerden başlangıç sakkaroz derişiminin 1'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla 50'den 500 mg/L'ye kadar artan bütün bakır(II)

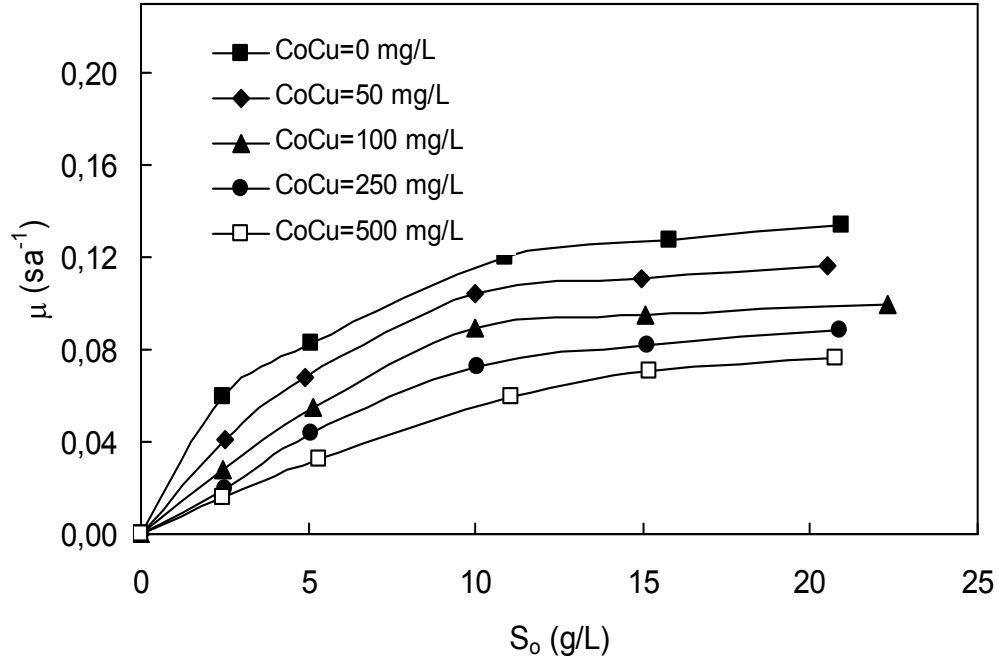
derişimlerinde, özgül üreme hızının, maksimum mikroorganizma derişiminin ve üreme süresinin arttığı, bakır(II) derişimindeki artışın ise bu değerleri önemli ölçüde düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 100 mg/L başlangıç bakır(II) ve 2.5 g/L başlangıç sakkaroz derişimi içeren melas ortamında özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.066 sa⁻¹, *C. utilis* için 0.057 sa⁻¹, *C. membranaefaciens* için 0.028 sa⁻¹, *C. lipolytica* için 0.025 sa⁻¹, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 1.35 g/L, *C. utilis* için 1.28 g/L, *C. membranaefaciens* için 1.06 g/L, *C. lipolytica* için 1.02 g/L, ve üreme süreleri *C. tropicalis* için 49 saat, *C. lipolytica* için 58 saat, *C. membranaefaciens* için 50 saat, *C. lipolytica* 51 için saat iken, aynı başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişimi 10 g/L'ye arttığında özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.105 sa⁻¹'e *C. utilis* için 0.104 sa⁻¹, *C. membranaefaciens* için 0.089 sa⁻¹, *C. lipolytica* için 0.073 sa⁻¹, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.34 g/L'ye, *C. utilis* için 3.20 g/L'ye, *C. membranaefaciens* için 2.82 g/L'ye, *C. lipolytica* için 2.28 g/L'ye, üreme süreleri ise *C. tropicalis* için 59 saate, *C. utilis* için 72 saate, *C. membranaefaciens* için 61 saate ve *C. lipolytica* için 65 saate çıkmıştır. Şekillerden ve çizelgeden *C. tropicalis*'in çalışılan bütün sakkaroz ve metal iyonu derişimlerinde diğer mayalardan daha hızlı ve daha kısa sürede ürediği ve daha yüksek üreme kapasitesine sahip olduğu da gözlenmektedir. Bakır(II) içeren besin ortamlarıyla elde edilen deney sonuçları aynı koşullardaki boyarmadde içeren besin ortamlarıyla yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, metal iyonlarının bütün mayaların üremelerini çok daha yavaşlattığı, üreme hız ve verimlerini çok daha düşürdüğü, dolayısıyla bakır(II) iyonlarının mayaların üremesini Remazol Turkuaz Blue G boyarmaddesinden daha fazla olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.



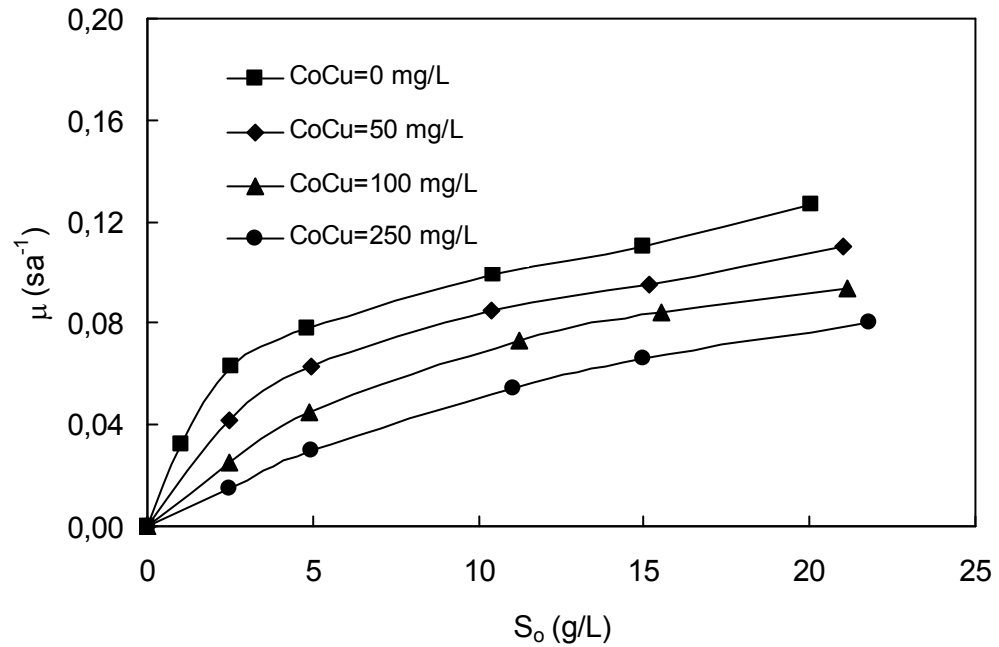
Şekil 5.27. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.28. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.29. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. membranaefaciens* 'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.30. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.8. Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S _o (g/L)	C _{oCu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X _m (g/L)	t _{üreme} (sa)
1,1	0,0	0,052	0,77	33
2,6	0,0	0,087	1,68	37
5,1	0,0	0,107	2,51	42
9,9	0,0	0,129	3,85	49
15,1	0,0	0,152	5,18	55
20,9	0,0	0,167	5,98	62
1,1	49,5	0,044	0,62	42
2,6	51,3	0,075	1,54	45
5,1	50,1	0,095	2,33	48
9,9	48,7	0,113	3,61	54
15,1	47,6	0,131	4,84	61
20,8	49,8	0,148	5,64	68
1,2	99,6	0,036	0,57	47
2,5	100,2	0,066	1,35	49
4,9	102,1	0,086	2,04	53
10,6	99,4	0,105	3,34	59
15,3	102,3	0,119	4,66	65
19,9	100,9	0,134	5,42	72
1,0	251,4	0,021	0,25	62
2,5	250,7	0,054	0,94	64
4,9	249,2	0,073	1,66	67
10,5	251,5	0,091	2,60	72
14,9	249,7	0,101	3,73	76
20,1	253,1	0,112	4,73	80
2,6	499,4	0,042	0,66	72
5,1	501,8	0,064	1,08	74
9,8	499,2	0,077	1,74	76
15,1	501,6	0,089	3,06	81
20,3	499,8	0,095	3,96	85

Çizelge 5.9. Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. utilis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S_0 (g/L)	C_{0Cu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
1,1	0,0	0,047	0,65	36
2,6	0,0	0,078	1,66	41
5,1	0,0	0,097	2,44	45
9,8	0,0	0,121	3,76	54
15,4	0,0	0,133	5,04	61
21,0	0,0	0,148	5,84	65
1,1	51,4	0,036	0,58	46
2,5	49,8	0,065	1,46	50
5,0	50,9	0,087	2,22	53
10,0	51,2	0,110	3,50	60
15,1	48,9	0,126	4,60	67
20,9	47,6	0,137	5,58	75
1,0	100,4	0,025	0,40	54
2,5	101,2	0,057	1,28	58
5,1	99,8	0,082	1,95	65
11,2	101,3	0,104	3,20	72
15,3	103,8	0,114	4,30	79
20,8	99,7	0,126	5,20	82
1,0	251,2	0,016	0,23	68
2,5	252,4	0,046	0,89	71
5,0	251,3	0,066	1,45	74
10,4	249,8	0,089	2,42	79
15,1	250,9	0,098	3,68	84
20,6	249,8	0,105	4,57	88
2,5	499,8	0,035	0,65	79
5,1	500,6	0,056	0,94	82
9,9	502,5	0,076	1,67	84
14,9	501,4	0,088	2,78	89
20,1	500,9	0,093	3,74	94

Çizelge 5.10. Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. membranaefaciens* özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S _o (g/L)	C _{oCu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X _m (g/L)	t _{üreme} (sa)
1,0	0,0	0,036	0,77	33
2,5	0,0	0,060	1,56	43
5,1	0,0	0,083	2,30	48
10,9	0,0	0,120	3,59	57
15,8	0,0	0,128	4,82	64
20,9	0,0	0,134	5,71	69
1,1	49,3	0,044	0,61	42
2,5	50,8	0,041	1,26	48
4,9	49,9	0,068	1,86	50
10,0	50,3	0,104	3,02	58
15,0	51,2	0,111	4,38	66
20,5	49,6	0,116	5,17	70
1,2	99,4	0,036	0,56	47
2,5	99,8	0,028	1,06	50
5,1	101,7	0,055	1,64	53
10,0	102,4	0,089	2,82	61
15,1	101,3	0,095	3,93	69
22,3	98,9	0,100	4,78	75
1,1	253,6	0,021	0,25	62
2,5	250,8	0,020	0,76	55
5,1	251,3	0,044	1,24	59
10,1	249,6	0,073	2,07	65
15,1	251,7	0,082	3,27	73
20,9	254,5	0,088	4,14	81
2,5	500,9	0,016	0,55	63
5,3	498,7	0,033	0,93	67
11,0	496,6	0,060	1,57	73
15,2	502,4	0,071	2,55	79
20,7	501,4	0,076	3,31	86

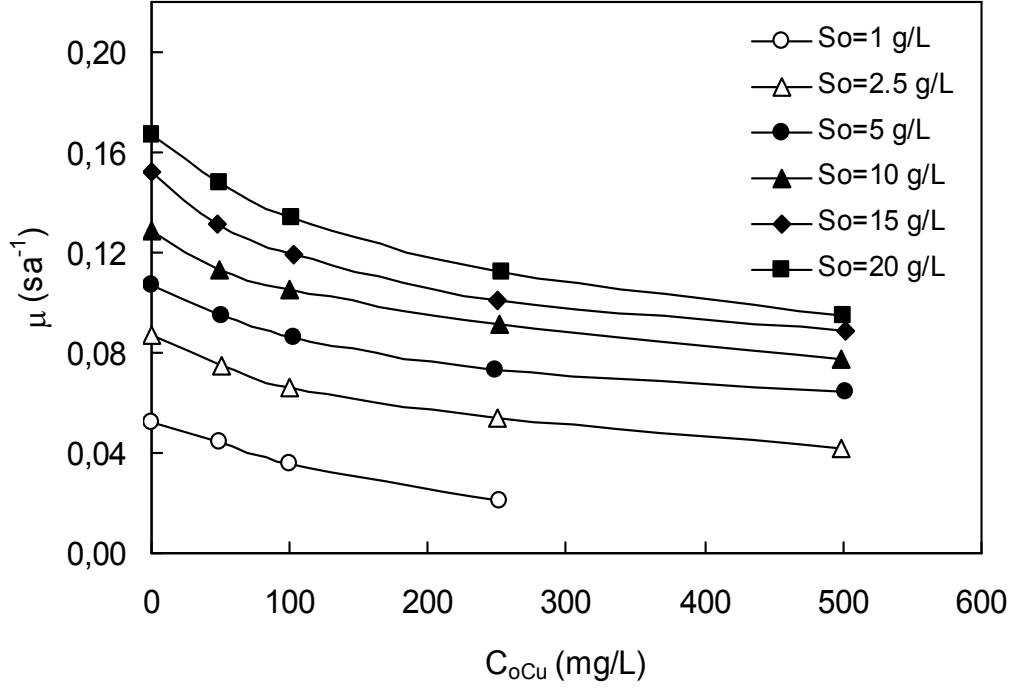
Çizelge 5.11. Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen başlangıç sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. lipolytica*'nın özgül üreme ve sakkaroz tüketim hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

S _o (g/L)	C _{oCu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X _m (g/L)	t _{üreme} (sa)
1,0	0,0	0,032	0,56	40
2,5	0,0	0,063	1,47	45
4,8	0,0	0,078	2,16	51
10,5	0,0	0,099	3,45	59
15,0	0,0	0,110	4,74	67
20,1	0,0	0,127	5,60	73
1,1	49,3	0,044	0,61	42
2,5	50,5	0,042	1,13	49
5,0	49,9	0,063	1,65	53
10,4	51,2	0,085	2,53	62
15,2	48,7	0,095	3,50	71
21,0	52,3	0,110	4,23	75
1,2	99,4	0,036	0,56	47
2,5	101,7	0,025	1,02	51
4,9	100,3	0,045	1,50	55
11,3	99,5	0,073	2,28	65
15,5	99,0	0,084	3,15	74
21,2	101,7	0,094	3,77	78
1,1	253,6	0,021	0,25	62
2,5	251,2	0,015	0,75	54
4,9	249,9	0,030	1,22	57
11,1	248,6	0,054	1,84	61
15,0	251,3	0,066	2,77	68
21,8	250,8	0,08	3,37	87

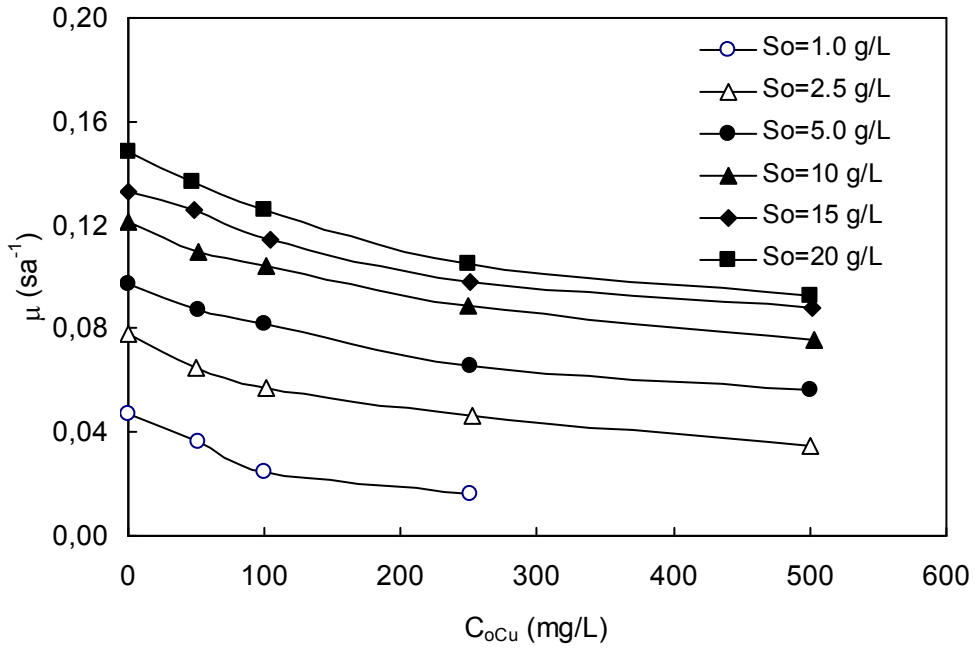
5.1.3.3. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Yine bakır(II) iyonlarının neden olduğu inhibisyonda, aynı verilerle, 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0-500 mg/L aralığında değiştirilmesiyle incelenebilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle farklı sabit sakkaroz derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızına karşı başlangıç bakır(II) iyon derişimi grafikleri Şekil 5.31-5.34'de sunulmuştur. Şekillerden, çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise özgül üreme hız değerlerini arttırdığı görülmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen besin ortamında ve 10 g/L başlangıç sakkaroz derişiminde özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.129 sa^{-1} , *C. utilis* için 0.121 sa^{-1} , *C. membranaefaciens* için 0.120 sa^{-1} , *C. lipolytica* için 0.099 sa^{-1} , maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.85 g/L, *C. utilis* için 3.76 g/L, *C. membranaefaciens* için 3.59 g/L, *C. lipolytica* için 3.45 g/L, ve üreme süreleri *C. tropicalis* için 49 saat, *C. utilis* için 54 saat, *C. membranaefaciens* için 57 saat, *C. lipolytica* için 59 saat iken, aynı başlangıç sakkaroz derişiminde ortamda 100 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızları *C. tropicalis* için 0.105 sa^{-1} 'e, *C. utilis* için 0.104 sa^{-1} 'e, *C. membranaefaciens* için 0.089 sa^{-1} 'e, *C. lipolytica* için 0.073 sa^{-1} 'e, maksimum mikroorganizma derişimleri *C. tropicalis* için 3.34 g/L'ye, *C. utilis* için 3.20 g/L'ye, *C. membranaefaciens* için 2.82 g/L'ye, *C. lipolytica* için 2.28 g/L'ye düşerken, üreme süreleri ise *C. tropicalis* için 59 saate, *C. utilis* için 72 saate, *C. membranaefaciens* için 61 saate ve *C. lipolytica* için 65 saate çıkmıştır. Bu durumda, özgül üreme hızının *C. tropicalis* için % 18.6, *C. utilis* için % 19.4, *C. membranaefaciens* için % 31.0, ve *C. lipolytica* için % 43.4 azaldığı gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak bakır(II) iyonlarına karşı da en yüksek dirence sahip mayanın *C. tropicalis* olduğu söylenebilir.

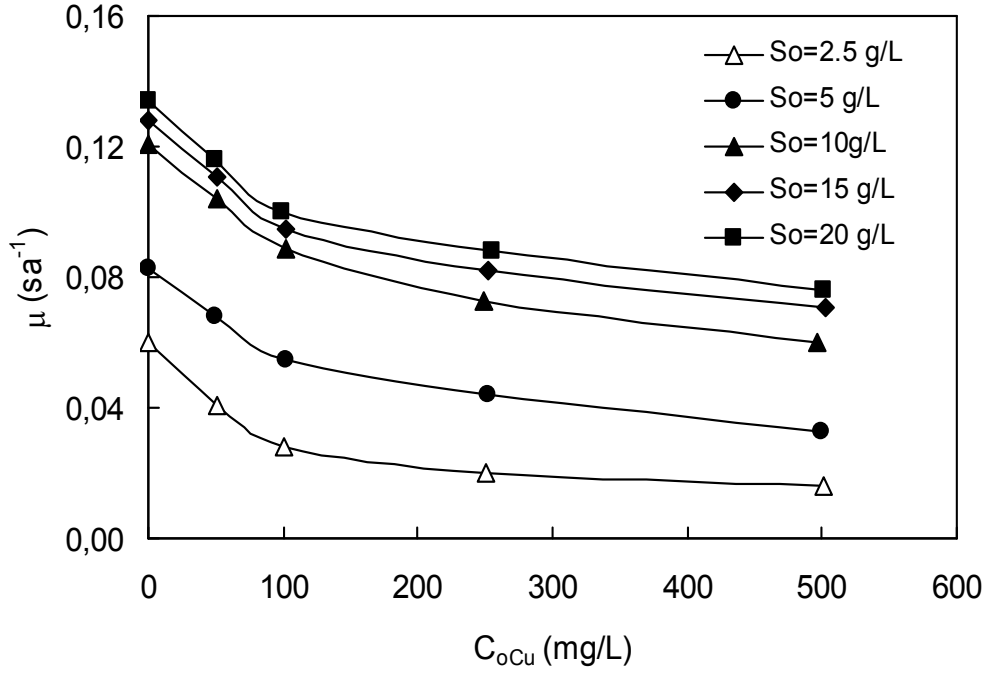
C. tropicalis için aynı koşullarda elde edilen deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, ortamda 100 mg/L bakır(II) olduğunda özgül üreme hız değerinin % 18.6 oranında, ortamda 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G olduğunda ise özgül üreme hız değerinin % 9.3 oranında azaldığını, dolayısıyla bakır(II) iyonlarının *C. tropicalis*'in üremesini daha fazla olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.



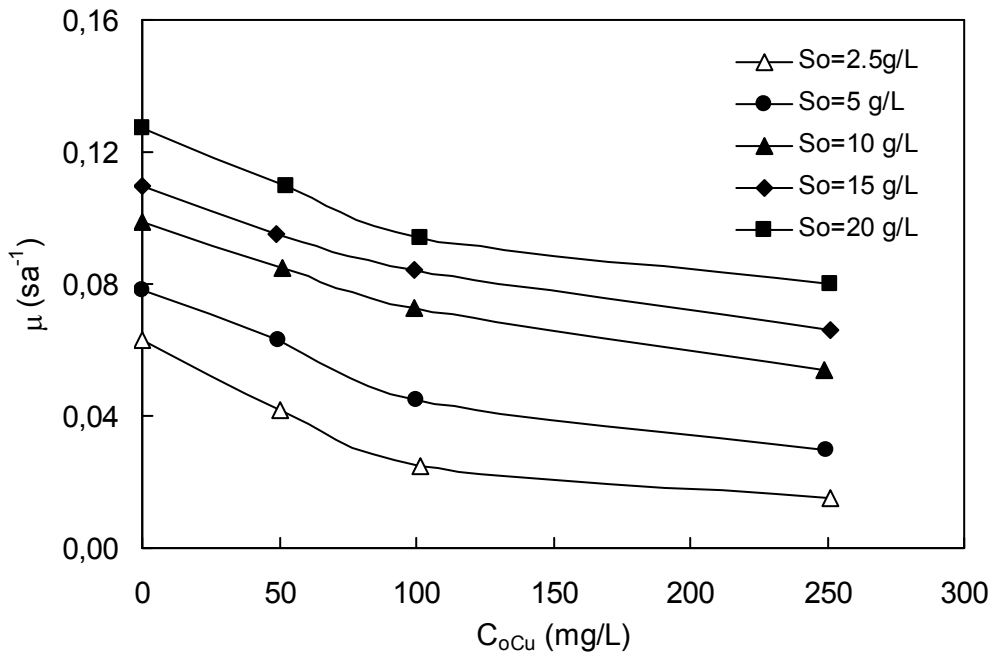
Şekil 5.31. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.32. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. utilis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

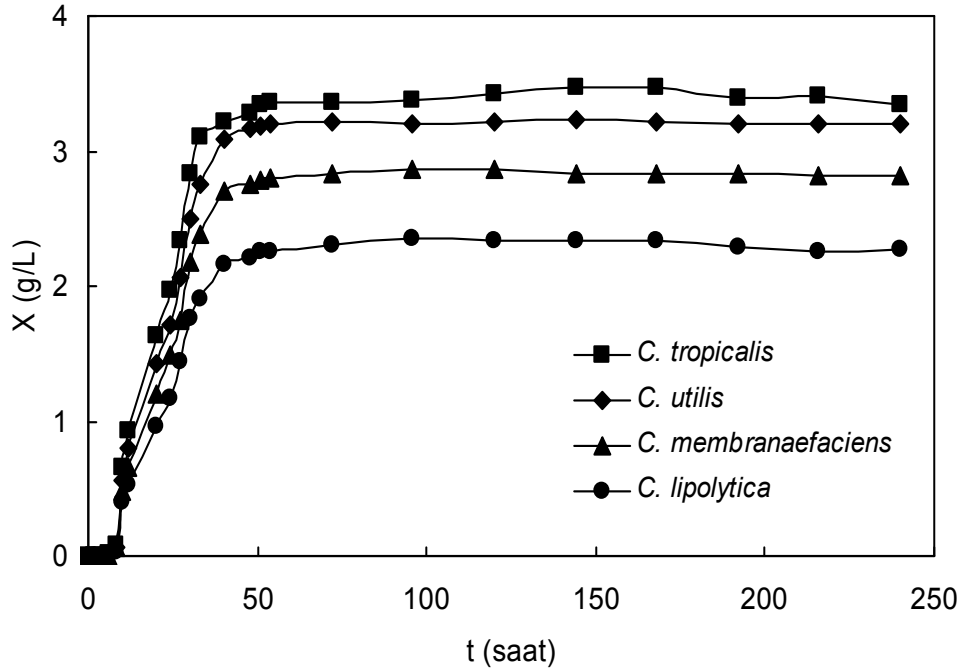


Şekil 5.33. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. membranaefaciens*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.34. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica*'nın özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Şekil 5.35’de bütün mayalar için 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde elde edilen üreme eğrileri sunulmuştur. Şekilden bütün mayalar için metal iyonu içeren besin ortamında elde edilen mikroorganizma derişim değerlerinin metal iyonu içermeyen besin ortamında elde edilen mikroorganizma derişim değerlerinden çok daha düşük olduğu ve üreme sürelerinin ise daha da uzadığı görülmektedir. Ancak *C. tropicalis*’in metal iyonu içeren besin ortamında da diğer mayalara nazaran daha iyi ürediği gözden kaçırılmamalıdır. Yine metal ortamında boyarmadde ortamında elde edilenlerden çok daha düşük özgül üreme hız ve üreme verim değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.35. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde elde edilen üreme eğrileri (T=25°C, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

5.1.3.3. İnhibisyon sabitlerinin hesaplanması

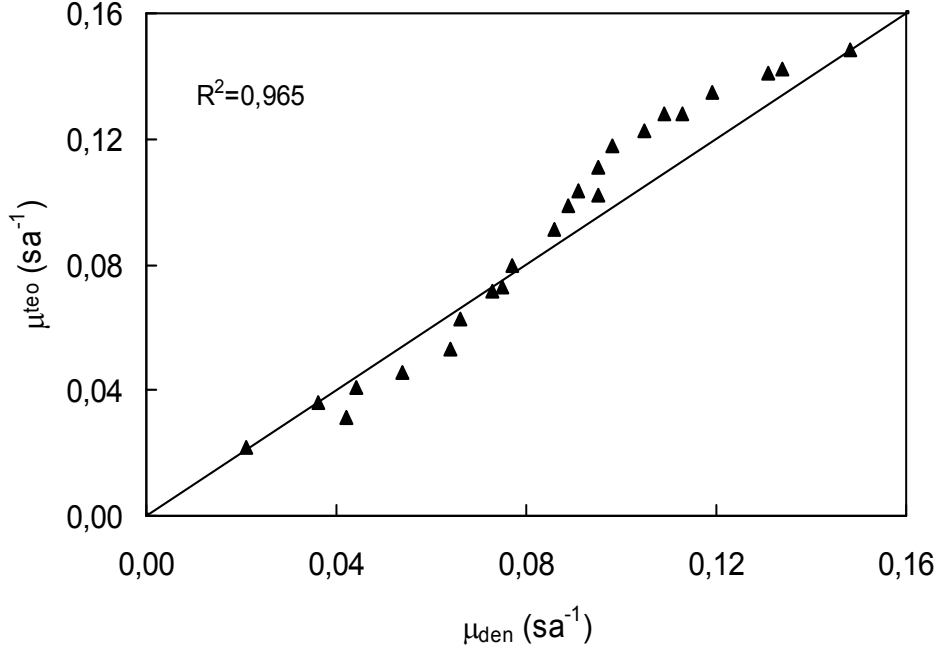
Besin ortamındaki bakır(II) iyonlarının, *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyon etkisinin hangi inhibisyon modeline uyduğunu saptamak amacıyla yine tek bileşenli inhibisyon için literatürde tanımlanan ve Eşitlikler 3.5, 3.6 ve 3.7’de verilen yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılmıştır. Deneysel verilerin yukarıda sayılan inhibisyon modellerinden hangisine en iyi

uyduğunu saptamak amacıyla her bir model için hesaplanan ortalama % hata değerleri karşılaştırılmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.12’de sunulmuştur. Şekil 5.36-5.47’de ise dört maya için hesaplanan teorik μ değerleri deneysel μ değerleriyle R^2 ’ler verilerek 45⁰ doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır.

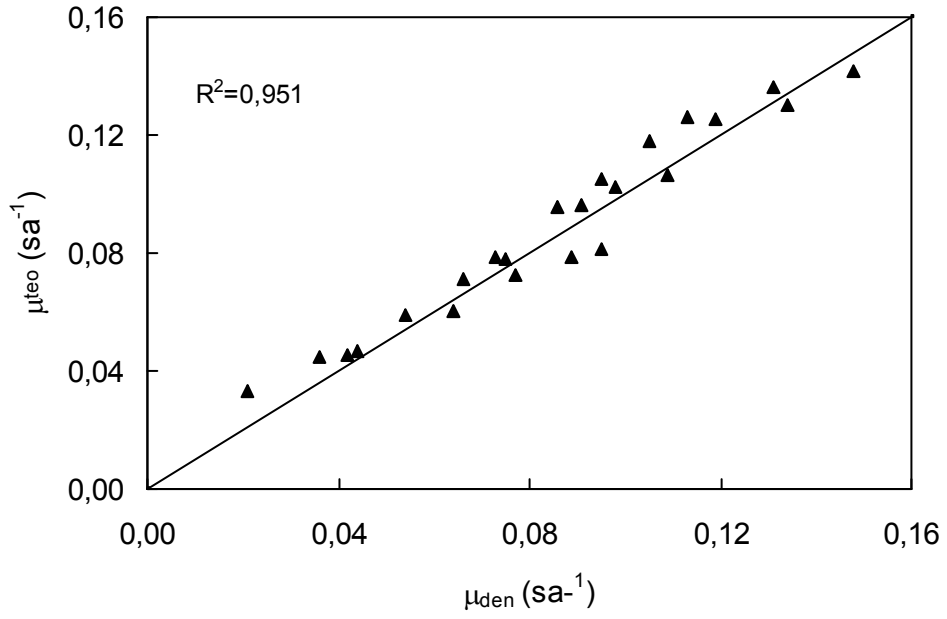
Şekiller, non-lineer regresyon katsayıları ve hesaplanan % hata değerleri kıyaslanarak, bakır(II) iyonlarının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*’nın özgül üreme hızı üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı inhibisyon modeline uyduğu söylenebilir.

Çizelge 5.12. Bakır(II) iyonlarının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*’nın üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri

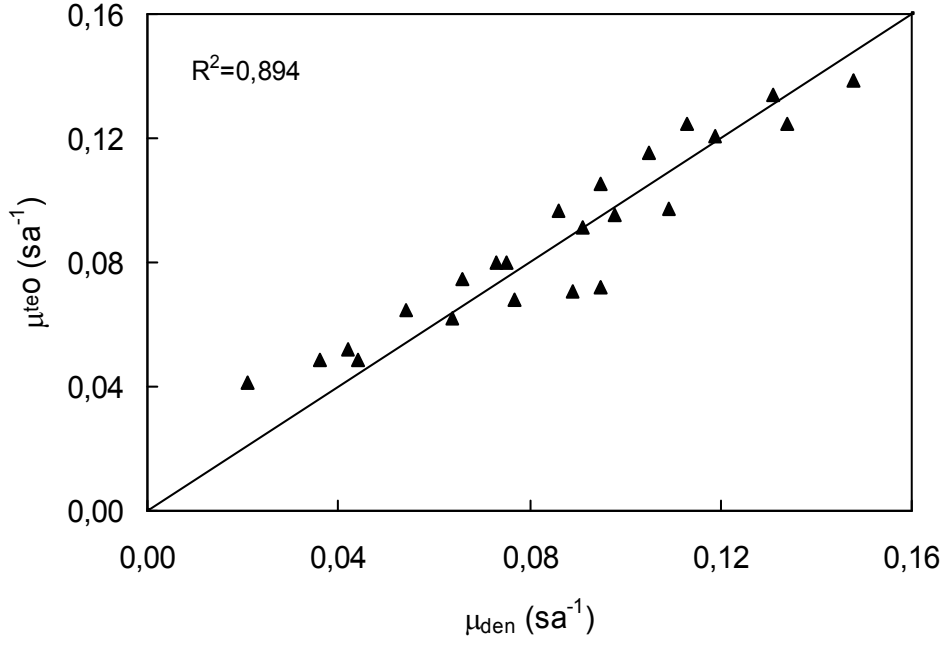
Maya türü	İnhibisyon türü	K _i (mg/L)	Ort % Hata
<i>C. tropicalis</i>	Yarışmalı	150,09	10,13
	Yarışmasız	566,13	10,37
	Kısmi yarışmalı	387,44	15,19
<i>C. utilis</i>	Yarışmalı	243,05	11,99
	Yarışmasız	633,31	12,62
	Kısmi yarışmalı	465,66	18,73
<i>C. membranaefaciens</i>	Yarışmalı	111,12	11,65
	Yarışmasız	354,06	23,98
	Kısmi yarışmalı	345,31	33,81
<i>C. lipolytica</i>	Yarışmalı	89,44	8,00
	Yarışmasız	369,11	20,20
	Kısmi yarışmalı	263,23	26,68



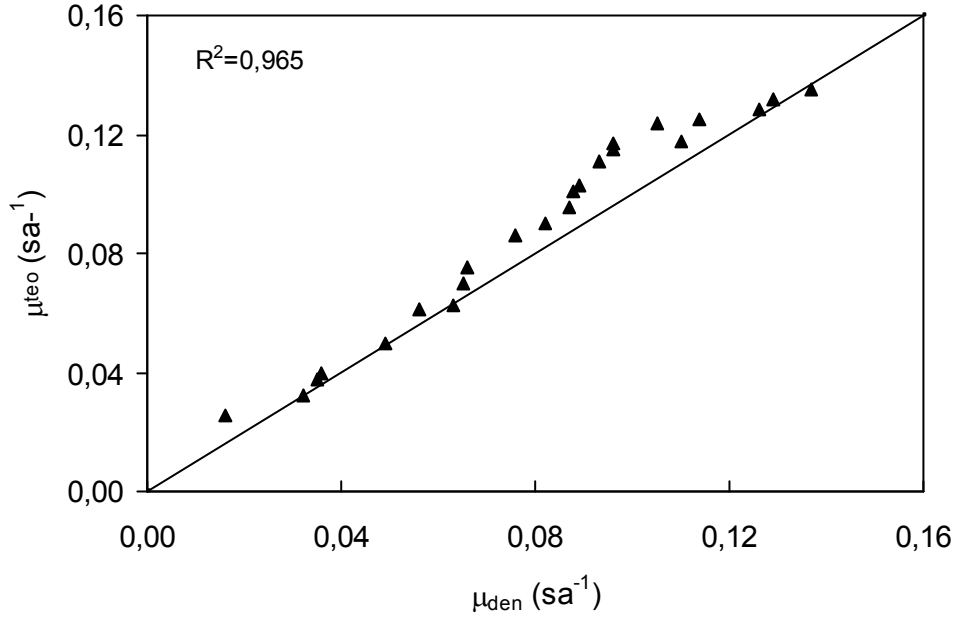
Şekil 5.36. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



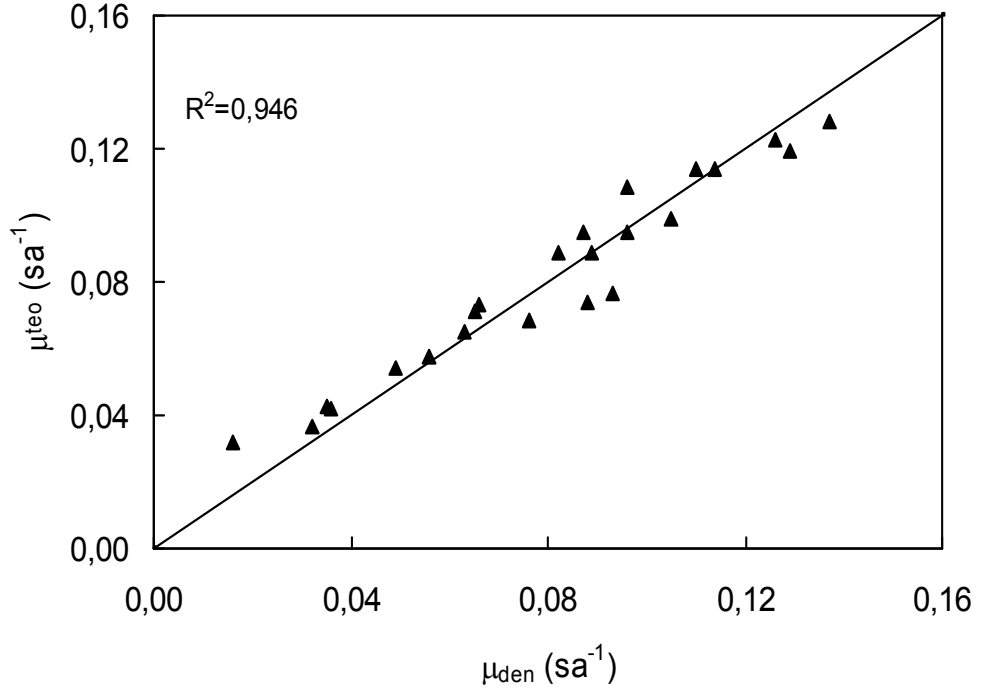
Şekil 5.37. *C. tropicalis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



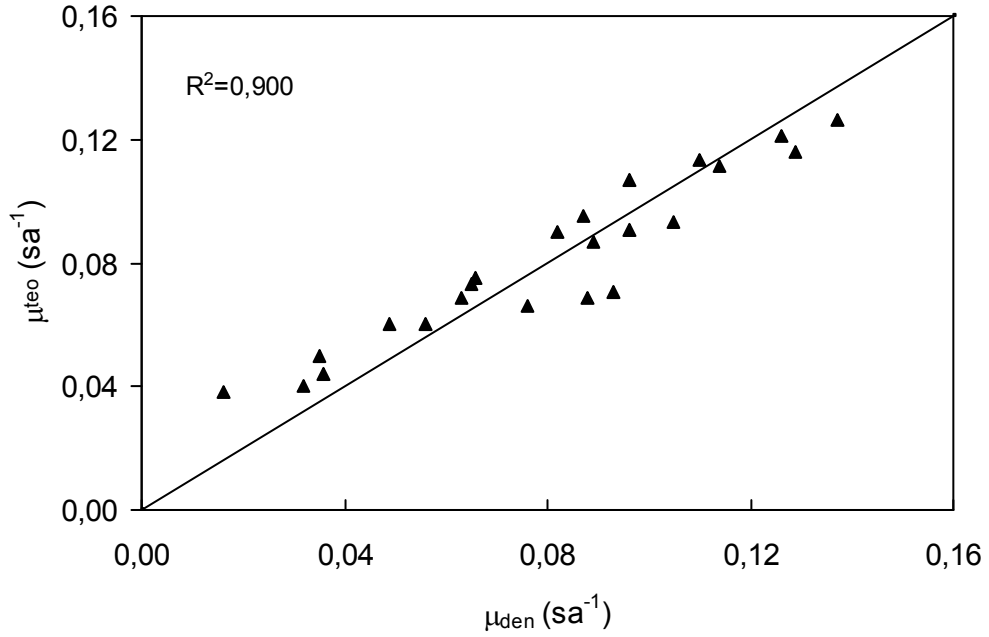
Şekil 5.38. *C. tropicalis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



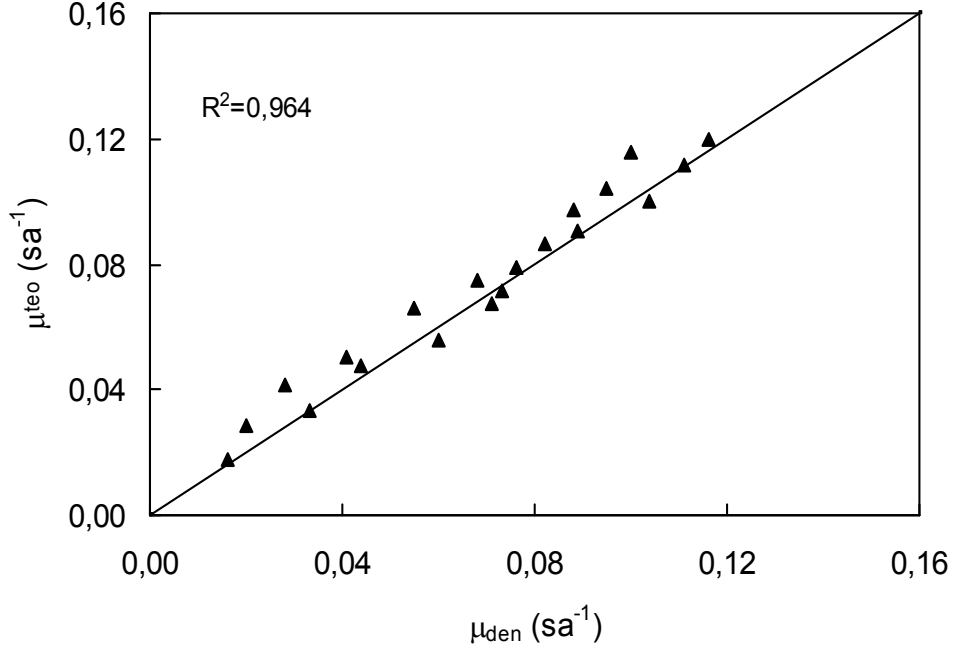
Şekil 5.39. *C. utilis* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



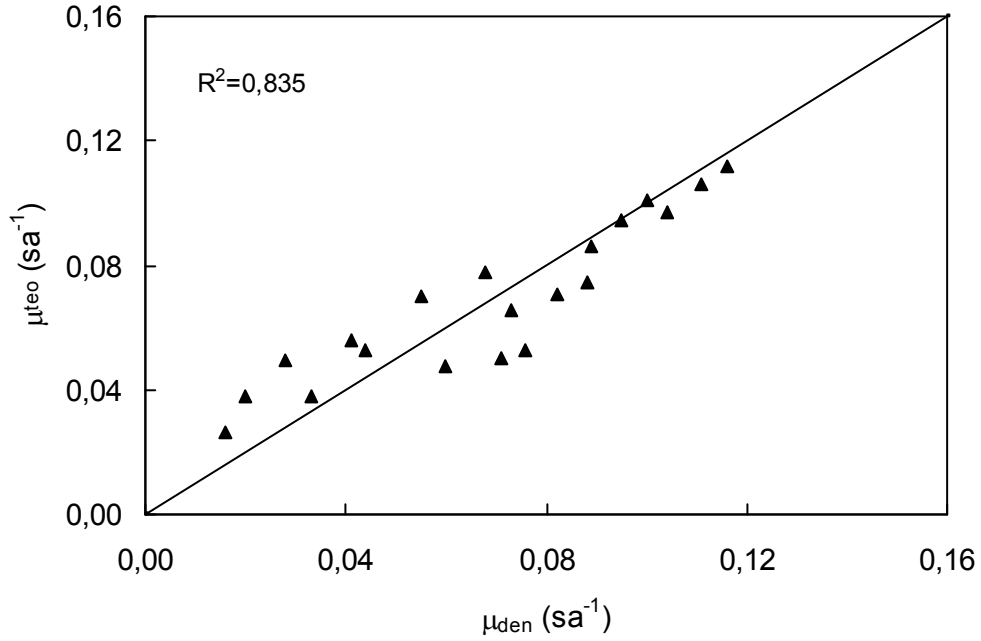
Şekil 5.40. *C. utilis* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



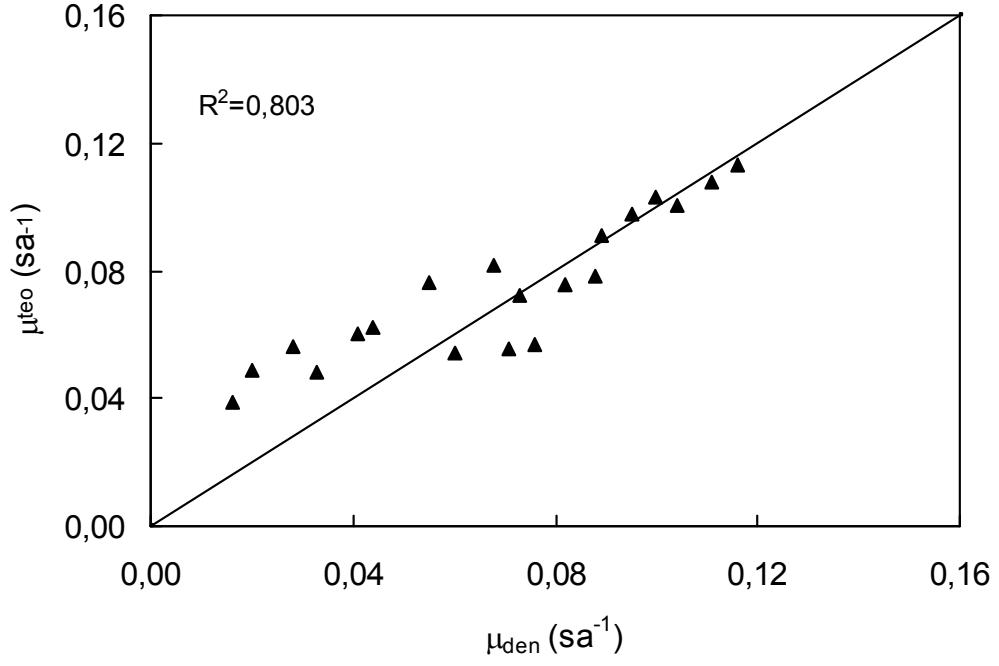
Şekil 5.41. *C. utilis* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



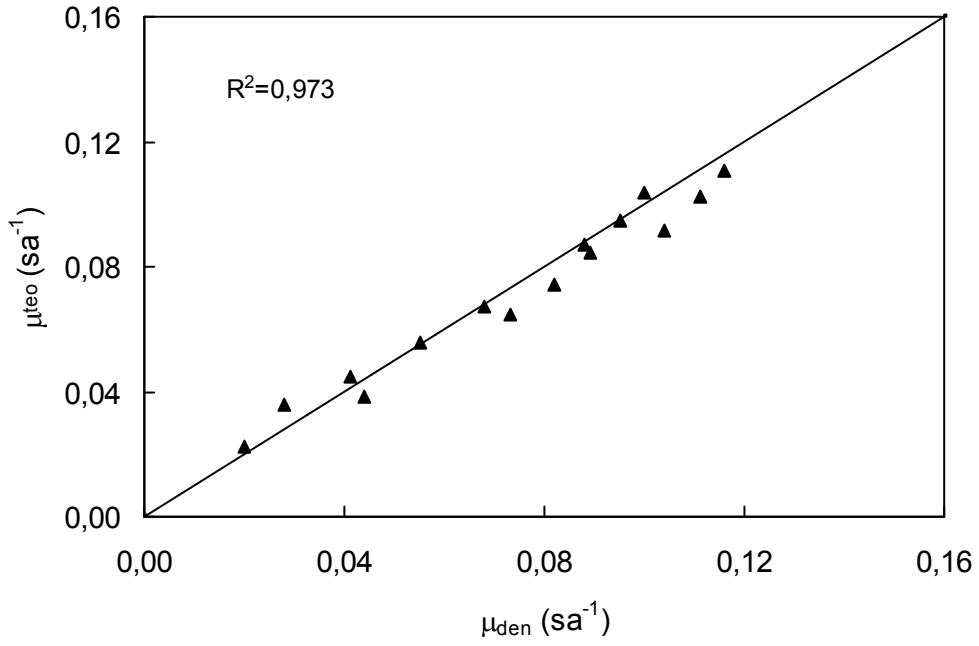
Şekil 5.42. *C. membranaefaciens* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



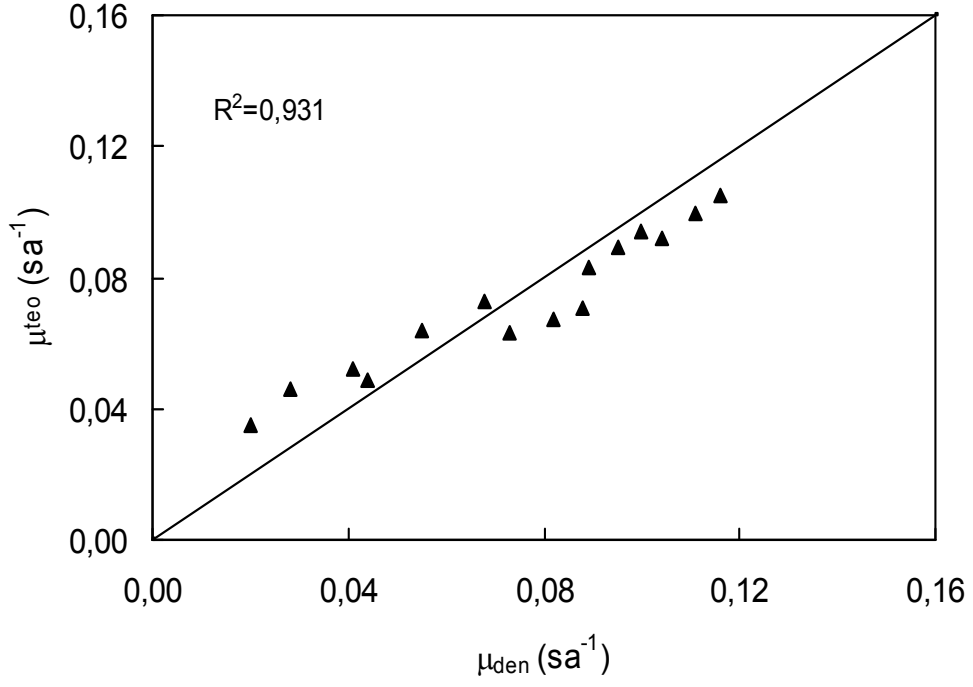
Şekil 5.43. *C. membranaefaciens* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



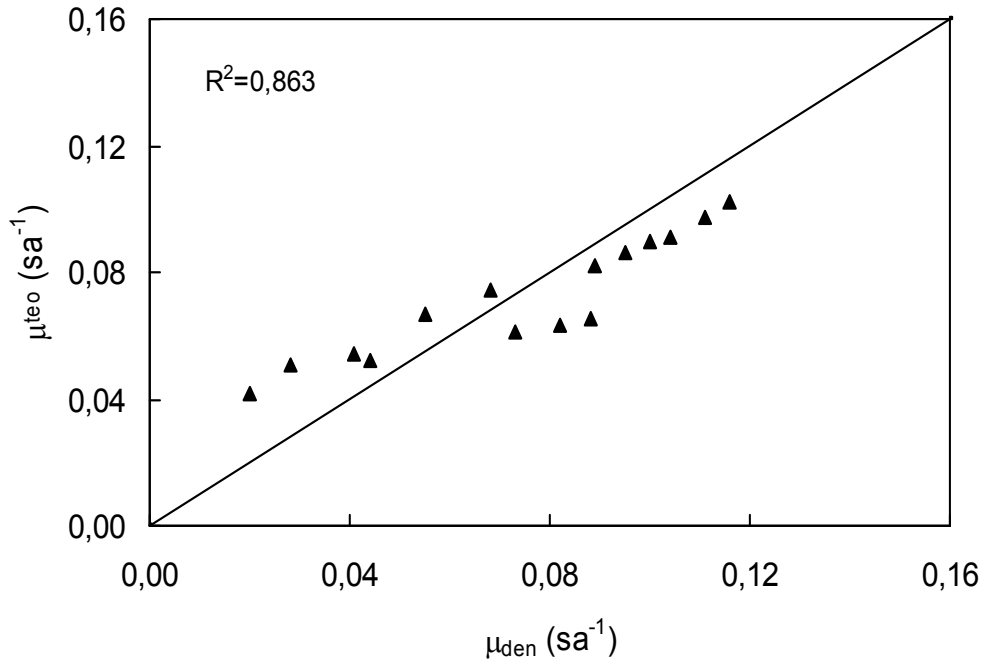
Şekil 5.44. *C. membranaefaciens* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.45. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45^0 doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.46. *C. lipolytica* için deneysel ve yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.47. *C. lipolytica* için deneysel ve kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.1.4. Remazol Turkuaz Blue G-bakır(II) karışımlarını birarada içeren melaslı besin ortamında *C. tropicalis*'in büyüme kinetiğinin incelenmesi

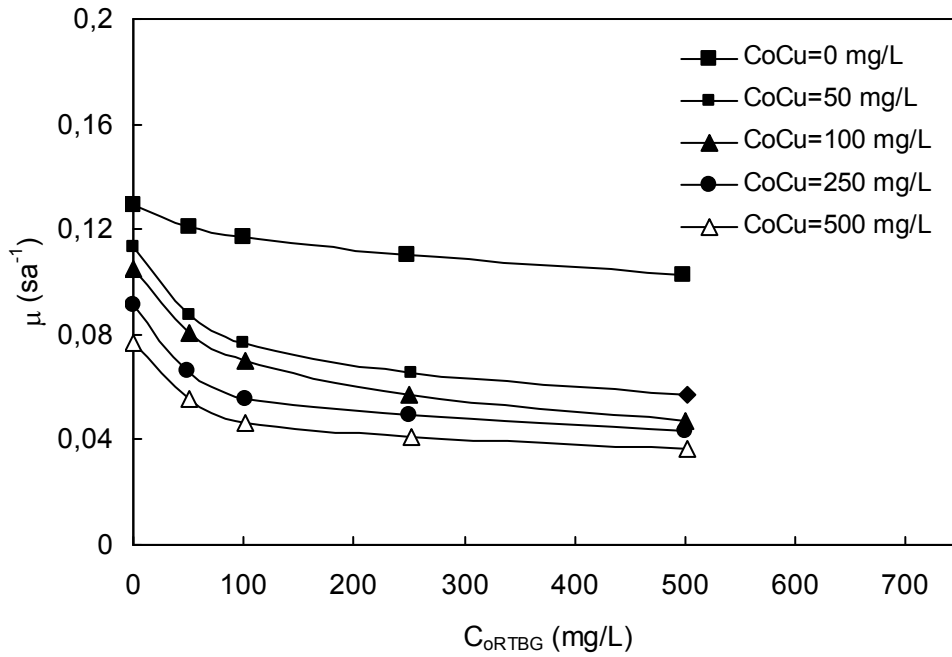
Atıksularda birden fazla türde kirleticinin bulunması daha sık rastlanılacak ve daha gerçekçi bir durumdur. Bu halde bu kirleticilerin mayaların üremesi üzerine birleştirilmiş etkilerinin araştırılması gerekir. Deneysel çalışmaların bu kısmı pH 4'de ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) karışımlarını birarada ve maksimum 1000 mg/L (500 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+500 mg/L bakır(II)) olacak şekilde içeren besin ortamında gerçekleştirilmiş ve her iki kirleticinin *C. tropicalis* mayasının büyümesine ortak etkisi araştırılmıştır.

5.1.4.1. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

C. tropicalis ile Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi 50-500 mg/L aralığında değiştirilirken, bakır(II) derişimi her bir değişen Remazol Turkuaz Blue G derişim seti için 0, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{oRTBG}/C_{oCu} oranı 1 ila 10 arasında değiştirilmiştir. Şekil 5.48'de her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak bakır(II) iyon derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.13'de ise her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. tropicalis*'in özgül üreme hızları, maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri sunulmuştur. Çizelgeden başlangıç bakır(II) derişiminin 0'dan 500 mg/L'ye kadar artmasıyla 50'den 500 mg/L'ye kadar artan bütün Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde, özgül üreme hızı, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, üreme süresinin ise arttığı, bakır(II) derişimindeki artışın ise üreme süresi hariç diğer bütün değerleri daha da düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde bakır(II) iyonu içermeyen ama 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı 0.117 sa^{-1} , maksimum mikroorganizma derişimi 3.60 g/L ve üreme süresi 54 saat

iken, ortamda 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) iyonu bulunduğunda özgül üreme hızı 0.070 sa^{-1} 'e, maksimum mikroorganizma derişimi 2.88 g/L 'ye düşerken üreme süresi 72 saate çıkmıştır.

10 g/L sakkaroz içeren besin ortamı hiçbir kirleticiyi ihtiva etmediğinde, 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G eklendiğinde ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) iyonu içerdiği durumda elde edilen özgül üreme hız değerleri sırasıyla 0.129 sa^{-1} , 0.117 sa^{-1} ve 0.07 sa^{-1} 'dir. Bu durumda özgül üreme hızı besin ortamında sadece boyarmadde olduğunda % 9.3 oranında azalırken, her iki kirleticinin olduğu durumda bu azalma % 40.2'ye çıkmıştır. Bu sonuçlardan her iki kirleticinin mayanın üremesine ortak etkisinin antogonistik (üreme üzerindeki olumsuz etkiyi artırıcı), bakır(II) iyonlarının mayanın üremesi üzerine inhibisyon etkisinin çok daha kuvvetli olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 5.48 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S₀=10 g/L, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.13. Her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde değişen farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri

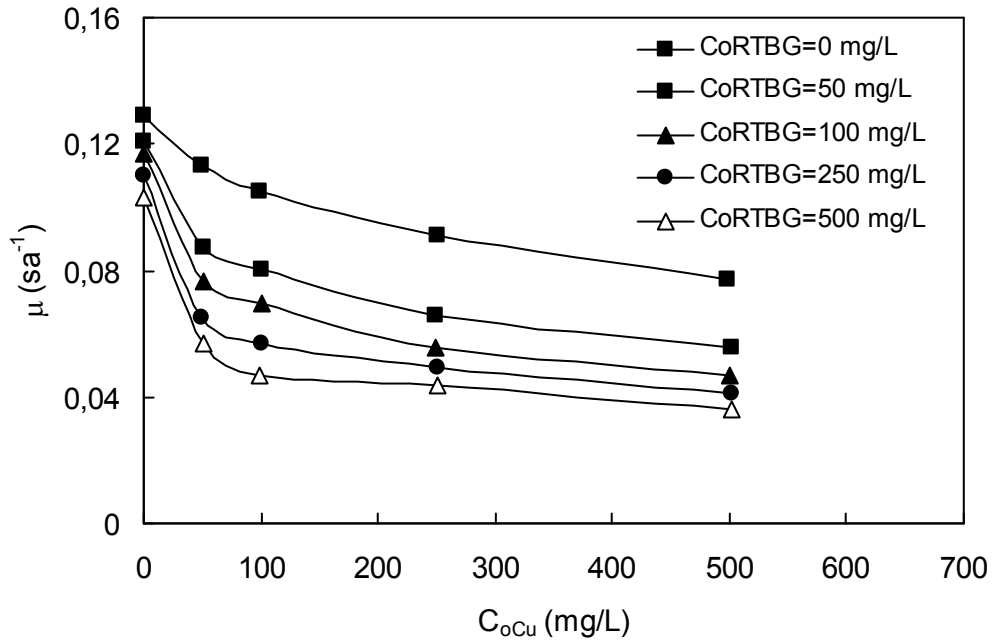
C_{oRTBG} (mg/L)	C_{oCu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	$t_{\text{üreme}}$ (sa)
51,2	0	0,121	3,63	51
99,5	0	0,117	3,60	54
248,6	0	0,110	3,11	61
498,6	0	0,103	2,68	63
50,6	51,2	0,087	3,28	57
99,8	50,9	0,077	3,04	61
251,3	49,6	0,065	2,56	69
501,5	51,1	0,057	2,18	78
51,3	101,3	0,080	2,96	62
101,2	100,6	0,070	2,88	72
249,8	101,2	0,057	2,49	78
500,8	99,8	0,047	2,16	85
49,7	249,8	0,066	2,51	75
100,8	249,8	0,055	2,46	86
250,9	250,4	0,049	2,37	99
499,8	251,5	0,044	2,11	113
50,6	501,1	0,056	1,66	79
102,2	499,8	0,047	1,61	91
252,3	501,4	0,041	1,55	104
501,3	502,2	0,036	1,50	120

5.1.4.2. Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde bakır(II) derişiminin mayanın üremesine etkisi, aynı verilerle, 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G iyon derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 50-500 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir. Şekil 5.49'de her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi sunulmuştur. Şekilden, başlangıç bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla özgül üreme hız değerlerinin azaldığı, ancak Remazol Turkuaz Blue G derişimindeki artışın özgül üreme hız değerlerini daha da azalttığı görülmektedir. Çizelge 5.13'den her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde değişen farklı başlangıç bakır(II) derişimlerinde elde edilen *C. tropicalis*'in özgül üreme hızları, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri ve üreme süreleri bulunabilir. Çizelgeden başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 0'dan 500 mg/L'ye kadar artmasıyla 50'den 500 mg/L'ye kadar artan bütün bakır(II) derişimlerinde, özgül üreme hızı, maksimum mikroorganizma derişimi değerlerinin azaldığı, üreme süresinin ise arttığı, Remazol Turkuaz Blue G derişimindeki artışın ise üreme süresi hariç diğer bütün değerleri oldukça fazla düşürdüğü gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde Remazol Turkuaz Blue G içermeyen ama 100 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı 0.105 sa^{-1} , maksimum mikroorganizma derişimi 3.34 g/L ve üreme süresi 49 saat iken, ortamda 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G bulunduğunda özgül üreme hızı 0.070 sa^{-1} 'e, maksimum mikroorganizma derişimi 2.88 g/L'ye düşerken, üreme süresi 72 saate çıkmıştır.

10 g/L sakkaroz içeren besin ortamı hiçbir kirleticiyi ihtiva etmediğinde, 100 mg/L bakır(II) iyonu eklendiğinde 100 mg/L bakır(II)+100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G iyonu içerdeği durumda elde edilen özgül üreme hız değerleri sırasıyla 0.129 sa^{-1} , 0.105 sa^{-1} ve 0.07 sa^{-1} 'dir. Bu durumda özgül üreme hızı besin ortamında sadece bakır(II) iyonu olduğunda % 18.6 oranında azalırken, her iki kirleticinin olduğu durumda bu azalma % 33.3'e çıkmıştır. Bu sonuçlardan besin ortamına

boyarmaddenin ikinci bileşen olarak eklenmesinin büyüme hızını daha az kısıtladığı söylenebilir.



Şekil 5.49. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) iyon derişiminin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine etkisi (T=25°C, S_o=10 g/L, pH=4.0, K. H. 150 rpm)

5.1.4.3. Inhibisyon sabitlerinin hesaplanması

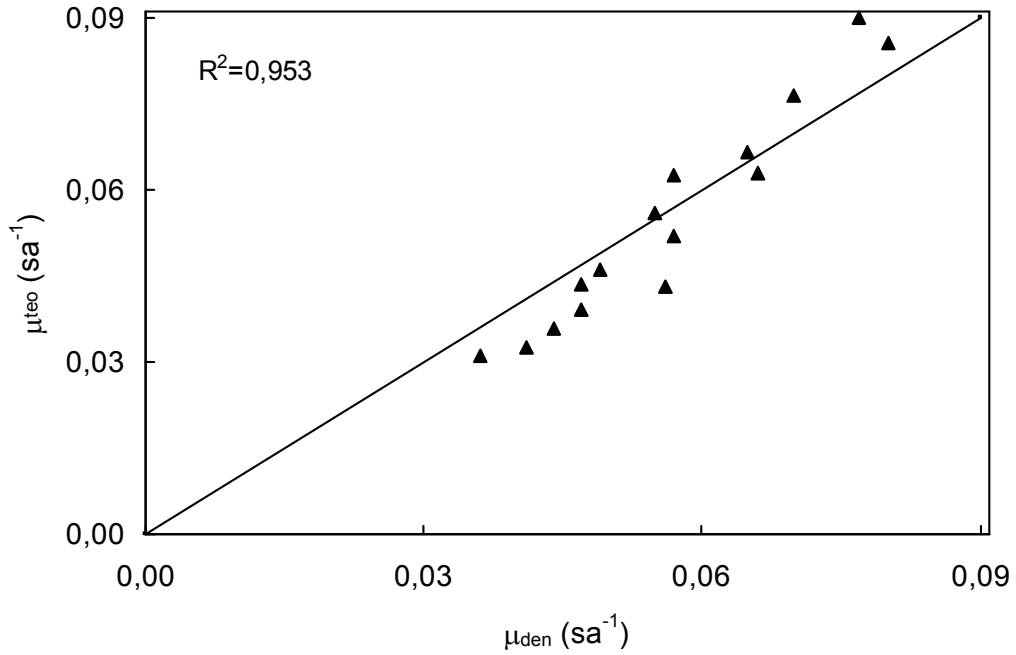
Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında, her iki kirleticinin *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyon etkisi, tek bileşenli inhibisyon modellerinden yola çıkılarak türetilen ve Eşitlikler 3.8, 3.9 ve 3.10'da verilen ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modelleri kullanılarak araştırılmıştır. Deneysel μ değerleri kullanılarak her bir modele ait birinci ve ikinci bileşen inhibisyon sabitleri non-lineer 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 45⁰ doğrusu üzerinde (R²'leri verilerek) karşılaştırılmasıyla araştırılmış, deneysel verilerin en düşük ortalama % hata veren ve R²'si en yüksek modele modele en iyi uyduğu varsayılmıştır.

Deneysel verilere ikili yarışmalı, yarışmasız ve kısmi yarışmalı inhibisyon modellerinin uygulanmasıyla bulunan birinci (Remazol Turkuaz Blue G) ve ikinci

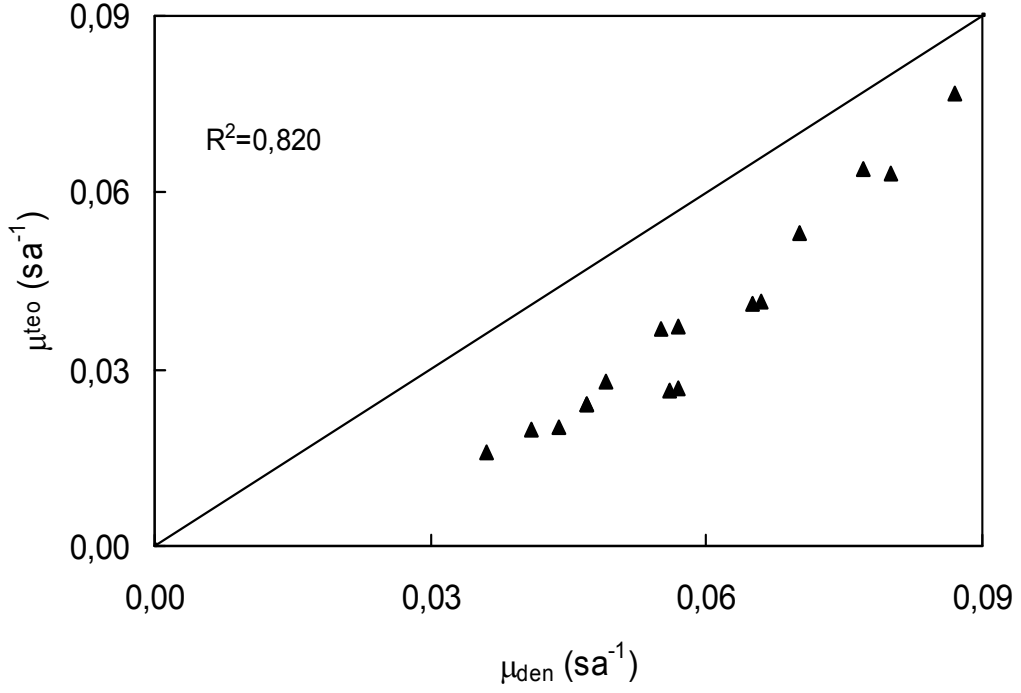
bileşen (bakır(II)) e ait inhibisyon sabitleri ortalama % hata değerleriyle birlikte Çizelge 5.14'de sunulmuştur. Şekiller 5.50-5.52'de ise teorik ve deneysel μ değerleri 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılmıştır. Şekiller, R^2 'ler ve hesaplanan % hata değerleri karşılaştırılarak Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının çalışılan derişim aralığında *C. tropicalis*'in özgül üreme hızı üzerine yaptığı ortak inhibisyonun ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

Çizelge 5.14. Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ve ikili karışımlarının *C. tropicalis*'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun tanımlanması için kullanılan inhibisyon modelleri, bu modellere ait inhibisyon sabitleri ve ortalama % hata değerleri

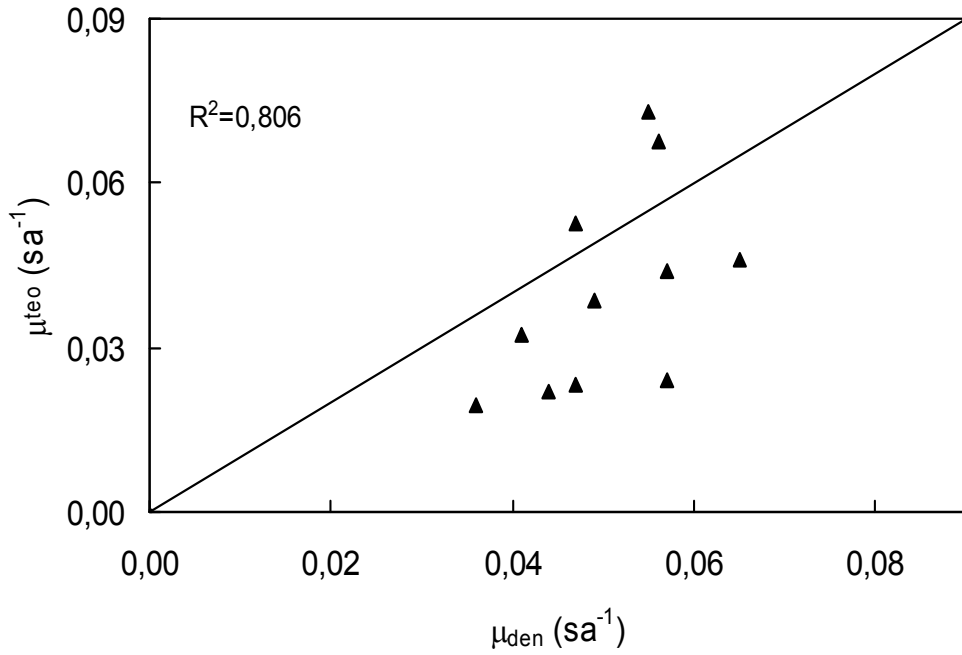
Inhibisyon türü	K_{iRTBG} (mg/L)	K_{iCu} (mg/L)	Ort % Hata
İkili Yarışmalı	65,09	89,44	11,29
İkili Yarışmasız	130,02	369,11	38,92
İkili Kısmi yarışmalı	4,65	263,23	42,83



Şekil 5.50. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.51. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili yarışmasız inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması



Şekil 5.52. *C. tropicalis* için deneysel ve ikili kısmi yarışmalı inhibisyon modeline göre bulunan teorik özgül üreme hız değerlerinin 45° doğrusu üzerinde karşılaştırılması

5.1.5. Serbest maya hücrelerine Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi

5.1.5.1. Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi

Başlangıç pH'ının etkisi

Tüm maya türlerinin maksimum ürediği pH değerinde maksimum Remazol Turkuaz Blue G biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediklerini gözlemek amacıyla yine pH 3-5 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde bir seri deney yapılmış ve her bir maya türü için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.15'de sunulmuştur. Çizelgeden tüm maya türleri için en çok üremenin gözleendiği pH 4.0'de yine Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin de maksimum olduğu ve bu pH değerinde en yüksek Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişim değerine *C. tropicalis* mayasının sahip olduğu dikkati çekmektedir.

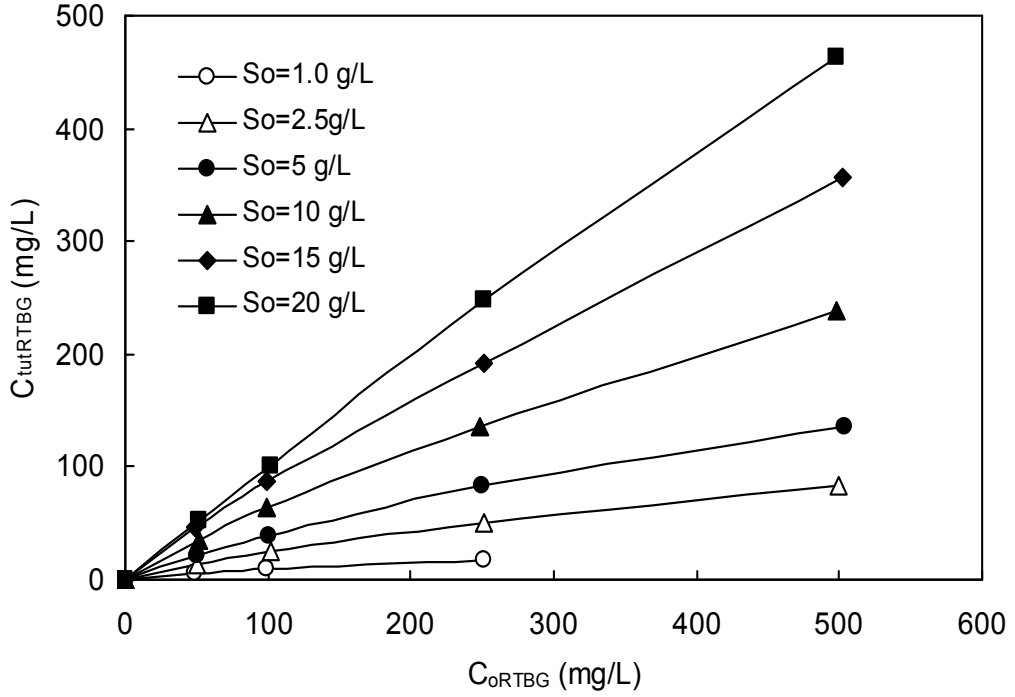
Çizelge 5.15. Başlangıç pH'ının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın biyobiriktirdiği maksimum Remazol Turkuaz Blue G derişimine ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesine etkisi

pH=3		
	C_{tutRTBG} (mg/L)	$q_{\text{m RTBG}}$ (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	45,5	17,00
<i>C. utilis</i>	41,3	16,02
<i>C. membranaefaciens</i>	39,6	15,70
<i>C. lipolytica</i>	33,4	14,47
pH=4		
	C_{tutRTBG} (mg/L)	$q_{\text{m RTBG}}$ (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	63,8	17,72
<i>C. utilis</i>	58,1	16,68
<i>C. membranaefaciens</i>	50,8	15,83
<i>C. lipolytica</i>	41,9	14,66
pH=5		
	C_{tutRTBG} (mg/L)	$q_{\text{m RTBG}}$ (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	44,4	17,70
<i>C. utilis</i>	34,9	16,36
<i>C. membranaefaciens</i>	33,1	14,37
<i>C. lipolytica</i>	29,3	13,22

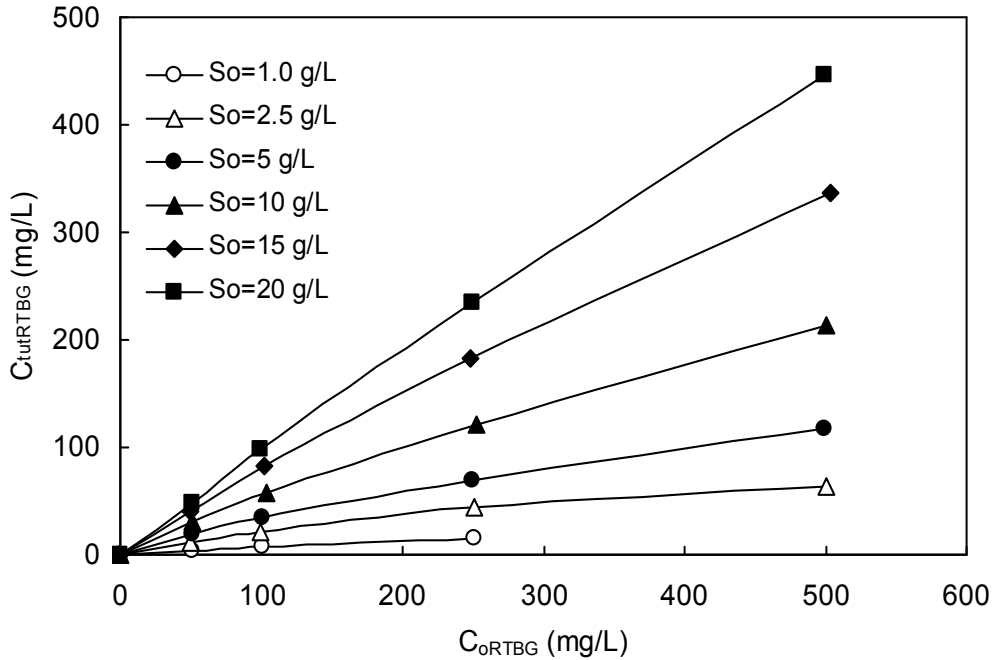
Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

DeneySEL çalışmaların bu kısmında mayaların Remazol Turkuaz Blue G'ye karşı gösterdiği direnci ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesini araştırmak üzere 1.0-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızına, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimine, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesine ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimine başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi 50-500 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar şekil 5.53-5.56 ve Çizelge 5.16-5.19'da sunulmuştur. şekillerden ve çizelgelerden başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen

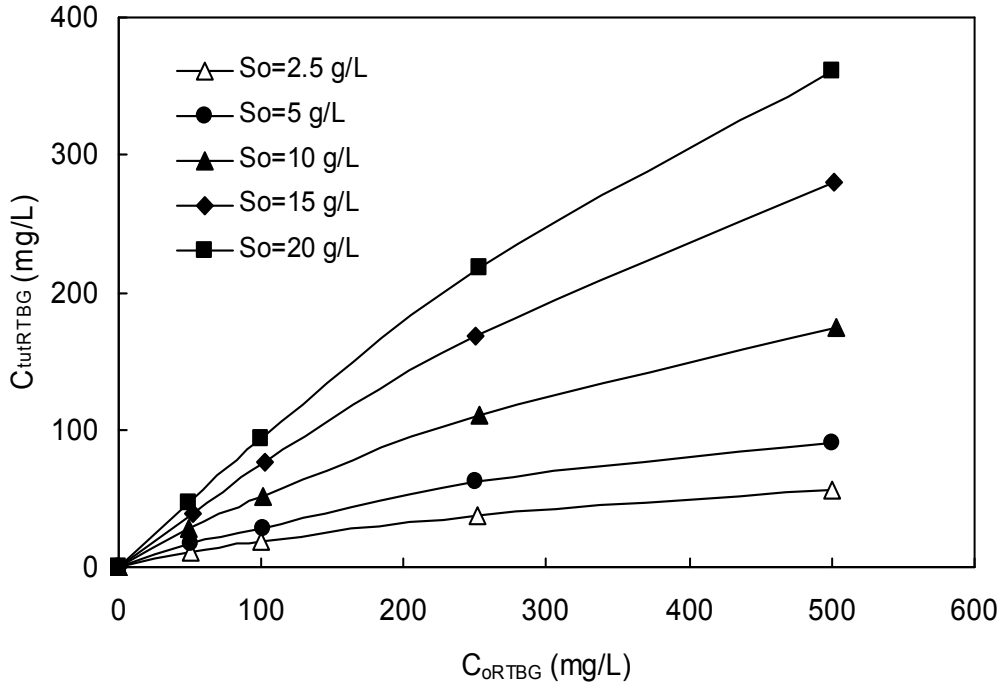
Remazol Turkuaz Blue G derişiminin, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesinin arttığı, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde *C. tropicalis* için başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.090'dan 0.207 mg RTBG/g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 63.8 mg RTBG/L'den 239.3 mg RTBG/L'ye, biyobirikim kapasitesi 17.72 mg RTBG/g k. mo.'dan 89.30 mg RTBG/g k. mo.'ya artmış, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değeri ise % 64.1'den % 48.0'e düşmüştür. *C. utilis* için aynı substrat derişiminde ortamda 100 mg/L boyarmadde bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri sırasıyla 0.087 mg RTBG/ g k. mo. sa, 58.1 mg RTBG/L, 16.68 mg RTBG/g k. mo. ve % 56.2 iken, boyarmadde derişimi 500 mg/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.198 mg RTBG/g k. mo. sa, 213.6 mg RTBG/L, 78.53 mg RTBG/g k. mo. ve % 42.6 olarak bulunmuştur. *C. membranaefaciens* için yine aynı sakkaroz derişiminde boyarmadde derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri ve biyobirikim kapasitesi degerleri 0.088 mg RTBG/ g k. mo. sa, 50.8 mg RTBG/L, 15.83 mg RTBG/g k. mo.'dan 0.182 mg RTBG/ g k. mo. sa, 174.3 mg RTBG/L, 67.57 mg RTBG/g k. mo.'ya çıkmış, % Remazol Turkuaz Blue G giderimi ise % 50.2'den % 34.7'ye azalmıştır. *C. lipolytica* için ise başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 100 mg/L'den 250 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.072'den 0.111 mg RTBG/ g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 41.9 mg RTBG/L'den 93.3 mg RTBG/L'ye, biyobirikim kapasitesi 14.66 mg RTBG/g k. mo.'dan 35.22 mg RTBG/g k. mo.'ya artmış, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değeri ise % 42.0'den % 37.1'e düşmüştür. Çizelge ve şekillerden *C. tropicalis*'in çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde diğer mayalardan daha yüksek hız ve kapasitede Remazol Turkuaz Blue G biriktirdiği açık olarak görülmektedir.



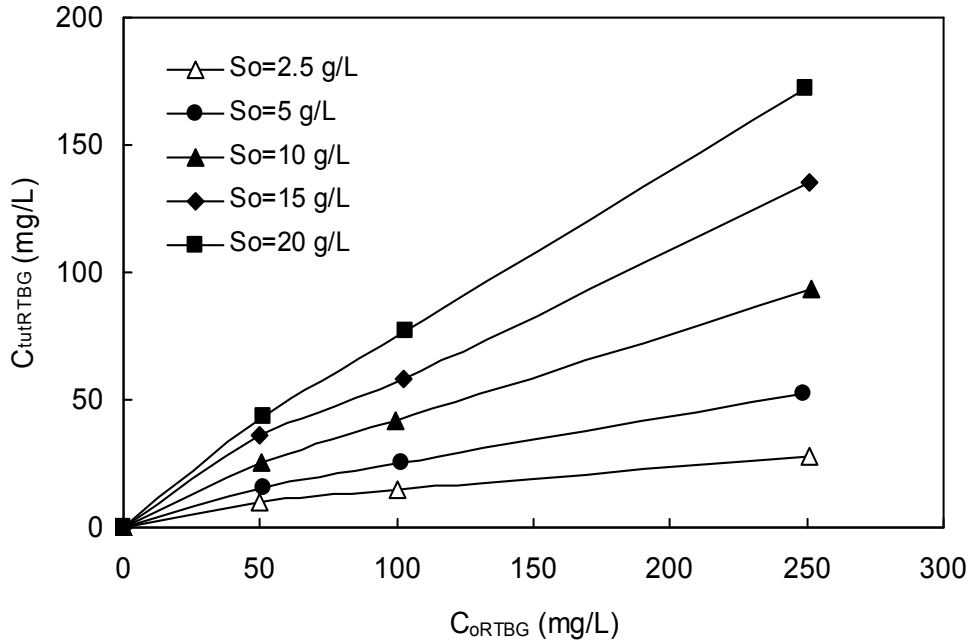
Şekil 5.53. 2.5-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.54. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.55. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. membranaefaciens* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi ($T=25^{\circ}C$, $pH=4,0$, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.56. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi ($T=25^{\circ}C$, $pH=4,0$, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.16. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
49,4	1,1	0,048	5,9	8,47	12,0
99,7	1,2	0,068	9,1	15,12	9,1
251,2	1,0	0,123	17,3	39,39	6,9
50,5	2,5	0,052	14,2	8,81	28,1
101,7	2,5	0,078	24,3	16,76	23,9
251,2	2,5	0,119	49,7	40,11	19,8
500,2	2,5	0,170	84,0	76,39	16,8
49,9	5,0	0,055	22,0	9,07	44,0
100,3	4,9	0,084	38,3	17,50	38,2
249,9	4,9	0,143	82,7	41,36	33,1
503,2	5,1	0,171	134,9	78,86	26,8
51,2	10,4	0,059	35,3	9,73	69,0
99,5	11,3	0,090	63,8	17,72	64,1
248,6	11,1	0,162	136,2	43,80	54,8
498,6	10,3	0,207	239,3	89,30	48,0
48,7	15,2	0,071	46,0	9,19	94,5
99,0	15,5	0,109	87,1	18,34	88,0
251,3	15,0	0,197	192,7	44,93	76,7
502,3	14,8	0,263	356,6	90,29	71,0
52,3	21,0	0,076	52,2	9,22	99,8
101,7	21,2	0,132	101,1	18,58	99,4
250,8	21,8	0,230	247,5	47,70	98,7
497,8	20,1	0,310	463,0	96,45	93,0

Çizelge 5.17. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
50,9	1,1	0,038	4,6	7,47	9,1
101,2	1,0	0,056	7,0	13,18	6,9
250,8	1,2	0,105	14,5	33,06	5,8
49,6	2,5	0,046	11,9	7,63	24,0
99,8	2,5	0,069	21,2	14,39	21,2
251,5	2,5	0,104	44,8	34,97	17,8
500,3	2,5	0,149	63,0	53,88	12,6
50,8	5,0	0,050	19,3	8,28	38,0
100,6	5,1	0,078	34,4	15,64	34,2
249,8	5,0	0,130	69,9	35,87	28,0
498,6	5,2	0,153	117,7	69,63	23,6
51,3	10,1	0,056	30,1	8,30	58,7
103,3	10,9	0,087	58,1	16,68	56,2
251,8	10,2	0,153	120,9	39,11	48,0
501,4	9,9	0,198	213,6	78,53	42,6
49,6	15,0	0,065	40,7	8,44	82,0
102,6	15,3	0,099	82,5	17,66	80,4
248,7	15,1	0,180	181,8	41,70	73,1
503,2	14,9	0,225	337,1	86,23	67,0
50,6	20,4	0,068	48,5	8,50	95,9
99,9	19,9	0,120	97,7	17,70	97,8
249,8	20,3	0,209	234,8	45,07	94,0
499,8	20,0	0,285	445,3	92,97	89,1

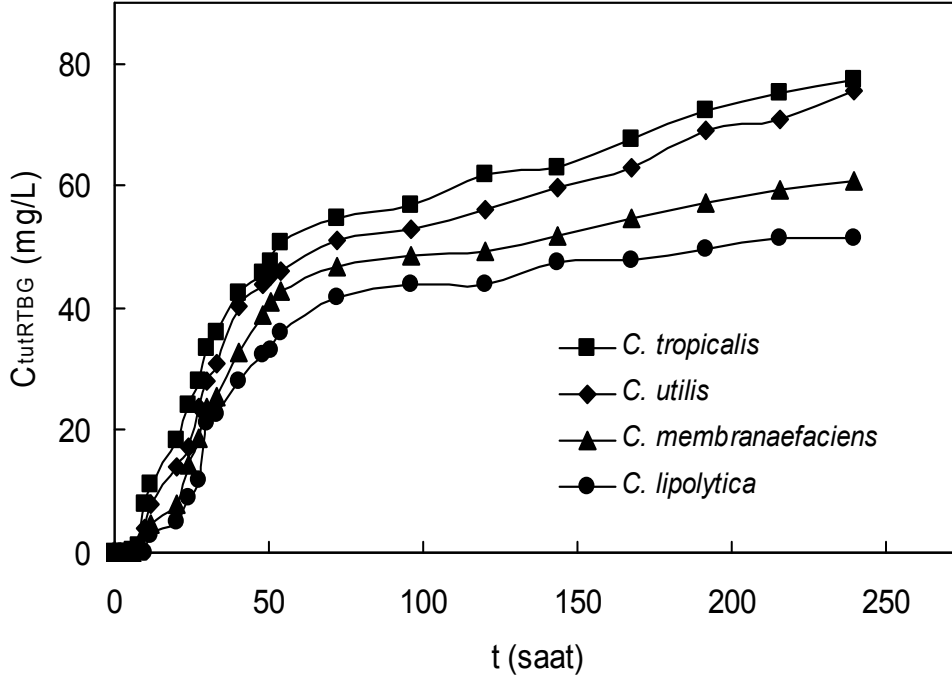
Çizelge 5.18. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. membranaefaciens* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
50,4	2,5	0,032	10,5	7,43	20,8
99,9	2,5	0,054	18,0	13,73	18,0
251,3	2,5	0,067	37,9	32,71	15,1
500,7	2,6	0,078	56,1	52,90	11,2
51,1	4,9	0,041	17,1	8,21	33,4
100,8	5,2	0,066	28,2	14,33	28,0
249,9	4,9	0,096	62,0	35,01	24,8
499,7	5,3	0,116	90,9	56,14	18,2
49,7	10,1	0,055	27,8	8,41	56,0
101,2	10,4	0,088	50,8	15,83	50,2
252,4	10,1	0,141	111,1	39,24	44,0
502,4	9,8	0,182	174,3	67,57	34,7
51,3	15,2	0,058	38,8	8,43	75,6
102,5	14,9	0,098	75,7	17,29	73,9
250,8	15,3	0,163	168,0	41,49	67,0
501,6	15,2	0,203	279,4	75,72	55,7
49,7	20,5	0,060	46,8	8,60	94,1
99,7	21,3	0,142	92,7	17,69	93,0
252,5	20,8	0,183	216,9	44,08	85,9
500,8	20,6	0,249	360,6	79,95	72,0

Çizelge 5.19. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
49,8	2,5	0,035	9,4	7,20	18,8
100,6	2,5	0,053	14,8	11,93	14,7
250,7	2,5	0,066	27,6	24,84	11,0
51,4	5,4	0,039	15,3	8,06	29,8
101,4	5,0	0,059	25,4	13,85	25,0
248,8	5,2	0,082	52,2	30,92	21,0
50,6	10,3	0,042	25,1	8,39	49,6
99,8	9,9	0,072	41,9	14,66	42,0
251,6	10,1	0,111	93,3	35,22	37,1
49,8	14,8	0,050	35,8	8,68	71,8
102,5	14,7	0,085	58,4	14,83	57,0
250,8	15,4	0,137	135,4	36,02	54,0
51,3	20,6	0,057	43,8	8,90	85,4
103,1	20,2	0,124	77,4	16,54	75,1
249,8	19,9	0,171	172,4	38,47	69,0

10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait biyobirikim eğrileri Şekil 5.57.'de karşılaştırılmıştır. Şekilden *C. tropicalis*'in en yüksek hız ve kapasitede Remazol Turkuaz Blue G biriktirdiği gözlenmektedir.

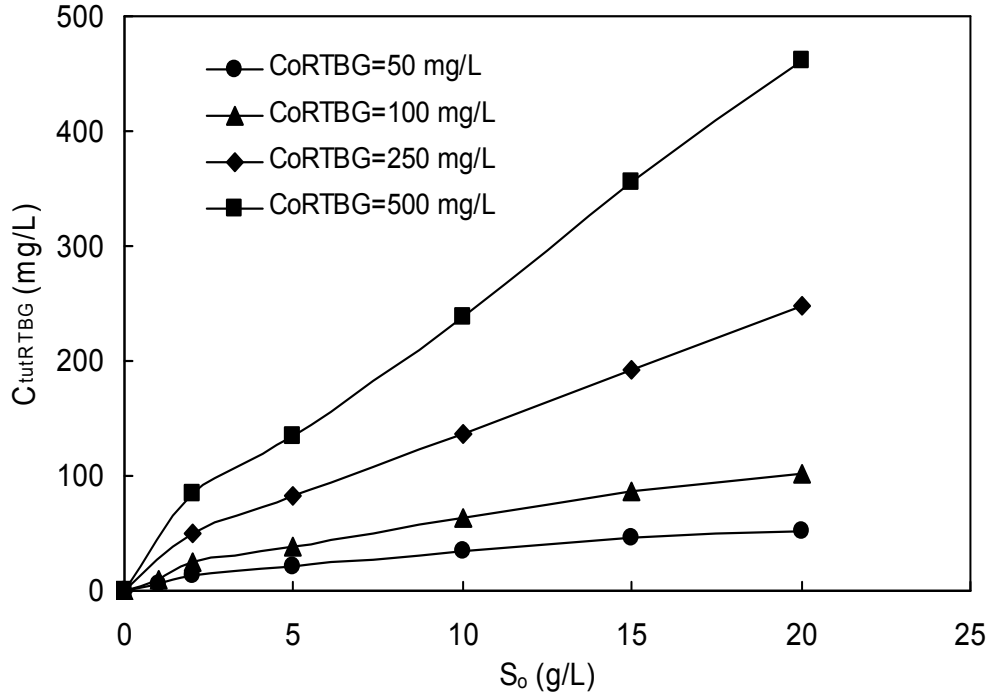


Şekil 5.57. 10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları

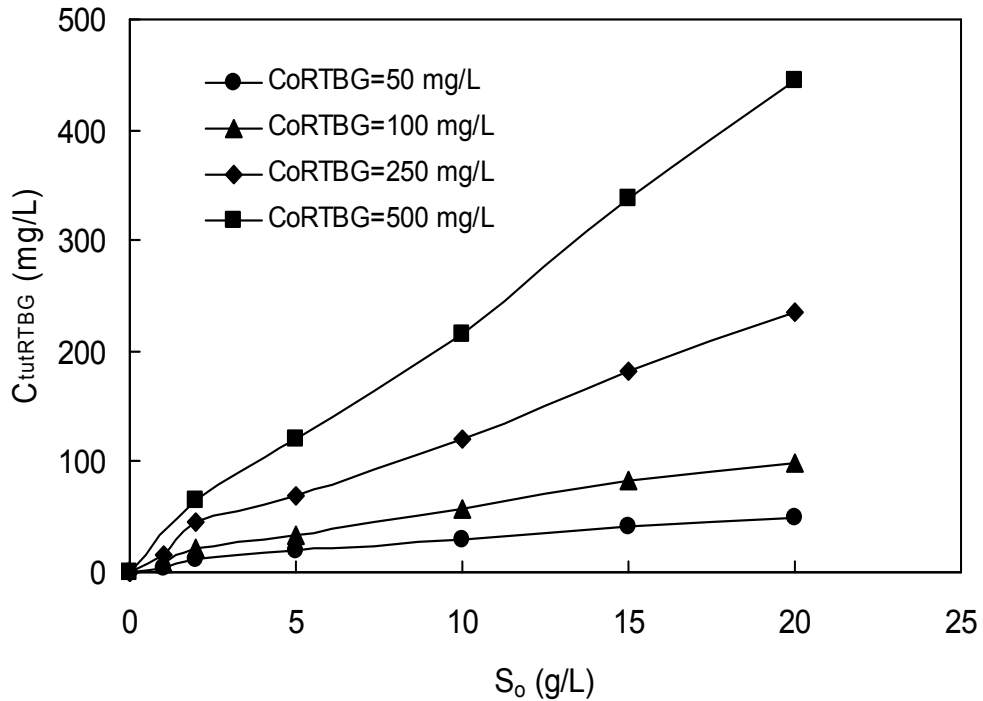
Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Remazol Turkuaz Blue G biyobirikimi, aynı verilerle 50-500 mg/L derişim aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 1.0-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve Çizelge 5.16-5.19 her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı sakkaroz derişimlerinde elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde edilen maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimine karşı başlangıç sakkaroz derişimi grafikleri Şekil 5.58-5.61'de sunulmuştur. Şekillerden tüm maya türleri için, çalışılan bütün Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Örneğin 100 mg/L sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis* için sakkaroz

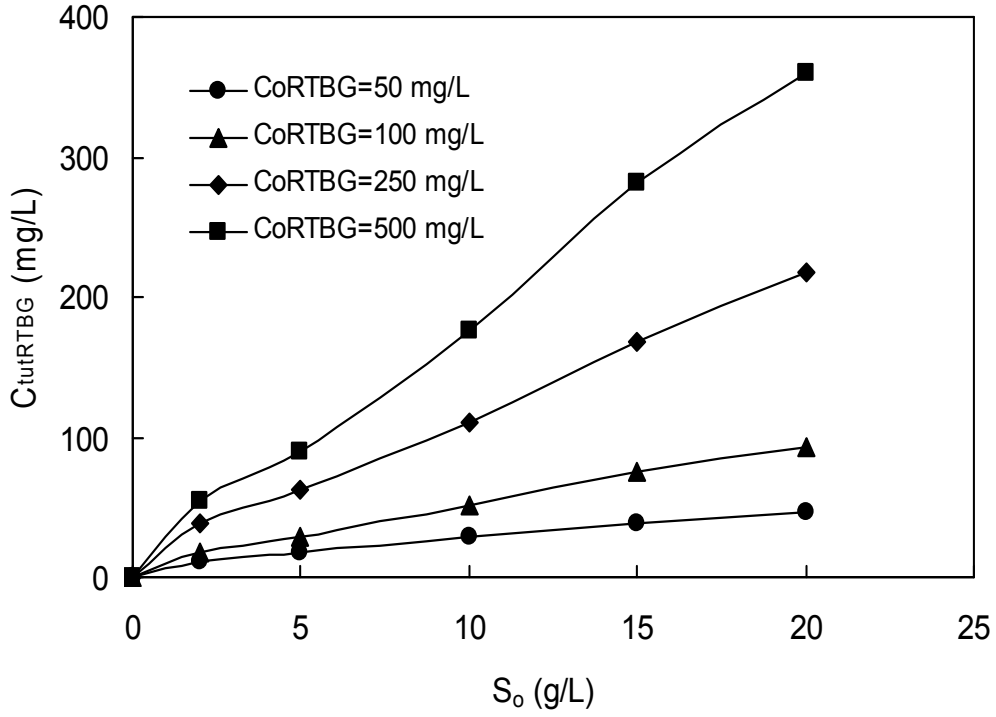
derişiminin 2.5 g/L'den 10 g/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.078'den 0.090 mg RTBG/ g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 24.3 mg RTBG/L'den 63.8 mg RTBG/L'ye artmış, biyobirikim kapasitesi 16.76 mg RTBG/g k. mo.'dan 17.72 mg RTBG/g k. mo.'ya, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değeri ise % 23.9'dan % 64.1'e artmıştır. *C. utilis* için aynı Remazol Turkuaz Blue G derişiminde ortamda 2.5 g/L sakkaroz bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri sırasıyla 0.069 mg RTBG/ g k. mo. sa, 21.2 mg RTBG/L, 14.39 mg RTBG/g k. mo. ve % 21.2 iken, sakkaroz derişimi 10 g/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.087 mg RTBG/g k. mo. sa, 58.1 mg RTBG/L, 16.68 mg RTBG/g k. mo. ve % 56.2 olarak bulunmuştur. *C. membranaefaciens* için yine aynı boyarmadde derişiminde sakkaroz derişiminin 2.5 g/L'den 10 g/L'ye artmasıyla biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri ve biyobirikim kapasitesi degerleri 0.054 mg RTBG/ g k. mo. sa, 18.0 mg RTBG/L, 13.73 mg RTBG/g k. mo.'dan 0.088 mg RTBG/ g k. mo. sa, 50.8 mg RTBG/L, 15.83 mg RTBG/g k. mo.'ya, % Remazol Turkuaz Blue G giderimi ise % 18.0'den % 50.2'ye artmıştır. *C. lipolytica* için ise aynı boyarmadde derişiminde ortamda 2.5 g/L sakkaroz bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri sırasıyla 0.053 mg RTBG/ g k. mo. sa, 14.8 mg RTBG/L, 11.93 mg RTBG/g k. mo. ve % 14.7 iken, sakkaroz derişimi 10 g/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.072 mg RTBG/g k. mo. sa, 41.9 mg RTBG/L, 14.66 mg RTBG/g k. mo. ve % 42.0 olarak bulunmuştur. Başlangıç sakkaroz derişimindeki artışın bütün mayaların Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı, bu artışın *C. tropicalis* mayasında en yüksek olduğu gözden kaçırılmamalıdır.



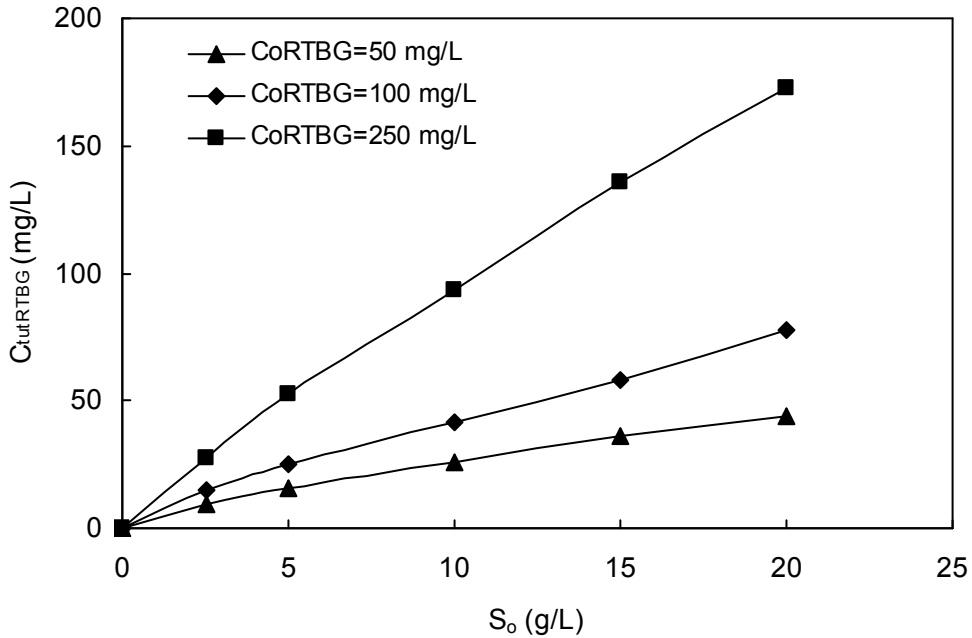
Şekil 5.58. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Gemazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.59. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



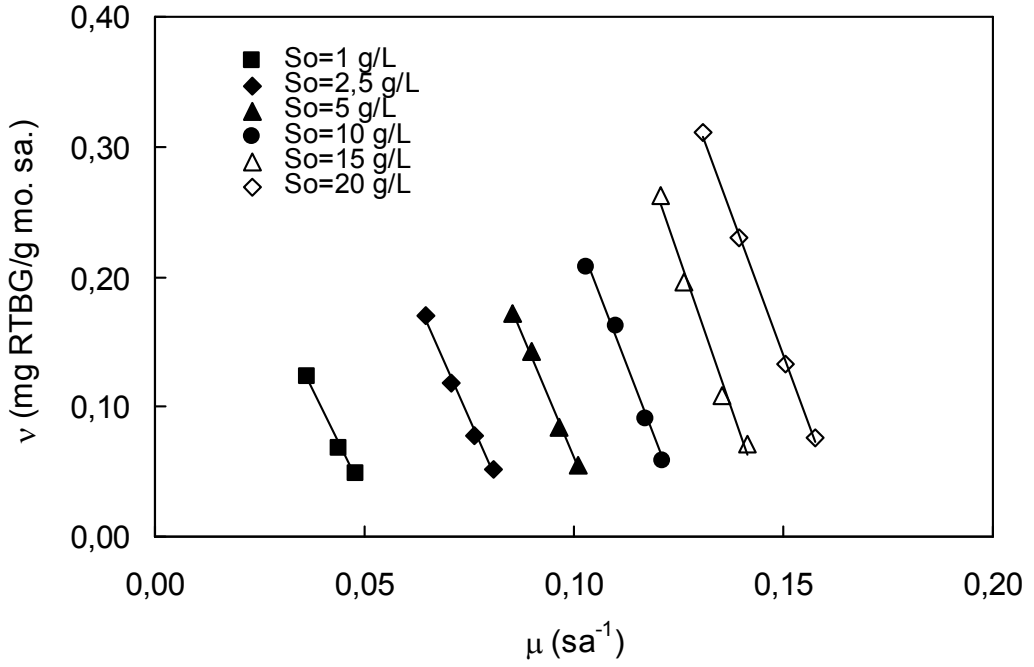
Şekil 5.60. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. membranaefaciens* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



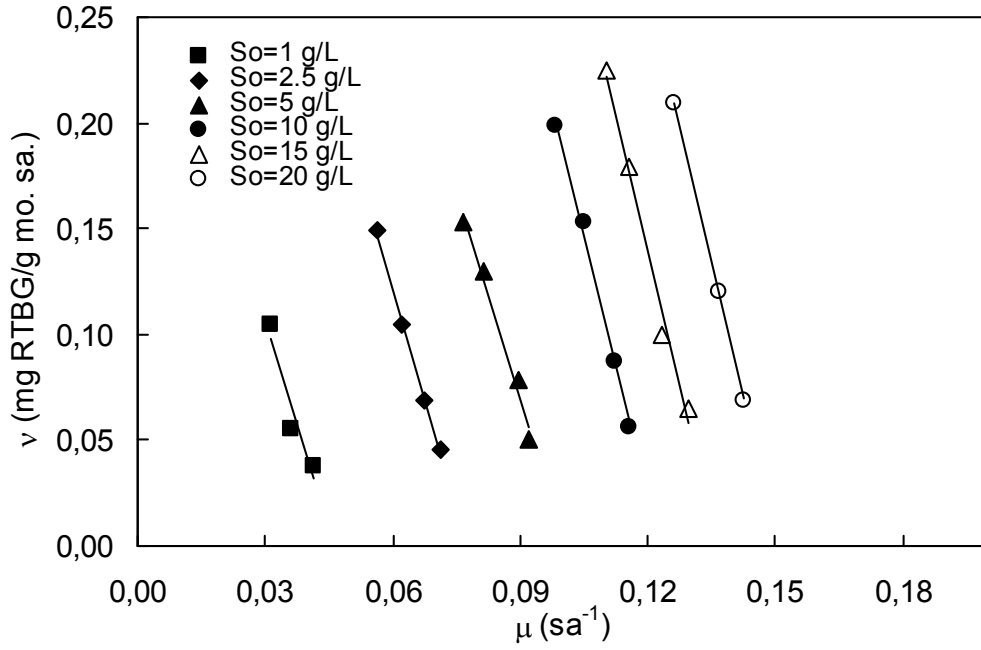
Şekil 5.61. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)

Kinetik sabitlerin bulunması

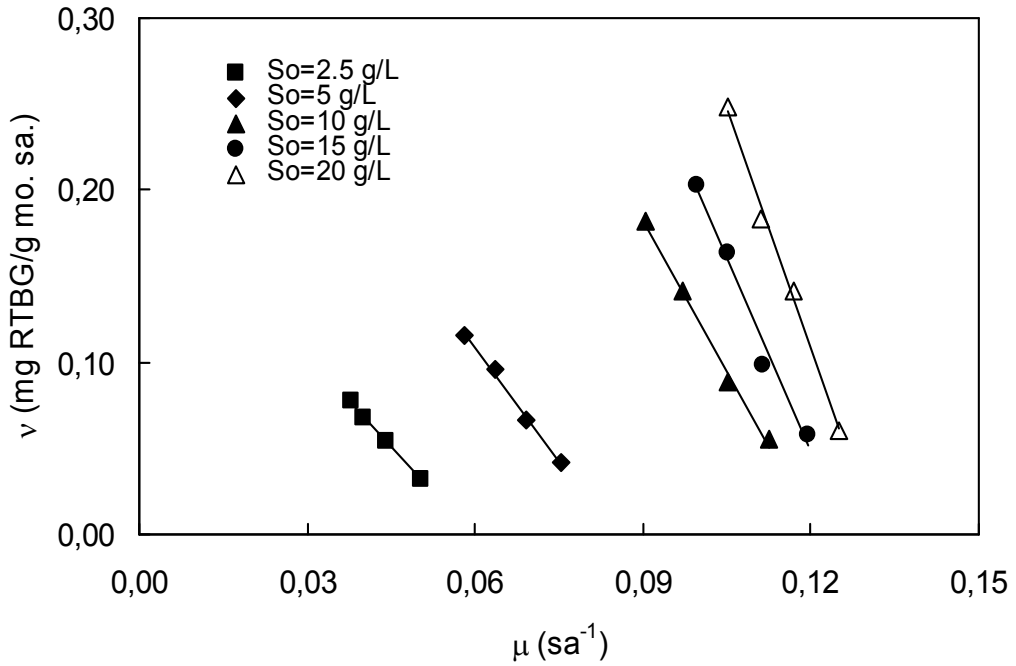
Biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.15'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.62-5.65). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri Çizelge 5.20'de verilmiştir. Elde edilen R^2 değerleri biyobirikim kinetiğinin bu modele oldukça iyi uyduğunu göstermektedir.



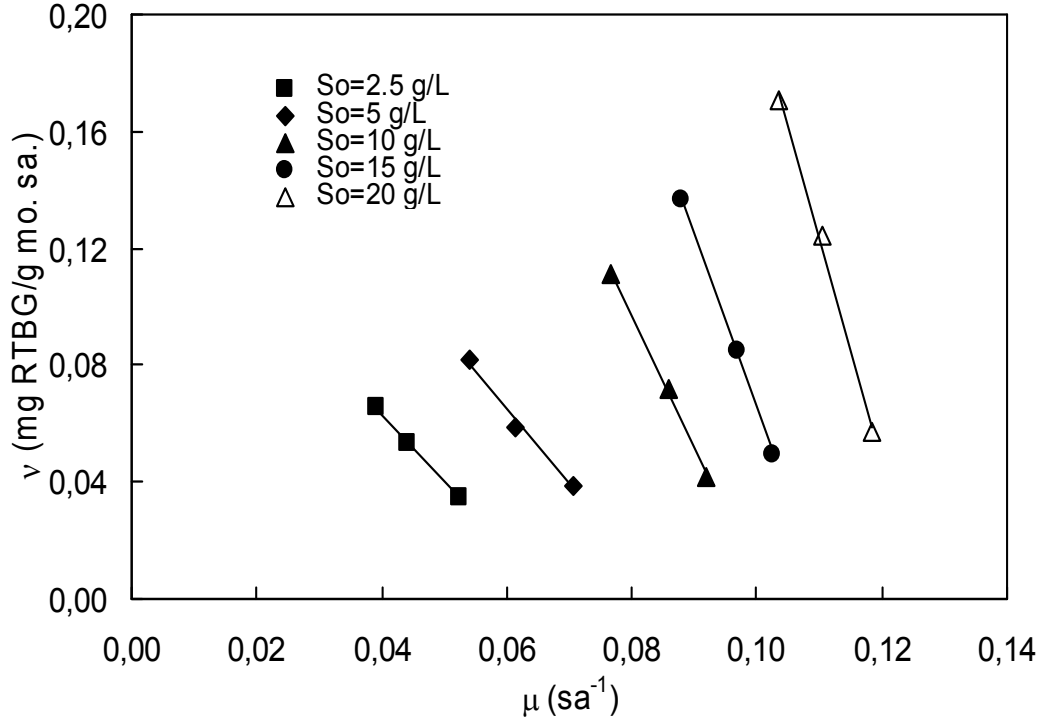
Şekil 5.62. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.63. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.64. *C. membranaefaciens* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.65. *C. lipolytica* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.20. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler

	So (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R ²
<i>C. tropicalis</i>	1,0	-6,626	0,364	0,992
	2,5	-7,187	0,630	0,993
	5,0	-7,703	0,832	0,995
	10,0	-8,464	1,084	0,991
	15,0	-9,210	1,366	0,990
	20,0	-8,879	1,471	0,999
<i>C. utilis</i>	1,0	-6,572	0,305	0,898
	2,5	-6,895	0,536	0,994
	5,0	-6,498	0,654	0,984
	10,0	-8,360	1,025	0,995
	15,0	-8,628	1,176	0,989
	20,0	-8,743	1,316	0,999
<i>C. membranaefaciens</i>	2,5	-3,562	0,212	0,994
	5,0	-4,374	0,371	0,994
	10,0	-5,882	0,712	0,993
	15,0	-7,447	0,941	0,982
	20,0	-9,222	1,214	0,994
<i>C. lipolytica</i>	2,5	-2,259	0,153	0,998
	5,0	-2,597	0,221	0,993
	10,0	-4,452	0,453	0,997
	15,0	-5,976	0,663	0,999
	20,0	-7,626	0,963	0,996

5.1.5.2. Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi

Başlangıç pH'ının etkisi

Tüm maya türlerinin maksimum üredikleri pH değerinde maksimum bakır(II) biyobirikimini gerçekleştirip gerçekleştirmediklerini gözlemek amacıyla pH 3-5 aralığında, 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde bir

seri deney yapılmış ve her bir maya türü için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.21’de sunulmuştur. Çizelgeden tüm maya türleri için en çok üremenin gözlemlendiği pH 4.0’de yine tüm maya türleri için bakır(II) biyobirikimin de maksimum olduğu ve bu pH değerinde en yüksek bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve biyobiriktirilen bakır(II) derişim değerinin *C. tropicalis* mayasına ait olduğu dikkati çekmektedir. Mayaların boyarmadde ve metal iyonu biyobirikim kapasiteleri karşılaştırıldığında, bütün mayaların metal iyonu biyobirikim kapasitesinin boyarmadde biyobirikim kapasitesinden çok daha düşük olduğu da gözlenmektedir. *C. tropicalis*’in 10 g/L sabit sakkaroz ve 100 mg/L başlangıç kirletici derişiminde maksimum biriktirdiği Remazol Turkuaz Blue G derişimi 63.8 mg RTBG/L ($q_m=17.72$ mg RTBG/g k. mo.) iken, maksimum biriktirdiği bakır(II) iyon derişimi 32.1 mg Cu/L ($q_m=9.61$ mg Cu/g k. mo.) olarak bulunmuştur.

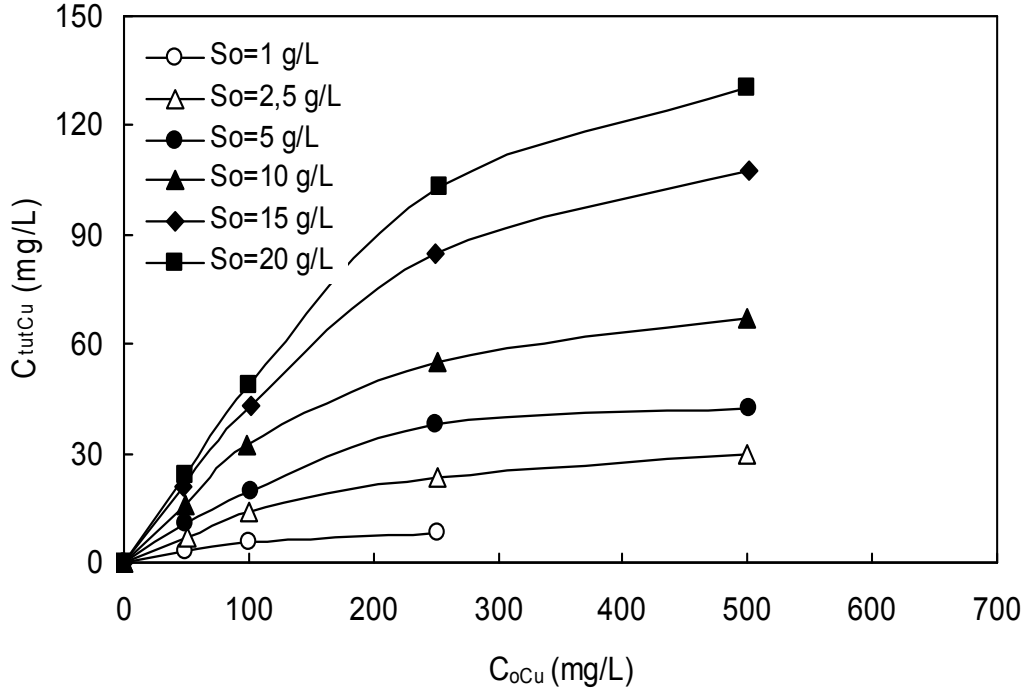
Çizelge 5.21. Başlangıç pH’ının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*’nın biyobiriktirdiği bakır(II) derişimine ve bakır(II) biyobirikim kapasitesine etkisi

pH=3		
	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	20,6	8,73
<i>C. utilis</i>	17,3	7,77
<i>C. membranaefaciens</i>	13,0	5,85
<i>C. lipolytica</i>	7,7	3,68
pH=4		
	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	32,1	9,61
<i>C. utilis</i>	27,3	8,53
<i>C. membranaefaciens</i>	18,9	6,69
<i>C. lipolytica</i>	12,1	5,29
pH=5		
	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)
<i>C. tropicalis</i>	31,1	9,37
<i>C. utilis</i>	25,0	8,38
<i>C. membranaefaciens</i>	17,1	6,25
<i>C. lipolytica</i>	10,6	5,01

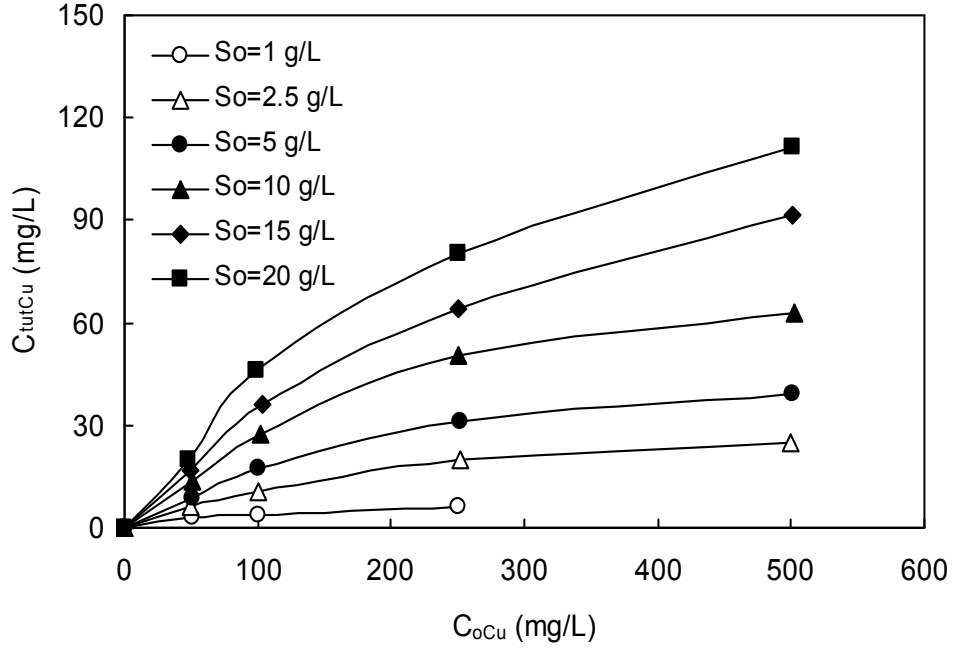
Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Tez çalışmasının amaçlarından biri boyarmadde ve metal iyonlarına oldukça dirençli olan maya hücrelerinin üreme ortamındaki boyarmadde ve ağır metal iyonlarını biriktirebilme yeteneğini ve kapasitesini araştırmak, bir diğeri de boyarmadde ve metal biyobirikiminin kinetik modellenmesidir. Bu amaca uygun olarak 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica*'nın bakır(II) biyobirikim hızına, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine, bakır(II) biyobirikim kapasitesine ve % bakır(II) giderimine başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi 50-500 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.66-5.69 ve Çizelge 5.22-5.25'de sunulmuştur. Şekillerden ve çizelgelerden başlangıç bakır(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızlarının, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimlerinin, bakır(II) biyobirikim kapasitelerinin arttığı, % bakır(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde *C. tropicalis* için başlangıç bakır(II) derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.081'den 0.155 mg Cu/g k. mo. sa.'e, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 32.1'den 67.4 mg Cu/L 'ye, biyobirikim kapasitesi 9.61 mg Cu/g k. mo. 'dan 38.73 mg Cu/g k. mo. 'ya artmış, % bakır(II) giderim değeri ise % 32.3'den % 13.5'e düşmüştür. *C. utilis* için aynı substrat derişiminde ortamda 100 mg/L bakır(II) bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri sırasıyla 0.078 mg Cu/ g k. mo. sa., 27.3 mg Cu/L, 8.54 mg Cu/g k. mo. ve % 27.0 iken, metal iyonu derişimi 500 mg/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.153 mg Cu/g k. mo. sa, 63.0 mg Cu/L, 35.27 mg Cu/g k. mo. ve % 12.5 olarak bulunmuştur. *C. membranaefaciens* için yine aynı sakkaroz derişiminde bakır(II) derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimleri ve biyobirikim kapasitesi değerleri 0.069 mg Cu/g k. mo. sa, 18.9 mg Cu/L, 6.69 mg Cu/g k. mo.'dan 0.121 mg Cu/g k. mo. sa, 58.0 mg Cu/L, 36.94 mg Cu/g k. mo.'ya çıkmış, % bakır(II) giderimi ise % 18.4'den % 11.7'ye azalmıştır. *C. lipolytica* için ise başlangıç bakır(II) derişiminin 100 mg/L'den 250 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.057'den 0.074 mg Cu/g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 12.1'den 15.1 mg Cu/L'ye, biyobirikim kapasitesi 5.29 mg Cu/g k. mo. 'dan 8.17 mg Cu/g k. mo. 'ya artmış, % bakır(II) giderim değeri ise % 12.1'den

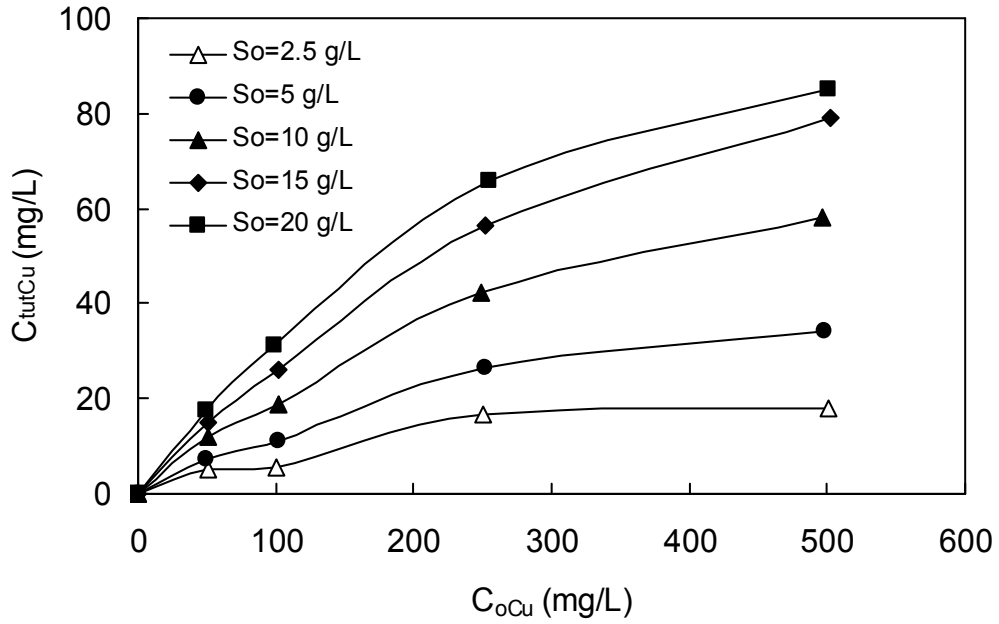
% 6.1'e düşmüştür. Çizelge ve şekillerden *C. tropicalis*'in çalışılan bütün sakkaroz derişimlerinde diğer mayalardan daha yüksek hız ve kapasitede bakır(II) biriktirdiği açık olarak görölmektedir. Genel olarak çalışılan tüm sakkaroz ve kirletici derişimlerinde, bakır(II) biyobirikimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikimi ile karşılaştırıldığında, mayaların çok daha düşük bakır(II) biyobirikim hız ve kapasitesine sahip olduğu gözlenmektedir.



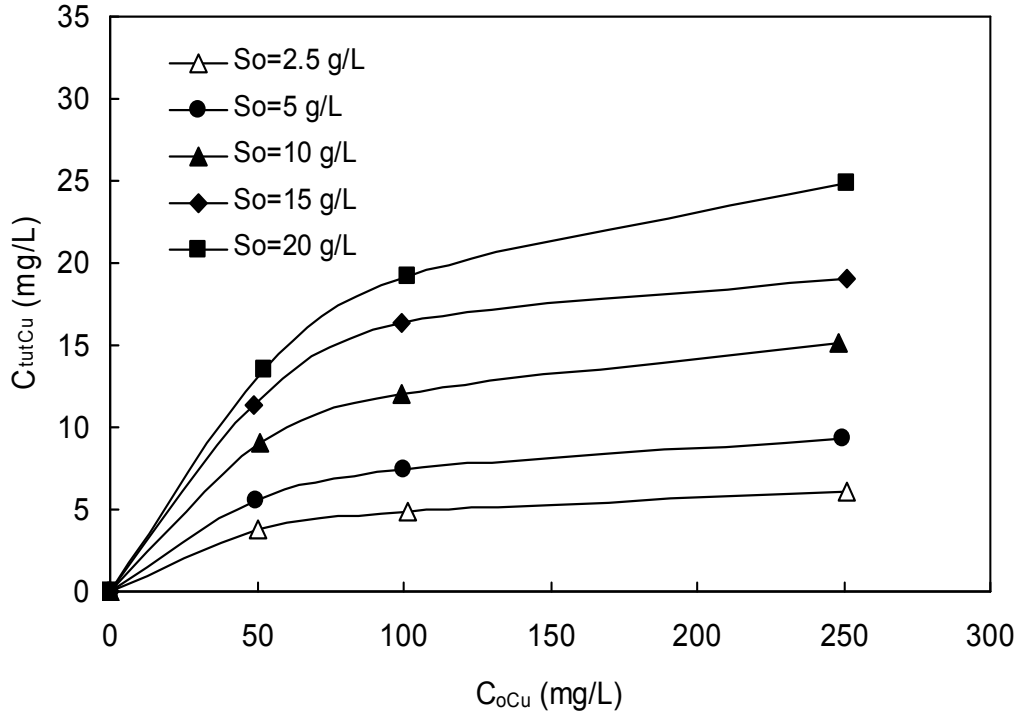
Şekil 5.66. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.67. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.68. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. membranaefaciens* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.69. 1-20 g/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç sakkaroz derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi ($T=25^{\circ}C$, $pH=4,0$, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.22. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oCu} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{Cu} (mg Cu/g k. mo. sa)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim
49,5	1,1	0,046	3,4	5,41	6,8
99,6	1,2	0,055	5,8	10,18	5,8
251,4	1,0	0,081	8,1	32,40	3,2
51,3	2,6	0,048	7,3	4,71	14,1
100,2	2,5	0,067	13,8	10,23	13,8
250,7	2,5	0,091	23,3	24,73	9,3
499,4	2,6	0,111	29,9	45,31	6,0
50,1	5,1	0,052	10,5	4,50	20,9
102,1	4,9	0,075	19,9	9,75	19,5
249,2	4,9	0,116	38,2	23,03	15,3
501,8	5,1	0,128	42,2	39,09	8,4
48,7	9,9	0,055	15,9	4,39	32,6
99,4	10,6	0,081	32,1	9,61	32,3
251,5	10,5	0,134	55,0	21,15	21,9
499,2	9,8	0,155	67,4	38,73	13,5
47,6	15,1	0,066	21,0	4,35	44,2
102,3	15,3	0,093	43,3	9,29	42,3
249,7	14,9	0,157	84,6	22,67	33,9
501,6	15,1	0,194	107,8	35,23	21,5
49,8	20,9	0,071	24,3	4,30	48,7
100,9	19,9	0,098	48,6	8,97	48,2
253,1	20,1	0,185	103,0	21,78	40,7
499,8	20,3	0,225	130,3	32,91	26,1

Çizelge 5.23. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. utilis* için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oCu} (mg/L)	S_o (g/L)	V_{Cu} (mg Cu/g k. mo. sa)	C_{lutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim
51,4	1,1	0,038	3,1	5,26	5,9
100,4	1,0	0,049	3,9	9,79	3,9
251,2	1,0	0,062	6,0	26,22	2,4
49,8	2,5	0,042	6,0	4,11	12,1
101,2	2,5	0,058	10,6	8,31	10,5
252,4	2,5	0,078	20,0	22,50	7,9
499,8	2,5	0,093	25,0	38,46	5,0
50,9	5,0	0,049	8,9	4,00	17,5
99,8	5,1	0,064	17,2	8,81	17,2
251,3	5,0	0,101	31,3	21,60	12,5
500,6	5,1	0,117	39,0	41,49	7,8
51,2	10,0	0,054	13,7	3,90	26,7
101,3	11,2	0,078	27,3	8,54	27,0
249,8	10,4	0,122	50,5	20,88	20,2
502,5	9,9	0,153	63,0	35,27	12,5
48,9	15,1	0,061	16,7	3,64	34,2
103,8	15,3	0,090	36,4	8,47	35,1
250,9	15,1	0,152	64,0	17,39	25,5
501,4	14,9	0,192	91,2	32,80	18,2
47,6	20,9	0,066	19,7	3,53	41,3
99,7	20,8	0,092	46,0	8,85	46,1
249,8	20,6	0,173	80,0	17,51	32,0
500,9	20,1	0,220	111,5	29,81	22,3

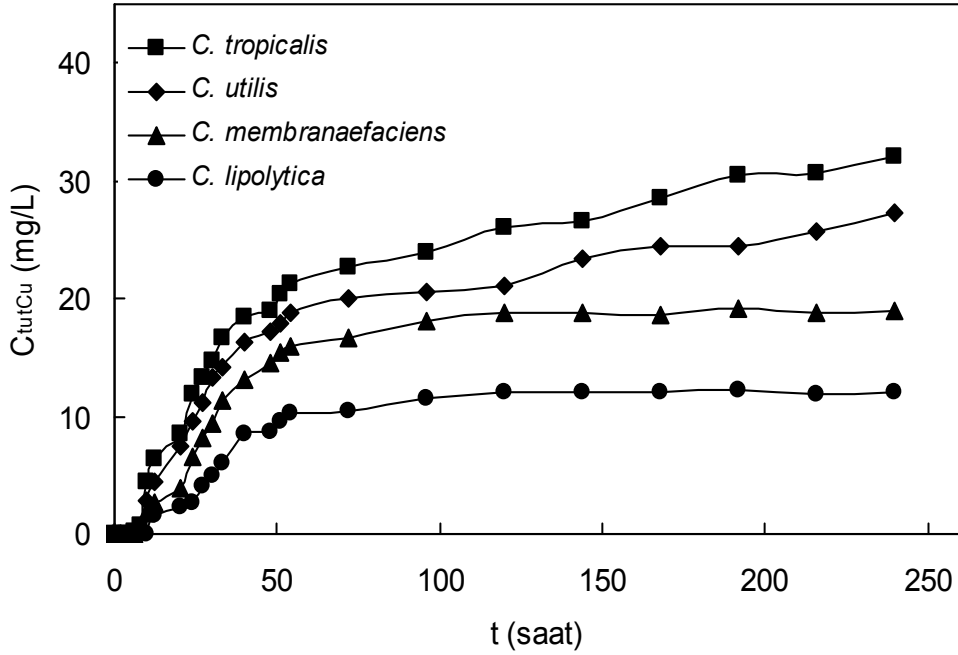
Çizelge 5.24. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. membranaefaciens* için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oCu} (mg/L)	S_o (g/L)	v_{Cu} (mg Cu/g k. mo. sa)	C_{tutCu} (mg/L)	q_m (mg/g k. mo.)	% Giderim
50,8	2,5	0,021	5,0	3,97	9,8
99,8	2,5	0,031	5,7	5,34	5,7
250,8	2,5	0,035	16,6	21,77	6,6
500,9	2,5	0,040	18,0	32,73	3,6
49,9	4,9	0,038	7,3	3,94	14,7
101,7	5,1	0,053	11,1	6,75	10,9
251,3	5,1	0,061	26,7	21,54	10,6
498,7	5,3	0,069	34,0	36,56	6,8
50,3	10,0	0,051	11,8	3,92	23,5
102,4	10,0	0,069	18,9	6,69	18,4
249,6	10,1	0,100	42,5	20,52	17,0
496,6	11,0	0,121	58,0	36,94	11,7
51,2	15,0	0,052	15,2	3,46	29,6
101,3	15,1	0,085	26,0	6,61	25,6
251,7	15,1	0,127	56,6	17,31	22,5
502,4	15,2	0,155	79,0	30,98	15,7
49,6	20,5	0,054	17,7	3,43	35,8
98,9	22,3	0,091	31,3	6,55	31,7
254,5	20,9	0,140	65,9	15,93	25,9
501,4	20,7	0,180	84,9	25,64	16,9

Çizelge 5.25. Her bir sabit sakkaroz derişiminde değişen başlangıç bakır(II) derişimlerinde *C. lipolytica* için elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oCu} (mg/L)	S_o (g/L)	v_{Cu} (mg Cu/g k. mo. sa)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim
50,5	2,5	0,022	3,8	3,33	7,5
101,7	2,5	0,024	4,9	4,80	4,8
251,2	2,5	0,026	6,0	8,04	2,4
49,9	5,0	0,035	5,6	3,38	11,2
100,3	4,9	0,042	7,4	4,96	7,4
249,9	4,9	0,045	9,3	7,63	3,7
51,2	10,4	0,045	9,0	3,57	17,7
99,5	11,3	0,057	12,1	5,29	12,1
248,6	11,1	0,074	15,1	8,17	6,1
48,7	15,2	0,047	11,3	3,23	23,2
99,0	15,5	0,075	16,4	5,20	16,5
251,3	15,0	0,103	19,0	6,86	7,6
52,3	21,0	0,051	13,6	3,20	26,0
101,7	21,2	0,088	19,2	5,10	18,9
250,8	21,8	0,124	24,9	7,39	9,9

10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L bakır(II) derişiminde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait biyobirikim eğrileri Şekil 5.70.'de karşılaştırılmıştır. Şekilden *C. tropicalis*'in en yuğsek hız ve kapasitede Remazol Turkuaz Blue G biriktirdiği gzukenmektedir.

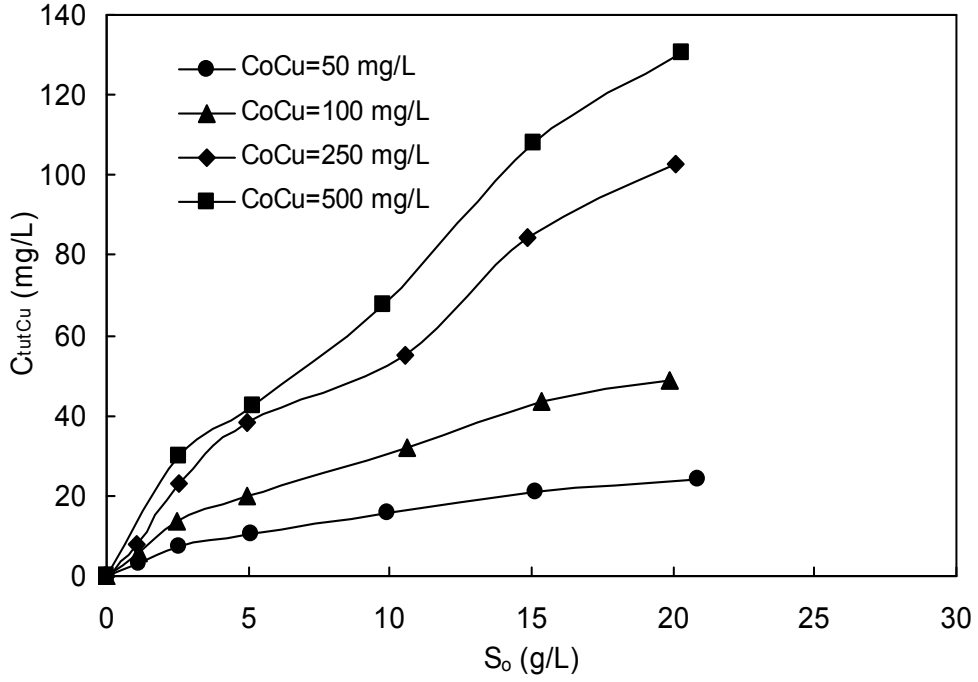


Şekil 5.70. 10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L bakır(II) derişiminde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları

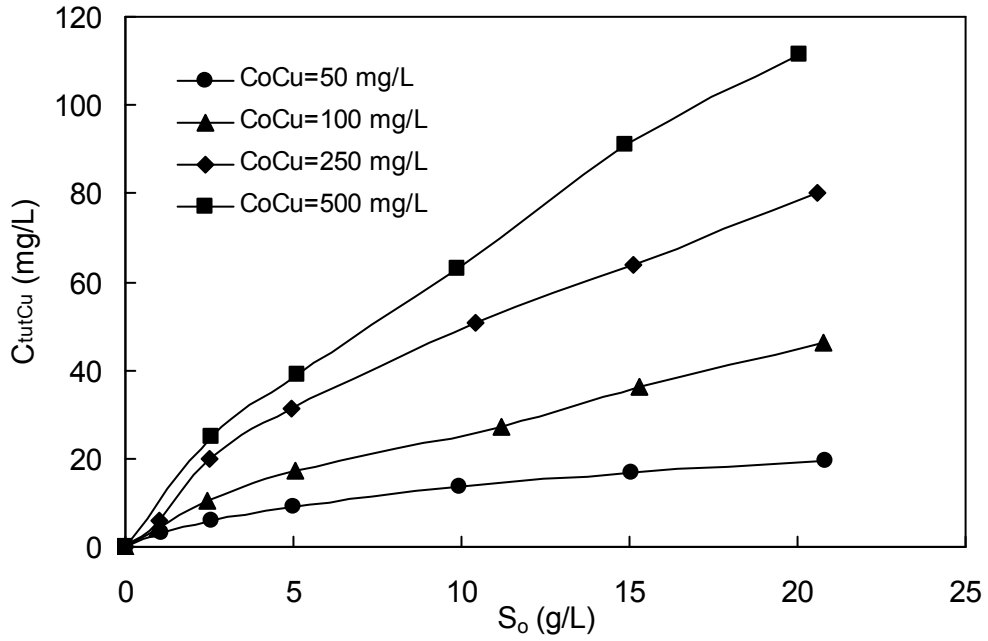
Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

Bakır(II) biyobirikimi, aynı verilerle 50-500 mg/L derişim aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 1-20 g/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve Çizelge 5.22-5.25 her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde farklı sakkaroz derişimlerinde elde edilen bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan bakır(II) derişimi, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı ve % bakır(II) giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için verilerin bu şekilde değerlendirilmesiyle elde edilen maksimum tutulan bakır(II) derişimine karşı başlangıç sakkaroz derişimi grafikleri Şekil 5.71-5.74'de sunulmuştur. Şekillerden, her bir maya türü için, çalışılan bütün bakır(II) derişimlerinde, başlangıç sakkaroz derişiminin 20 g/L'ye kadar artmasıyla maksimum tutulan bakır(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Örneğin 100 mg/L sabit bakır(II) derişiminde *C. tropicalis* için sakkaroz derişiminin 2.5 g/L'den 10 g/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.067'den 0.081 mg Cu/g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 13.8 mg Cu/L'den 32.1 mg Cu/L'ye artmış, biyobirikim kapasitesi 10.23 mg Cu/g k. mo.'dan 9.61 mg Cu/g k. mo.'ya

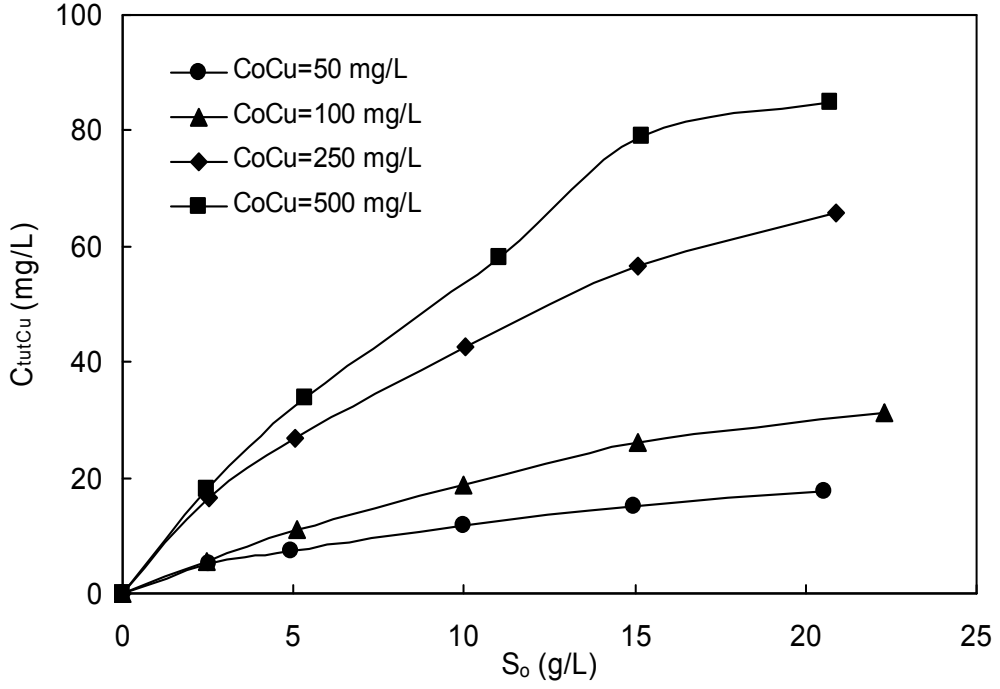
düşmüş, % bakır(II) giderim değeri ise % 13.8'den % 32.3'e artmıştır. *C. utilis* için aynı bakır(II) derişiminde ortamda 2.5 g/L sakkaroz bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değeri sırasıyla 0.058 mg Cu/g k. mo. sa, 10.6 mg Cu/L, 8.31 mg Cu/g k. mo. ve % 10.5 iken, sakkaroz derişimi 10 g/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.078 mg Cu/g k. mo. sa, 27.3 mg Cu/L, 8.54 mg Cu/g k. mo. ve % 27.0 olarak bulunmuştur. *C. membranaefaciens* için yine aynı bakır(II) derişiminde sakkaroz derişiminin 2.5 g/L'den 10 g/L'ye artmasıyla biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimleri ve biyobirikim kapasitesi degerleri 0.031 mg Cu/g k. mo. sa, 5.7 mg Cu/L, 5.34 mg Cu/g k. mo.'dan 0.069 mg Cu/g k. mo. sa, 18.9 mg Cu/L, 6.69 mg Cu/g k. mo.'ya, % bakır(II) giderimi ise % 5.67'den % 18.4'e çıkmıştır. *C. lipolytica* için aynı metal iyonu derişiminde ortamda 2.5 g/L sakkaroz bulunduğunda biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimleri, biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değeri sırasıyla 0,024 mg Cu/g k. mo. sa, 4.9 mg Cu/L, 4.80 mg Cu/g k. mo. ve % 4.8 iken, sakkaroz derişimi 10 g/L'ye çıktığında aynı değerler sırasıyla 0.057 Cu/g k. mo. sa, 12.1 mg Cu/L, 5.29 mg Cu/g k. mo. ve % 12.1 olarak bulunmuştur. Başlangıç sakkaroz derişimindeki artışın bütün mayaların bakır(II) biyobirikim kapasitesini oldukça fazla arttırdığı, bu artışın *C. tropicalis* mayasında en yüksek olduğu gözden kaçırılmamalıdır.



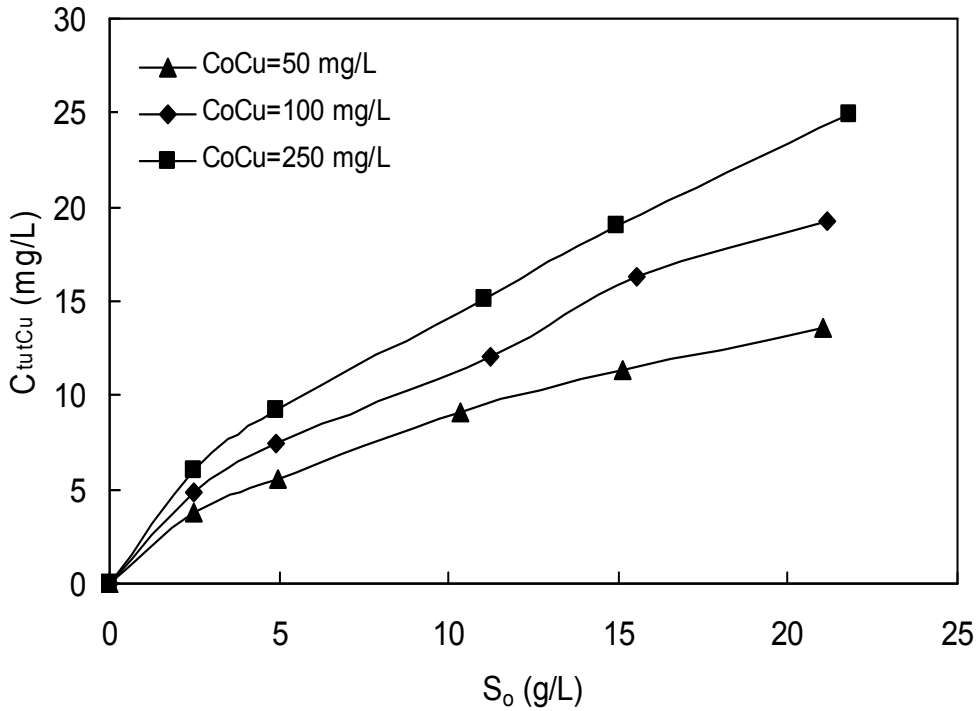
Şekil 5.71. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



Şekil 5.72. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. utilis* tarafından maksimum biyobiriktilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



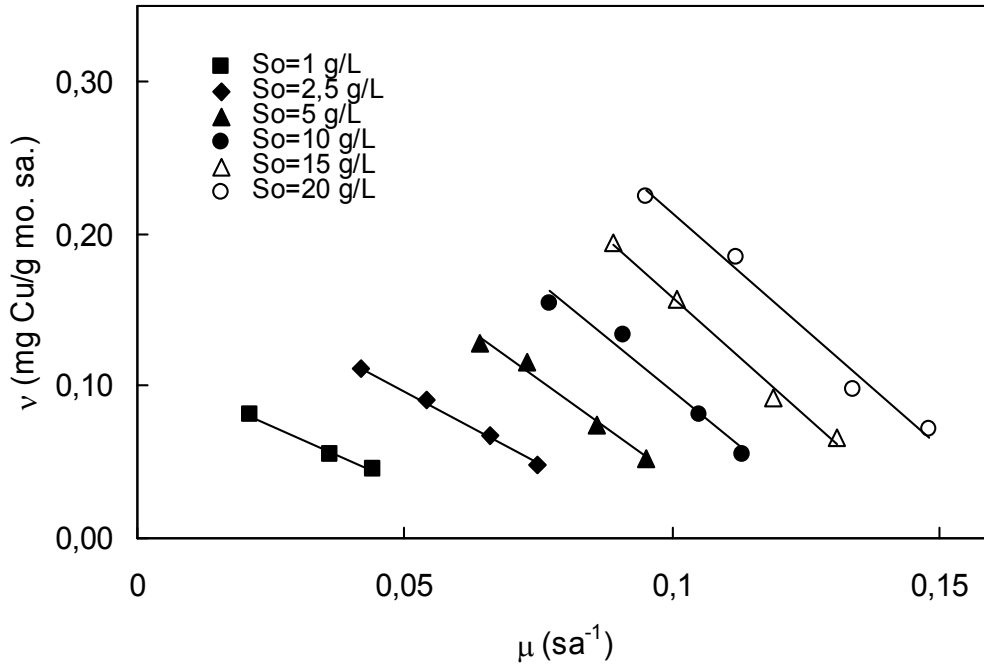
Şekil 5.73. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. membranaefaciens* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)



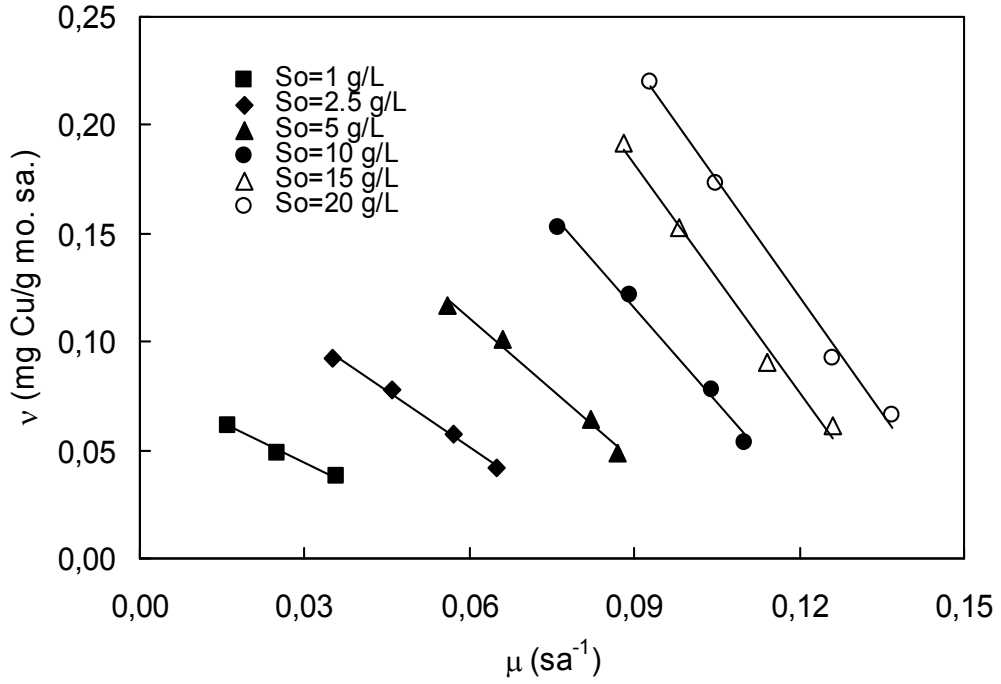
Şekil 5.74. 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin *C. lipolytica* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, K. H. 150 rpm)

Kinetik sabitlerin bulunması

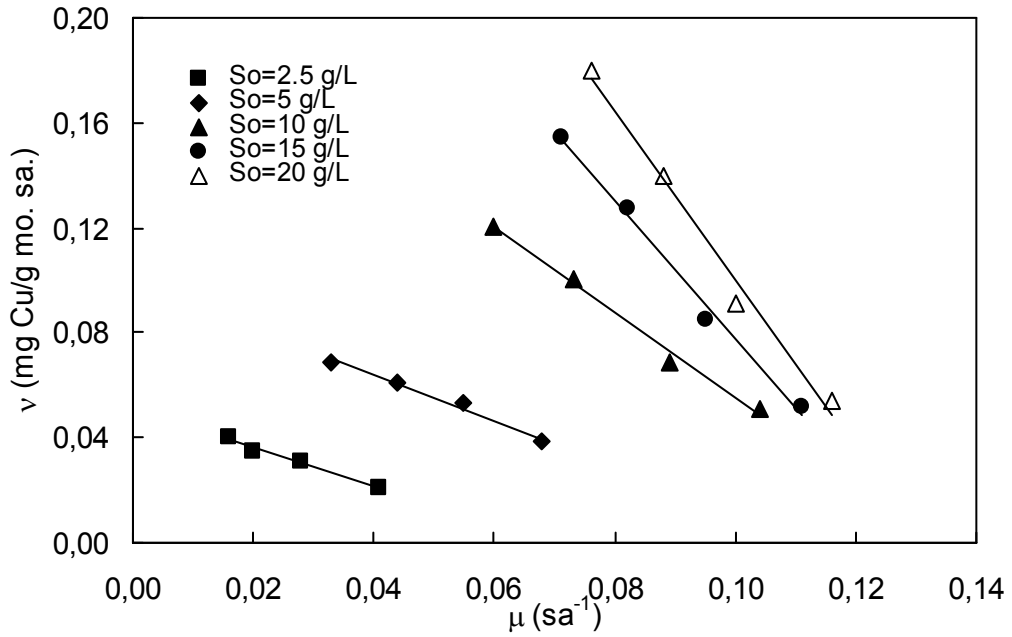
Metal biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.15'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir. (Şekil 5.75-5.78). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri Çizelge 5.26'da verilmiştir. Elde edilen R^2 değerleri bakır(II) biyobirikim kinetiğinin de bu modele oldukça iyi uyduğunu göstermektedir.



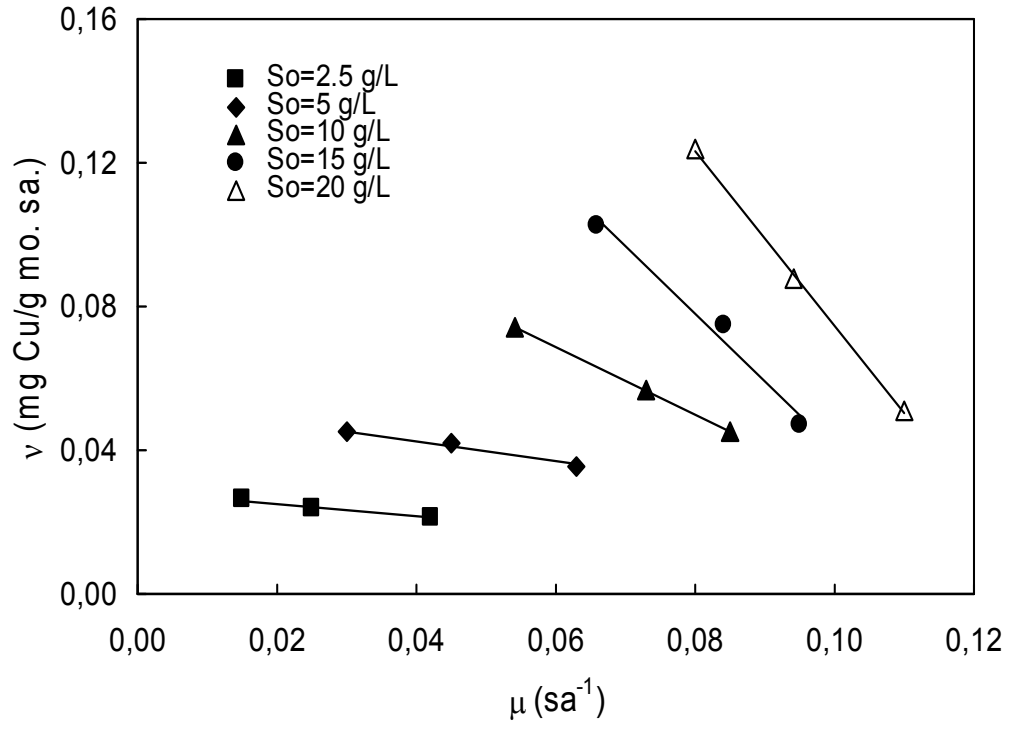
Şekil 5.75. *C. tropicalis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.76. *C. utilis* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.77. *C. membranaefaciens* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.78. *C. lipolytica* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.26. *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* için her bir sabit sakkaroz derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen kinetik sabitler

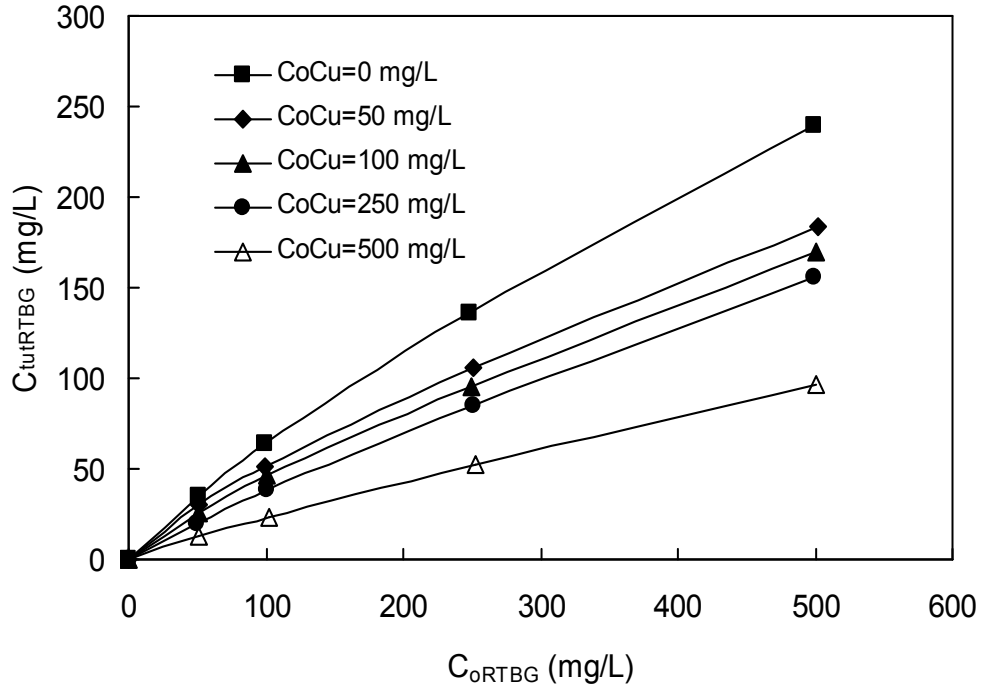
	So (g/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R ²
<i>C. tropicalis</i>	1,0	-1,549	0,113	0,990
	2,5	-1,914	0,193	0,997
	5,0	-2,557	0,296	0,983
	10,0	-2,866	0,383	0,967
	15,0	-3,126	0,471	0,994
	20,0	-3,062	0,519	0,985
<i>C. utilis</i>	1,0	-1,198	0,080	0,992
	2,5	-1,698	0,154	0,993
	5,0	-2,198	0,243	0,991
	10,0	-2,892	0,376	0,992
	15,0	-3,501	0,497	0,991
	20,0	-3,582	0,551	0,994
<i>C. membranaefaciens</i>	2,5	-0,726	0,051	0,987
	5,0	-0,866	0,099	0,985
	10,0	-1,633	0,218	0,993
	15,0	-2,625	0,340	0,992
	20,0	-3,209	0,421	0,987
<i>C. lipolytica</i>	2,5	-0,172	0,029	0,986
	5,0	-0,291	0,054	0,975
	10,0	-0,935	0,125	1,000
	15,0	-1,879	0,228	0,979
	20,0	-2,423	0,317	0,999

5.1.5.3. Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının *C. tropicalis* mayasına biyobirikiminin incelenmesi

Deneyisel çalışmaların bu kısmı pH 4'de ve sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde, bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G karışımlarını birarada ve maksimum derişim 1000 mg/L (500 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+500 mg/L bakır(II)) olacak şekilde derişim içinde içeren besin ortamlarında, her iki kirlenici için de en yüksek biyobirikim kapasitesine sahip *Candida tropicalis* mayası ile gerçekleştirilmiştir.

Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

C. tropicalis ile Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda sabit sakkaroz derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi 50-500 mg/L aralığında değiştirilirken, bakır(II) derişimi her bir değişen Remazol Turkuaz Blue G derişim seti için 0, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{oRTBG}/C_{oCu} oranı 1 ila 10 arasında değiştirilmiştir. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimine etkisi Şekil 5.79'da; Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızlarına, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimlerine, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasitelerine ve % Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) giderim değerlerine etkisi ise Çizelge 5.27'de gösterilmiştir. Şekil ve çizelgeden, her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen boyarmadde derişiminin, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesinin arttığı, boyarmadde giderim veriminin ise azaldığı gözlenmektedir. Bakır(II) derişimindeki artışın ise boyarmaddenin biyobirikim hızını, maksimum biriktirilen boyarmadde derişimini, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan boyarmadde miktarını ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerini ise oldukça azalttığı gözlenmektedir. Örneğin sadece 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı 0.090mg RTBG/g mo. sa, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 63.8 mg RTBG/L, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan Remazol Turkuaz Blue G miktarı 17.72 mg RTBG/g mo % Remazol Turkuaz Blue G giderimi ise % 64.1 iken, ortama 100 mg/L boyarmaddenin yanı sıra 100 mg/L bakır(II) eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0.063 mg RTBG/g mo sa, 46.5 mg RTBG/L, 16.15 mg RTBG/g mo ve % 46.0 olarak bulunmuştur. Bu durumda bakır(II) iyonları mayanın Remazol Turkuaz Blue G birikim kapasitesini % 8.9 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar bakır(II) kirleticisinin çalışılan tüm bakır(II) derişimlerinde mayanın Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.



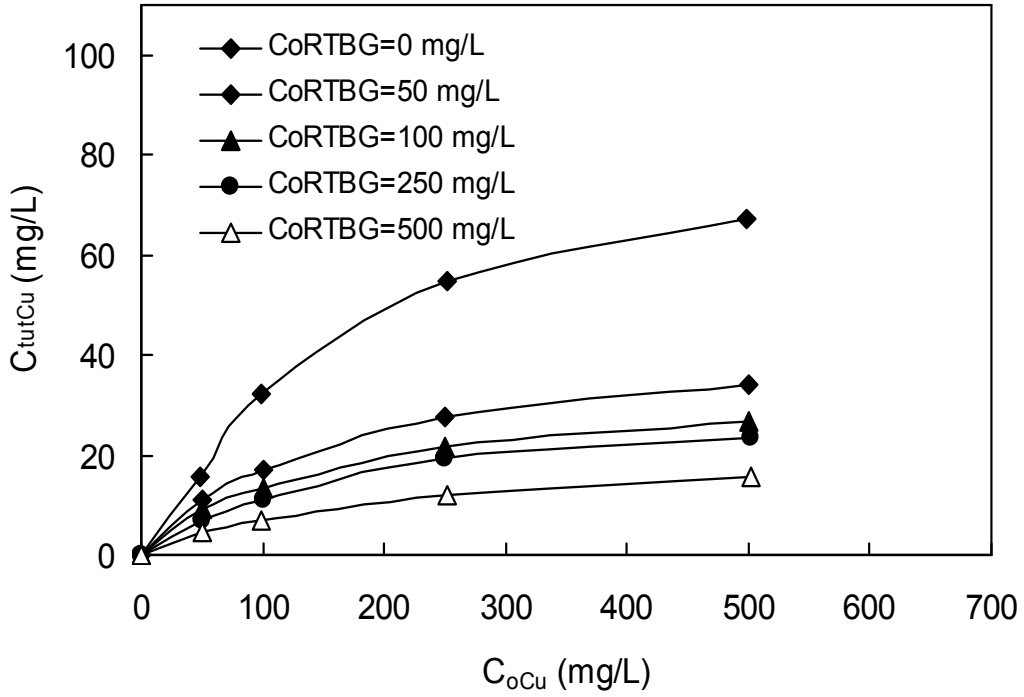
Şekil 5.79. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.27. Her bir sabit bakır(II) derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde *C. tropicalis* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	C_{oCu} (mg/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/ g k. mo. sa)	V_{Cu} (mg Cu/ g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim RTBG	% Giderim Cu
51,2	0	0,059	0	35,3	0,0	9,73	0,00	69,0	0,0
99,5	0	0,09	0	63,8	0,0	17,72	0,00	64,1	0,0
248,6	0	0,162	0	136,2	0,0	43,80	0,00	54,8	0,0
498,6	0	0,207	0	239,3	0,0	89,30	0,00	48,8	0,0
50,6	51,2	0,051	0,042	29,9	10,9	9,13	3,33	59,2	21,3
99,8	50,9	0,074	0,037	51,5	9,4	16,95	3,10	51,6	18,5
251,3	49,6	0,115	0,032	105,3	7,1	41,12	2,76	41,9	14,3
501,5	51,1	0,137	0,018	183,3	4,5	84,06	2,06	36,5	8,8
51,3	101,3	0,042	0,062	25,1	17,0	8,48	5,75	48,9	16,8
101,2	100,6	0,063	0,054	46,5	13,6	16,15	4,70	46,0	13,5
249,8	101,2	0,1	0,044	95,7	10,9	38,43	4,37	38,3	10,7
500,8	99,8	0,128	0,038	170,3	6,8	78,82	3,17	34,0	6,9
49,7	249,8	0,038	0,097	19,7	27,4	7,86	10,93	39,5	11,0
100,8	249,8	0,053	0,082	37,8	21,5	15,37	8,73	37,8	8,6
250,9	250,4	0,087	0,072	84,7	19,1	35,75	8,07	33,9	7,6
499,8	251,5	0,105	0,051	155,3	11,9	73,58	5,64	31,1	4,7
50,6	501,1	0,021	0,112	12,4	33,9	7,45	20,36	24,8	6,8
102,2	499,8	0,045	0,098	23,7	26,5	14,67	16,41	23,7	5,3
252,3	501,4	0,073	0,081	52,8	23,6	33,95	15,20	21,1	4,7
501,3	502,2	0,088	0,068	96,1	15,6	64,20	10,39	19,2	3,1

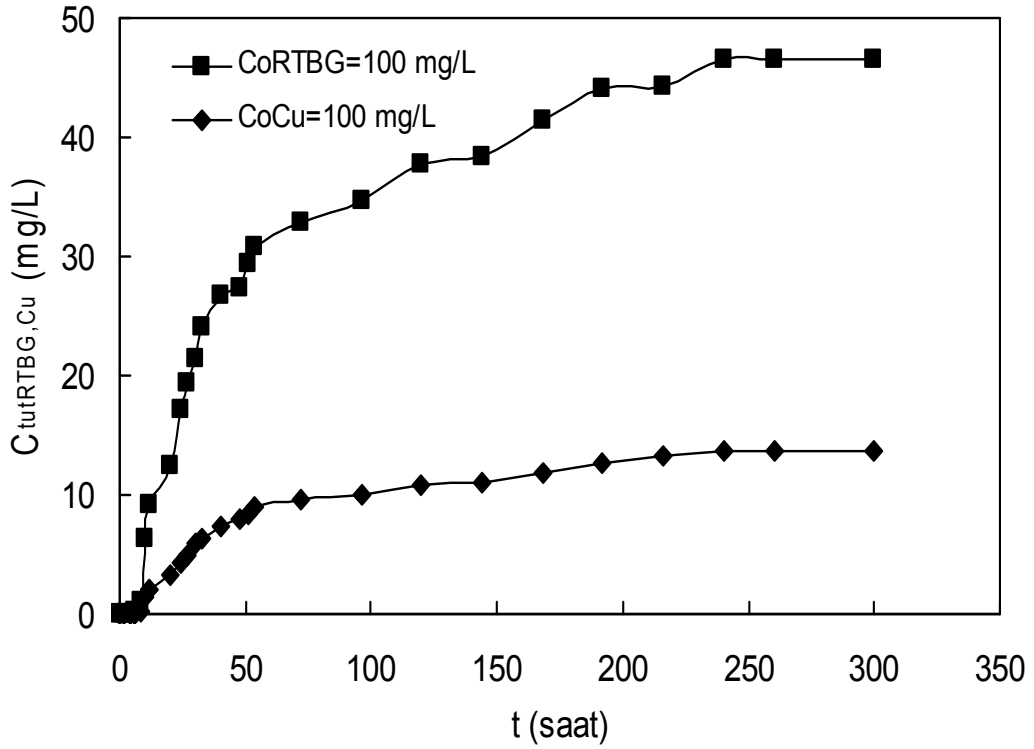
Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Farklı oranlarda Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda bakır(II) biyobirikimi aynı verilerle 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0-500 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve yine Çizelge 5.27 her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı bakır(II) derişimlerinde elde edilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasiteleri ve % bakır(II) ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek, her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine etkisi Şekil 5.80'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde, başlangıç bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla maksimum biriktirilen bakır(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Remazol Turkuaz Blue G derişiminin artması ise maksimum biriktirilen bakır(II) derişimini yine oldukça azaltmaktadır. Örneğin sadece 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında *C. tropicalis*'in bakır(II) biyobirikim hızı 0.081mg Cu/g mo. sa, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 32.1 mg Cu/L, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı 9.61 mg Cu/g mo % bakır(II) giderimi % 32.3 iken, ortama 100 mg/L metal iyonunun yanı sıra 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0.054 mg Cu/g mo sa, 13.6 mg Cu/L, 4.70 mg Cu/g mo ve % 13.5 olarak bulunmuştur. Bu durumda Remazol Turkuaz Blue G mayanın bakır(II) birikim kapasitesini % 51.1 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar bakır(II) kirleticisinin çalışılan tüm Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde mayanın bakır(II) biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.



Şekil 5.80. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, S_o=10 g/L, K. H. 150 rpm)

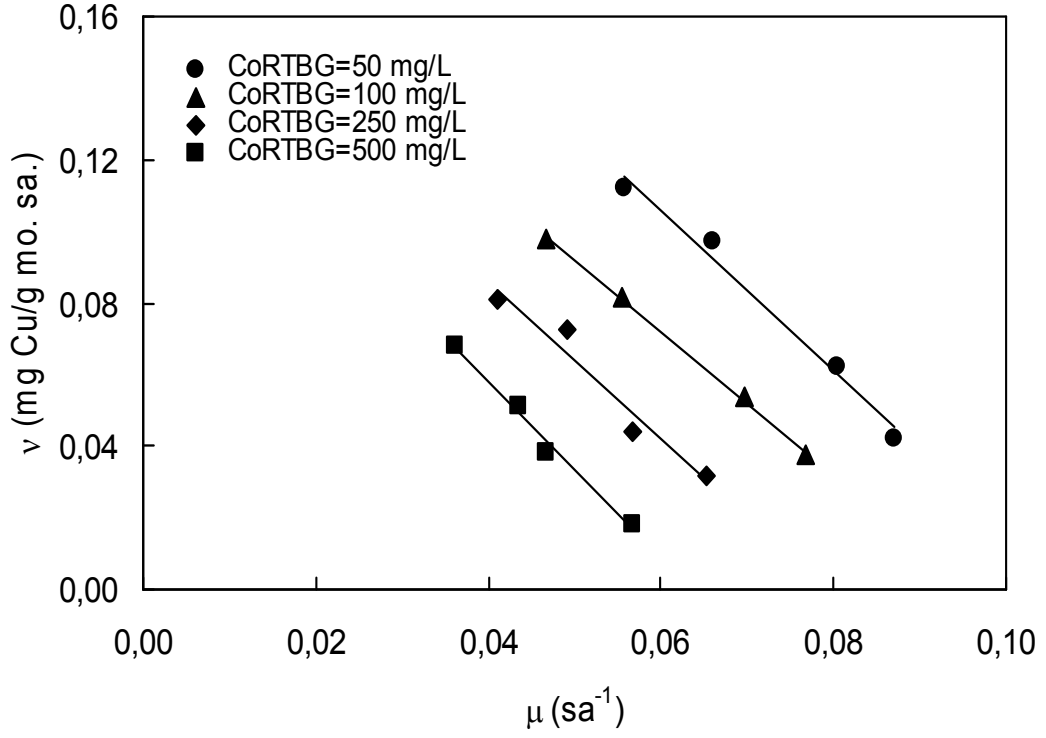
100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrileri Şekil 5.81'de karşılaştırılmıştır. Şekilden *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G'yi bakır(II) iyonlarından daha yüksek hız ve kapasitede biriktirdiği gözlenmektedir.



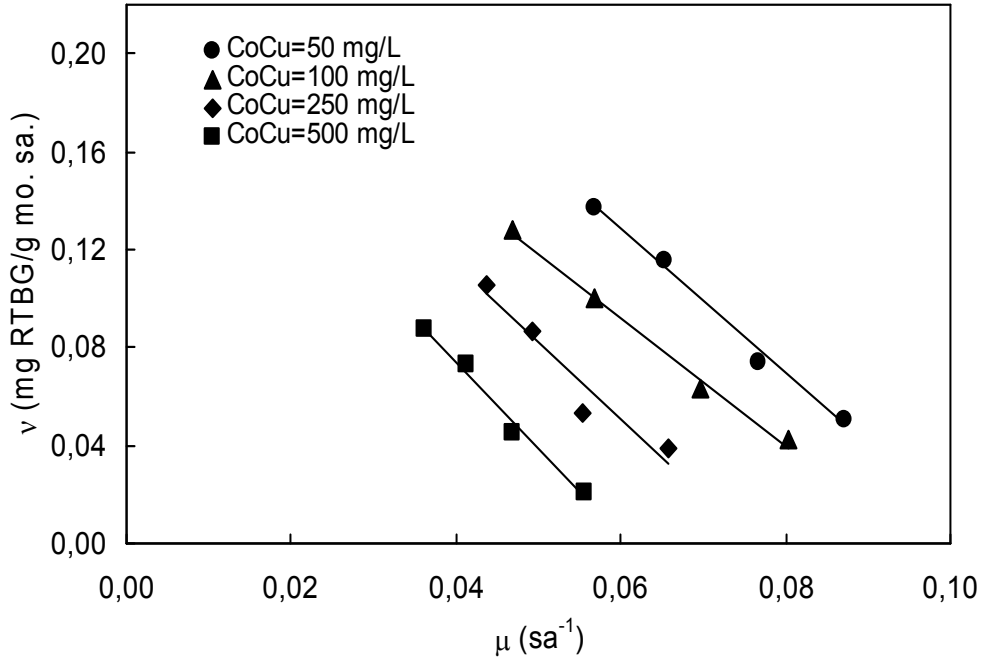
Şekil 5.81. 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılması

Kinetik sabitlerin bulunması

Remazol Turkuaz Blue G-bakır(II) ikili karışımlarını içeren melas ortamında yapılan çalışmalarda her bir kirleticiye ait biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren Eşitlik 3.15'deki α ve β kinetik sabitlerinin bulunması için, her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde 50-500 mg/L aralığında değişen başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde ve her bir sabit bakır(II) derişiminde, 50-500 mg/L aralığında değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v ve μ değerleri grafiğe geçirilmiştir (Şekil 5.82 ve Şekil 5.83). Bu grafiklerin değerlendirilmesiyle bulunan α ve β sabitleri Çizelge 5.28'de verilmiştir. Elde edilen R^2 değerleri biyobirikim kinetiğinin ikili karışım için de bu modele oldukça iyi uyduğunu göstermektedir.



Şekil 5.82. *C. tropicalis* için her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri



Şekil 5.83. *C. tropicalis* için her bir sabit bakır(II) derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen v 'ya karşı μ grafikleri

Çizelge 5.28. *C. tropicalis* için her bir sabit bakır(II) derişiminde farklı başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimleri için ve her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı başlangıç bakır(II) iyon derişimleri için bulunan kinetik sabitler

C_{oCu} (mg/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2	C_{oRTBG} (mg/L)	α (mg/g)	β (mg/g sa)	R^2
50,0	-2,929	0,304	0,991	50,0	-2,237	0,240	0,986
100,0	-2,607	0,249	0,994	100,0	-2,011	0,193	0,999
250,0	-3,084	0,236	0,933	250,0	-2,196	0,174	0,952
500,0	-3,523	0,215	0,985	500,0	-2,475	0,157	0,988

5.2. Kalsiyum Aljinata Tutuklanmış *C. tropicalis* Mayasıyla Melaslı Besin Ortamında Yapılan Kesikli Sistem Çalışmaları

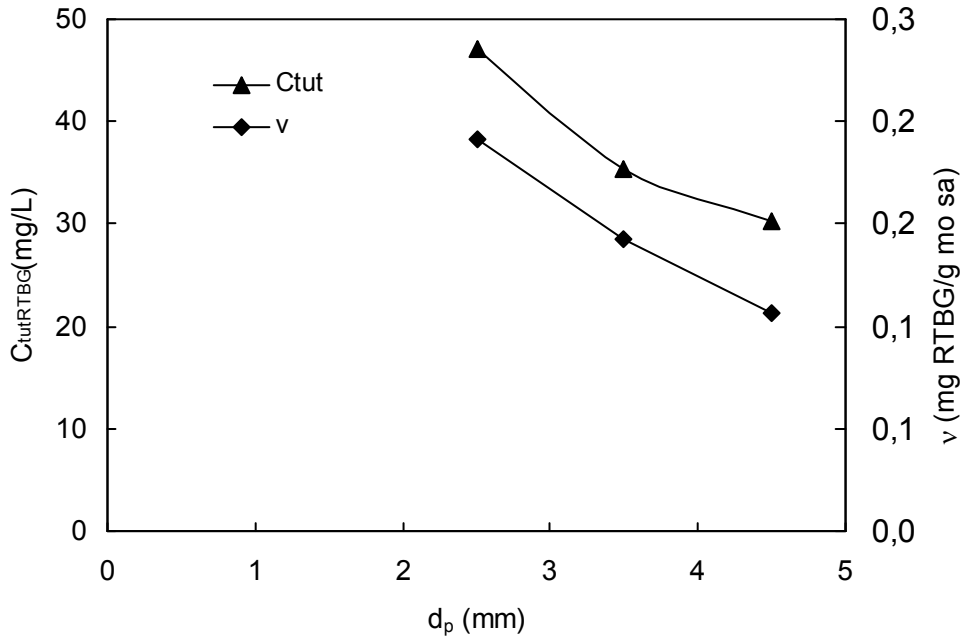
Deneyisel çalışmaların bu kısmı, pH 4'de ve 10 g/L sakkaroz içeren besin ortamında, her iki kirletici için de en yüksek biyobirikim kapasitesine sahip *Candida tropicalis* mayası kalsiyum aljinat jeli tutuklanarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan besin ortamında bulunan bazı tuzlar kalsiyum aljinat jeli çözmekte, bu da tanecik içindeki hücre miktarının ve tanecik boyutlarının değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan biyobirikim ortamında bu iyonları içeren tuzların miktarı minimum seviyede tutulmuştur.

Dolgulu kolon reaktördeki uygun çalışma koşullarını saptamak ve kesikli sistemde Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikimini etkileyen tanecik büyüklüğü, başlangıç boyarmadde ve metal iyonu derişimleri gibi sistem parametrelerini incelemek amacıyla bir seri deney yapılmış, sonuçlar biyobirikim hız ve kapasitesi açısından karşılaştırılmıştır. Tutuklanmış maya ile gerçekleştirilen kesikli sistem çalışmalarının son kısmında bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G karışımlarını birarada ve maksimum karışım derişimi 1000 mg/L olacak şekilde içeren besin ortamlarında her iki kirleticinin eşzamanlı biyobirikim çalışmaları, bir kirleticinin derişimi sabit tutulup diğeri değiştirilerek incelenmiş, sonuçlar serbest mikroorganizmayla bulunanlarla karşılaştırılmıştır.

5.2.1. Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi

5.2.1. 1. Tanecik çapının etkisi

Farklı tanecik çaplarında ($dp_1=2.5$ mm, $dp_2=3.5$ mm, $dp_3=4.5$ mm) tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde Remazol Turkuaz Blue G'nin biyobirikimi incelendiğinde, Şekil 5.84'de görüldüğü gibi tanecik çapının büyümesi ile tanecik içindeki difüzyon kısıtlamalarının artmasıyla Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı değerlerinde düşme gözlenmiştir. Tanecik çapı ile biyobiriktirilen derişim değerlerinin değişimi de benzer olarak tanecik çapının büyümesi ile gittikçe azalmıştır. En yüksek biyobirikim hız ve biyobiriktirilen derişim değerinin, en küçük tanecik çapı olan 2.5 mm'de elde edilmesinden dolayı diğer çalışmalar bu tanecik boyutunda gerçekleştirilmiştir.



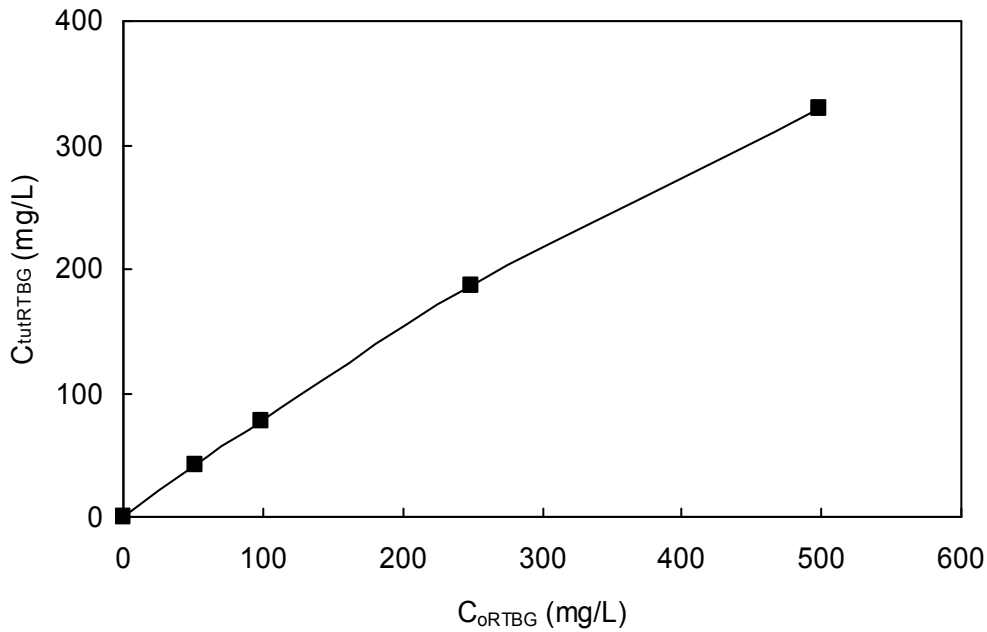
Şekil 5.84. Kalsiyum aljinat'a tutuklanmış *C. tropicalis* mayasına Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine tanecik çapının etkisi ($T=25^{\circ}C$, $pH=4.0$, $S_o=10$ g/L, K. H. 150 rpm)

5.2.1. 2. Başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

Tutuklanmış *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızına, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimine, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesine ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimine başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi 50-500 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 5.29 ve Şekil 5.85'de sunulmuştur.

Çizelge 5.29. Tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde başlangıç boyarmadde derişiminin Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi

C_{oRTBG} (mg/L)	v (mg RTBG/g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
50,4	0,119	26,0	6,97	51,6
101,3	0,191	47,2	13,10	46,6
252,4	0,362	105,6	33,95	41,8
499,4	0,486	184,8	68,95	37,0



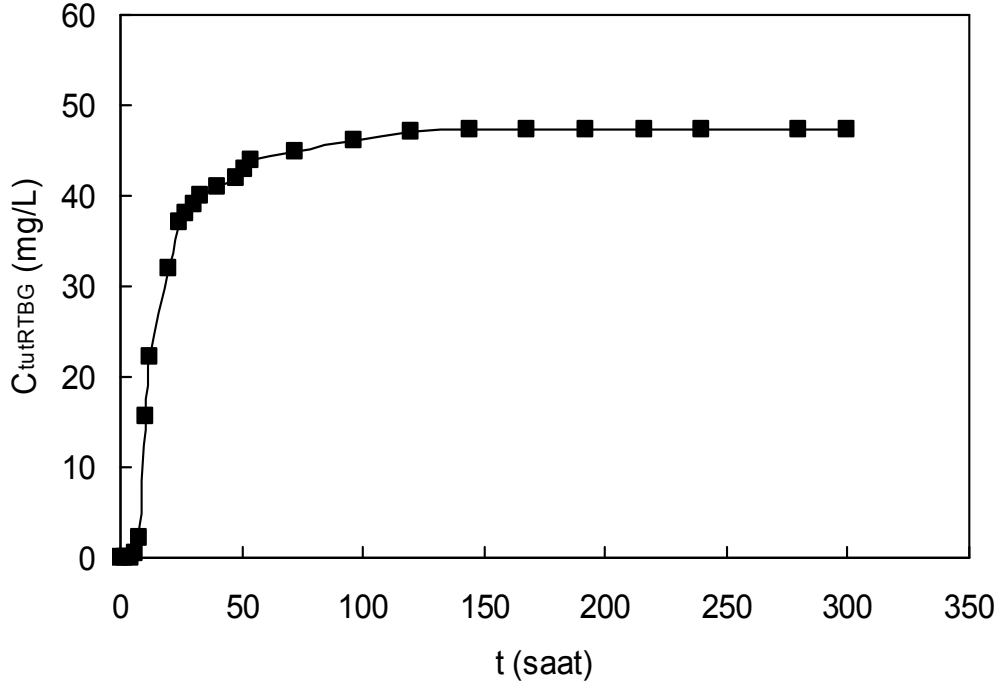
Şekil 5.85. Tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde başlangıç boyarmadde derişiminin maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, S_o=10 g/L, K. H. 150 rpm)

Çizelge ve şekilden serbest *C. tropicalis* mayasıyla elde edilen sonuçlara benzer olarak başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişiminin, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesinin arttığı, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.191'den 0.486 mg RTBG/ g k. mo. sa'e, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 47.2 mg RTBG/L'den 184.8 mg RTBG/L'ye, biyobirikim kapasitesi 13.10 mg RTBG/g k. mo.'dan 68.95 mg RTBG/g k. mo.'ya artmış, % Remazol Turkuaz Blue G giderim değeri ise % 46.6'dan % 37.0'ye düşmüştür.

Serbest ve tutuklanmış maya ile yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, tutuklanmış hücrelerle daha yüksek biyobirikim hız değerleri elde edilmesine karşın, serbest hücrelerle daha yüksek maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi, biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri elde edilmiştir. Örneğin 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişimiyle çalışıldığında, serbest maya ile 0.090 mg RTBG/g k. mo.sa biyobirikim hızı elde edilmişken, tutuklanmış *C. tropicalis* ile çalışıldığında hız 2.1 kat artarak 0.191 mg RTBG/ g k. mo. sa değerine ulaşmıştır. Serbest hücre çalışmalarında elde edilen maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi, biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri sırasıyla 63.8 mg RTBG /L, 17.72 mg RTBG/g k. mo. ve % 64.1 iken, tutuklanmış *C. tropicalis* ile çalışıldığında bu değerler sırasıyla 47.2 mg RTBG/L, 13.10 mg RTBG/g k. mo ve % 46.6 olarak bulunmuştur. Bu durumda % 26.0 daha az Remazol Turkuaz Blue G tutuklanmış hücrelerde birikmiş, biyobirikim kapasitesi % 26.1 oranında azalmış, giderim verimi % 27.3 oranında düşmüştür.

Bu sonuçlar ışığında Remazol Turkuaz Blue G kirleticisinin serbest ve tutuklanmış haldeki mayanın biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine aynı tür etkiyi göstermesine karşın, tutuklanmış hücrelerle daha fazla miktarda mayayla biyobirikim prosesi başlatıldığından, biyobirikim hız değerleri serbest maya hücreleri ile elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur.

Tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, elde edilen biyobiriktilen Remazol Turkuaz Blue G derişiminin zamanla değişim eğrisi ise Şekil 5.86’da sunulmuştur.

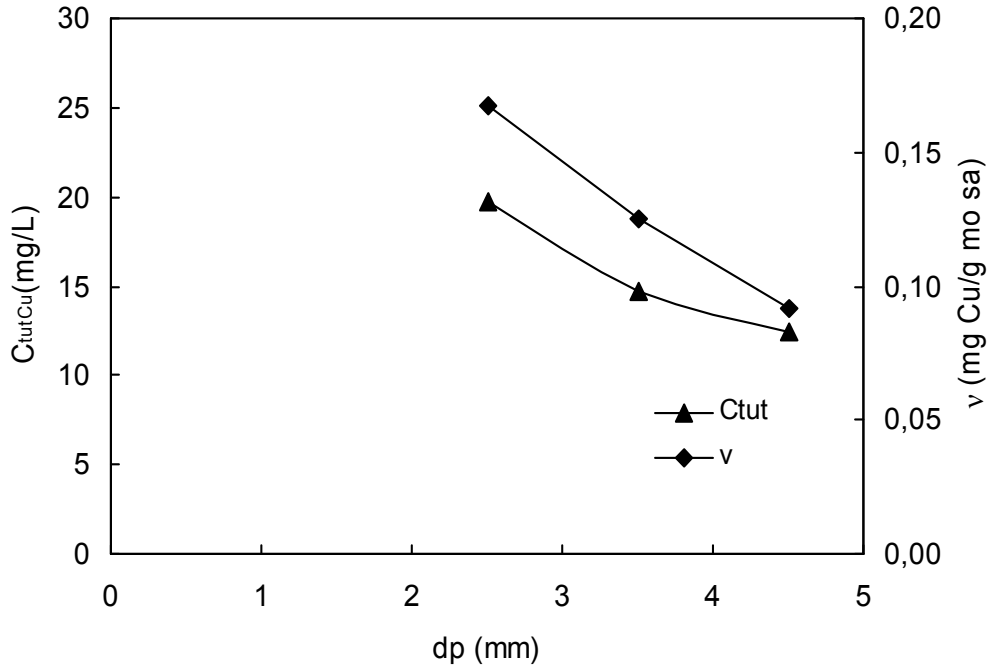


Şekil 86. Tutuklanmış *C. tropicalis*'in 100 mg/L başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde elde edilen biyobirikim eğrisi (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm)

5.2.2. Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi

5.2.2.1. Partikül çapının etkisi

Farklı tanecik büyüklüğündeki (dp₁=2.5 mm, dp₂=3.5 mm, dp₃=4.5 mm) tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile 100 mg/L başlangıç bakır(II) iyon derişiminde bakır(II) iyonlarının biyobirikimi incelenmiştir. Şekil 5.87’de görüldüğü gibi Remazol Turkuaz Blue G biyobirikimine benzer şekilde tanecik çapının büyümesi ile tanecik içindeki difüzyon difüzyon kısıtlamalarının artmasıyla bakır(II) biyobirikim hızı değerlerinde düşme gözlenmiştir. Tanecik çapı ile biyobiriktilen derişim değerlerinin değişimi de benzer olarak tanecik çapının büyümesi ile gittikçe azalmıştır. En yüksek biyobirikim hız ve biyobiriktilen derişim değerinin, en küçük tanecik çapı olan 2.5 mm’de elde edilmesinden dolayı diğer çalışmalar bu tanecik boyutunda gerçekteştirilmiştir.



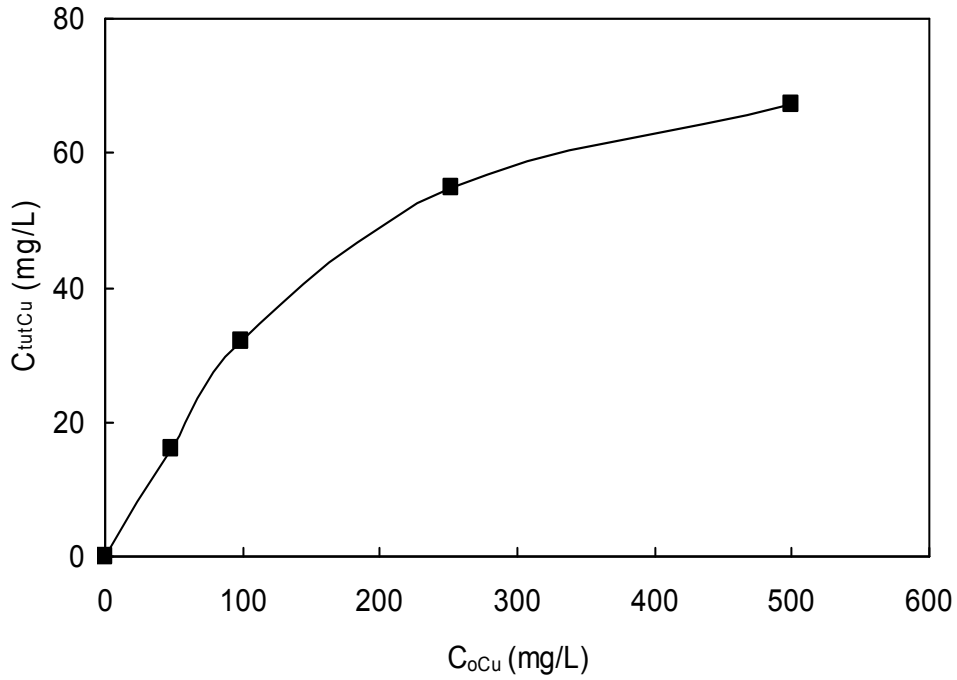
Şekil 5.87. Kalsiyum aljinat'a tutuklanmış *C. tropicalis* mayasına bakır(II) biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine tanecik çapının etkisi (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm)

5.2.2. 2. Başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi

Tutuklanmış *C. tropicalis*'in bakır(II) biyobirikim hızına, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine, bakır(II) biyobirikim kapasitesine ve % bakır(II) giderimine başlangıç bakır(II) derişiminin etkisi 50-500 mg/L derişim aralığında incelenmiş ve sonuçlar Çizelge 30'da ve Şekil 5.88'de sunulmuştur. Şekilden ve çizelgeden, serbest hücre ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara benzer olarak başlangıç bakır(II) iyon derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen bakır(II) derişiminin, bakır(II) biyobirikim kapasitesinin arttığı, % bakır(II) giderim değerlerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin başlangıç bakır(II) derişiminin 100 mg/L'den 500 mg/L'ye artmasıyla biyobirikim hızı 0.167'den 0.353 mg Cu/g k. mo. sa.'e, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 19.7'den 35.8 mg Cu/L 'ye, biyobirikim kapasitesi 5.90 mg Cu/g k. mo.'dan 20.56 mg Cu/g k. mo. 'ya artmış, % bakır(II) giderim değeri ise % 19.3'den % 7.1'e düşmüştür.

Çizelge 5.30. Tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde başlangıç metal iyonu derişiminin bakır(II) biyobirikim hızı, maksimum tutulan bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi

C_{oCu} (mg/L)	v (mg Cu/g k. mo. sa)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim
49,8	0,107	10,3	2,86	20,7
102,2	0,167	19,7	5,90	19,3
250,5	0,290	30,6	11,75	12,2
501,4	0,353	35,8	20,56	7,1



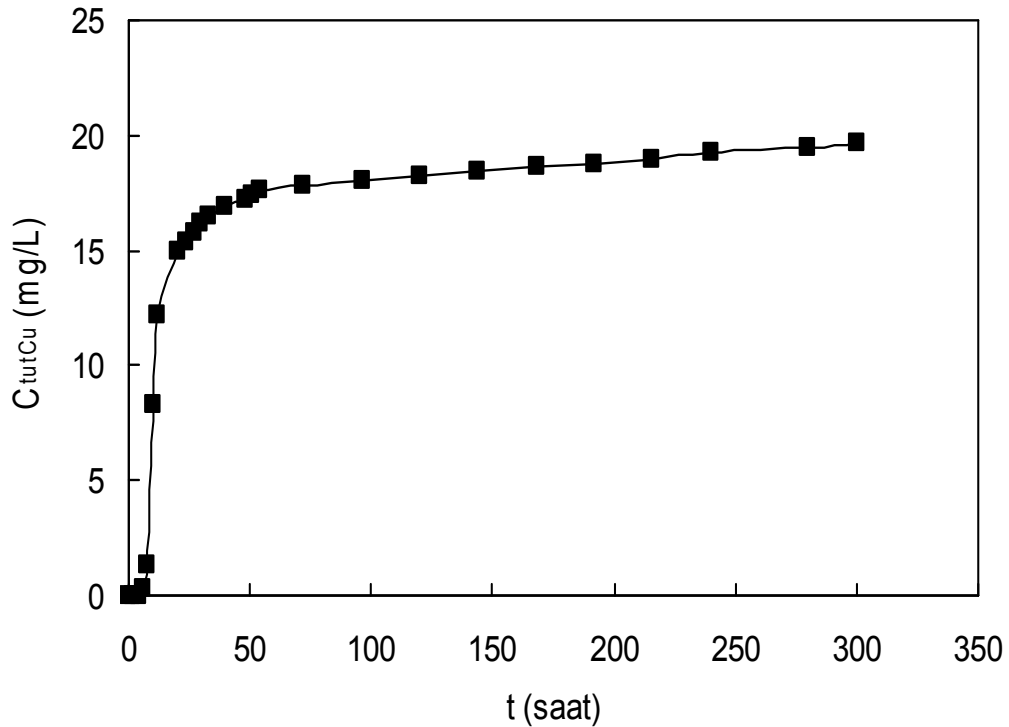
Şekil 5.88. Tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde başlangıç metal iyonu derişiminin maksimum tutulan bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4.0, $S_o=10$ g/L, K. H. 150 rpm)

Serbest ve tutuklanmış maya ile yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, tutuklanmış hücrelerle daha yüksek biyobirikim hız değerleri elde edilmesine karşın, serbest hücrelerle daha yüksek maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri elde edilmiştir. Örneğin 100 mg/L bakır(II) derişimiyle çalışıldığında, serbest maya ile 0.081 mg Cu/g k. mo. sa biyobirikim hızı elde edilmişken, tutuklanmış *C. tropicalis* ile çalışıldığında hız 2.1 kat artarak 0.167 mg Cu/g k. mo. sa değerine ulaşmıştır. Serbest hücre

çalışmalarında elde edilen maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi, biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değerleri sırasıyla 32.1 mg Cu/L, 9.61 mg Cu/g k. mo ve % 32.3 iken, tutuklanmış *C. tropicalis* ile çalışıldığında bu değerler sırasıyla 19.7 mg Cu/L, 5.90 mg Cu/g k. mo ve % 19.3 olarak bulunmuştur. Bu durumda % 38.6 daha az bakır(II) tutuklanmış hücrelerde birikmiş, biyobirikim kapasitesi % 38.6 oranında azalmış, giderim verimi % 40.2 oranında düşmüştür.

Bu sonuçlar ışığında bakır(II) kirleticisinin serbest ve tutuklanmış haldeki mayanın biyobirikim hızı ve kapasitesi üzerine aynı tür etkiyi göstermesine karşın, tutuklanmış hücrelerle daha fazla miktarda mayayla biyobirikim prosesi başlatıldığından, biyobirikim hız değerleri serbest maya hücreleri ile elde edilenlerden daha yüksek bulunmuştur.

Tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde, elde edilen biyobiriktilen bakır(II) derişiminin zamanla değişim eğrisi ise Şekil 5.89'da sunulmuştur.



Şekil 89. Tutuklanmış *C. tropicalis*'in 100 mg/L başlangıç bakır(II) derişiminde elde edilen biyobirikim eğrisi (T=25°C, pH=4.0, S_o=10 g/L, K. H. 150 rpm)

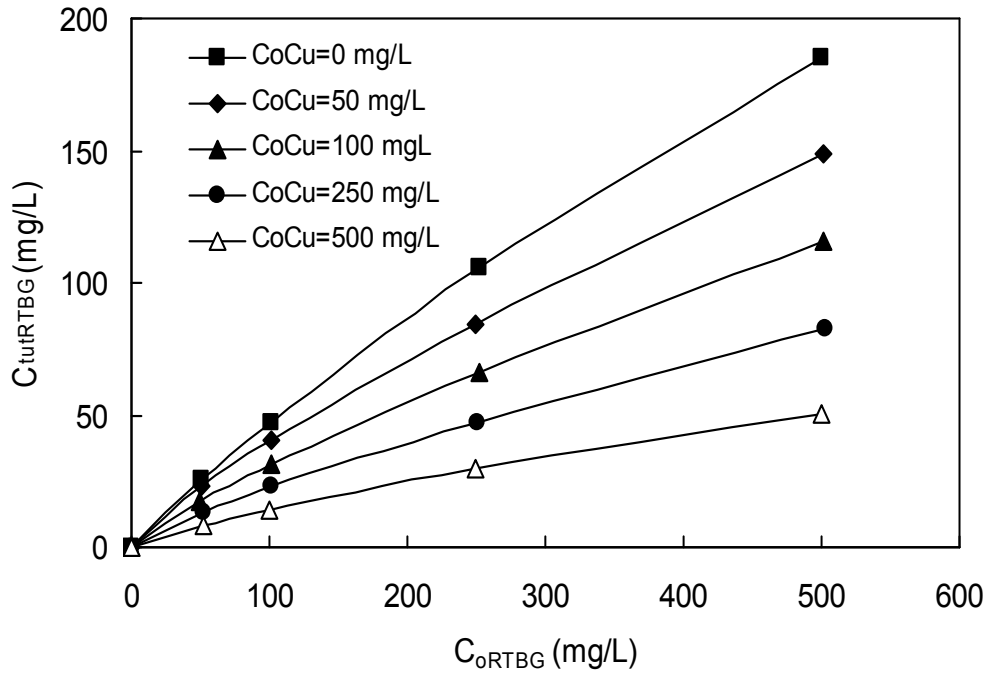
Şekil 5.86 ve 5.89 karşılaştırıldığında tutuklanmış *C. tropicalis* mayasının Remazol Turkuaz Blue G boyarmaddesini bakır(II) iyonlarından daha yüksek hız ve kapasitede biriktirdiği, ancak her iki kirletici biyobirikim kapasitesinin serbest *C. tropicalis*'den daha düşük olduğu söylenebilir.

5.2.3. Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının biyobirikiminin incelenmesi

5.2.3.1. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

Tutuklanmış *C. tropicalis* ile Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimi 50-500 mg/L aralığında değiştirilirken, bakır(II) derişimi her bir değişen Remazol Turkuaz Blue G derişim seti için 0, 50, 100, 250 ve 500 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{oRTBG}/C_{oCu} oranı 1 ila 10 arasında değiştirilmiştir. Her bir sabit bakır(II) iyon derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimine etkisi Şekil 5.90'da; Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızlarına, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimlerine, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasitelerine ve % Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) giderim değerlerine etkisi ise Çizelge 5.31'de gösterilmiştir. Şekilden ve çizelgeden, her bir sabit bakır(II) derişiminde başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızının, maksimum tutulan boyarmadde derişiminin, biyobirikim kapasitesinin arttığı, % Remazol Turkuaz Blue G değerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Bakır derişimindeki artışın ise boyarmaddenin biyobirikim hızını, maksimum biriktirilen boyarmadde derişimini, boyarmaddenin biyobirikim kapasitesini ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerini ise oldukça azalttığı gözlenmektedir. Örneğin sadece 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında tutuklanmış *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı 0.191 mg RTBG/g mo. sa, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 47.2 mg RTBG/L, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan Remazol Turkuaz Blue G miktarı 13.10 mg RTBG/g mo % Remazol Turkuaz Blue G giderimi % 46.6 iken,

ortama 100 mg/L boyarmaddenin yanı sıra 100 mg/L bakır(II) eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0.131 mg RTBG/g mo sa, 31.7 mg RTBG/L, 11.01 mg RTBG/g mo ve % 31.3 olarak bulunmuştur. Bu durumda bakır(II) iyonları mayanın Remazol Turkuaz Blue G birikim kapasitesini % 16.0 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar bakır(II) kirleticisinin çalışılan tüm bakır(II) derişimlerinde mayanın Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.



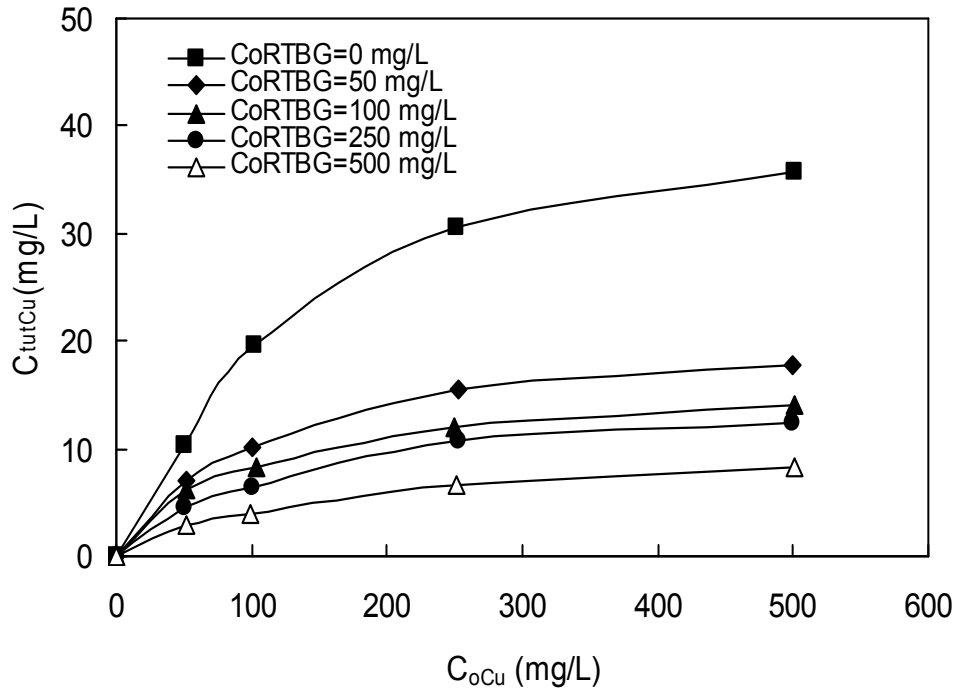
Şekil 5.90. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç bakır(II) derişiminde, başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminin tutuklanmış *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi üzerine etkisi ($T=25^{\circ}C$, $pH=4,0$, $S_o=10$ g/L, K. H. 150 rpm)

Çizelge 5.31. Her bir sabit bakır(II) derişiminde değişen başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde tutuklanmış *C. tropicalis* için elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri

Q (mL/ dak)	C _{oCu} (mg/L)	v RTBG (mg RTBG/ g k. mo. sa)	v Cu (mg Cu/ g k. mo. sa)	C _{tutRTBG} (mg/L)	C _{tutCu} (mg/L)	q _{mRTBG} (mg/g k. mo.)	q _{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim RTBG	% Giderim Cu
50,4	0,0	0,119	0,000	26,0	0,0	6,97	0,00	51,6	0,0
101,3	0,0	0,191	0,000	47,2	0,0	13,10	0,00	46,6	0,0
252,4	0,0	0,362	0,000	105,6	0,0	33,95	0,00	41,8	0,0
499,4	0,0	0,486	0,000	184,8	0,0	68,95	0,00	37,0	0,0
51,4	52,4	0,103	0,082	22,8	7,1	6,94	2,17	44,3	13,6
100,8	51,4	0,157	0,076	40,2	6,1	13,23	1,99	39,9	11,8
249,5	49,8	0,257	0,069	84,4	4,5	32,96	1,77	33,8	9,1
501,2	51,5	0,321	0,041	149,1	2,9	68,37	1,33	29,7	5,6
49,9	101,2	0,083	0,119	17,4	10,1	5,86	3,43	34,8	10,0
101,4	103,3	0,131	0,109	31,7	8,3	11,01	2,89	31,3	8,0
251,6	99,9	0,219	0,093	66,3	6,4	26,63	2,57	26,4	6,4
501,1	98,7	0,294	0,085	115,4	4,0	53,43	1,87	23,0	4,1
52,5	252,3	0,073	0,182	13,2	15,5	5,25	6,16	25,1	6,1
101,5	249,8	0,108	0,162	22,9	12,0	9,30	4,87	22,6	4,8
250,8	252,0	0,187	0,150	47,4	10,7	20,00	4,53	18,9	4,3
502,2	251,6	0,236	0,111	82,5	6,6	39,08	3,15	16,4	2,6
51,6	499,4	0,040	0,206	8,2	17,8	4,91	10,75	15,8	3,6
99,9	501,1	0,090	0,190	14,1	14,0	8,77	8,72	14,1	2,8
249,8	499,5	0,153	0,165	29,4	12,4	18,96	8,03	11,8	2,5
499,9	500,7	0,194	0,145	50,8	8,2	33,85	5,47	10,2	1,6

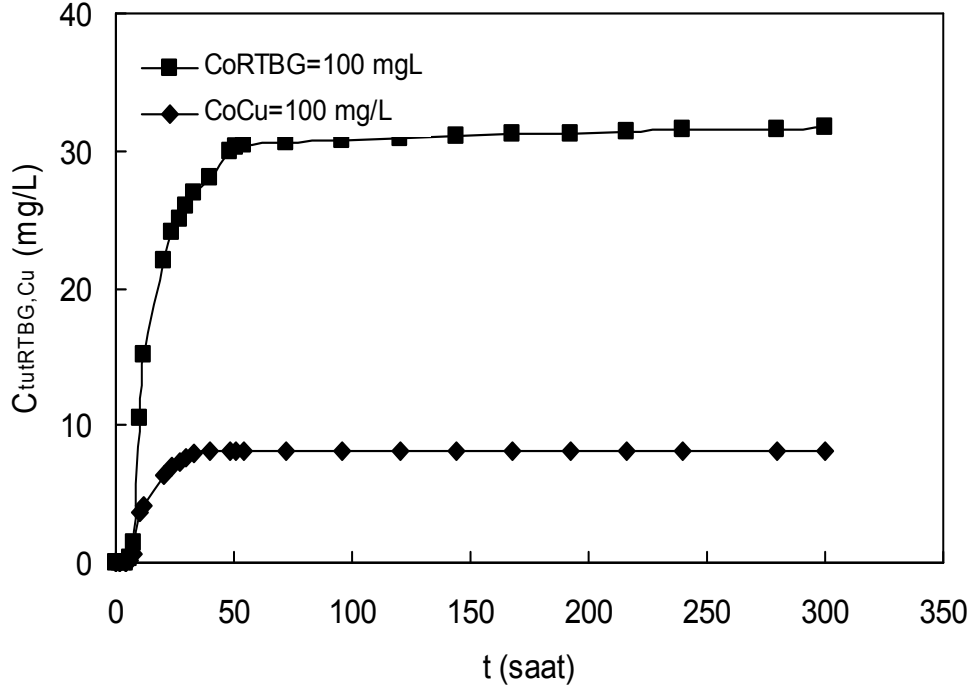
5.2.3.2. Her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Farklı oranlarda Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda bakır(II) biyobirikimi aynı verilerle 50-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0-500 mg/L aralığında değiştirilmesiyle de incelenebilir ve yine Çizelge 5.31 her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı bakır(II) derişimlerinde elde edilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasiteleri ve % bakır(II) ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Veriler bu şekilde değerlendirilerek, her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde başlangıç bakır(II) derişiminin maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimine etkisi Şekil 5.91'de sunulmuştur. Şekilden, çalışılan bütün Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde, başlangıç bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye kadar artmasıyla maksimum biriktirilen bakır(II) derişiminin önemli oranda arttığı gözlenmektedir. Remazol Turkuaz Blue G derişiminin artması ise maksimum biriktirilen bakır(II) derişimini yine oldukça azaltmaktadır. Örneğin sadece 100 mg/L bakır(II) içeren besin ortamında tutuklanmış *C. tropicalis*'in bakır(II) biyobirikim hızı 0.167 mg Cu/g mo. sa, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 19.7 mg Cu/L, birim kuru maya kütlesi tarafından tutulan bakır(II) miktarı 5.90 mg Cu/g mo, % bakır(II) giderimi % 19.3 iken, ortama 100 mg/L metal iyonunun yanı sıra 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0.109 mg Cu/g mo sa, 8.3 mg Cu/L, 2.89 mg Cu/g mo ve % 8.0 olarak bulunmuştur. Bu durumda Remazol Turkuaz Blue G mayanın bakır(II) birikim kapasitesini % 51.0 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar bakır(II) kirleticisinin çalışılan tüm Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde tutuklanmış mayanın bakır(II) biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.



Şekil 5.91. 0-500 mg/L aralığında değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin tutuklanmış *C. tropicalis* tarafından maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi üzerine etkisi (T=25°C, pH=4,0, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm)

100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrileri Şekil 5.92'de karşılaştırılmıştır. Şekilden tutuklanmış *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G'yi bakır(II) iyonlarından daha yüksek hız ve kapasitede biriktirdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.92. 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 100 mg/L bakır(II) karışımı içeren besin ortamında her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrilerinin karşılaştırılmaları (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L, K. H. 150 rpm)

5.3. Kalsiyum Aljinata Tutuklanmış *C. tropicalis* Mayasıyla Melaslı Besin Ortamında Sürekli Sistem Dolgulu Kolon Çalışmaları

5.3.1. Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminin incelenmesi

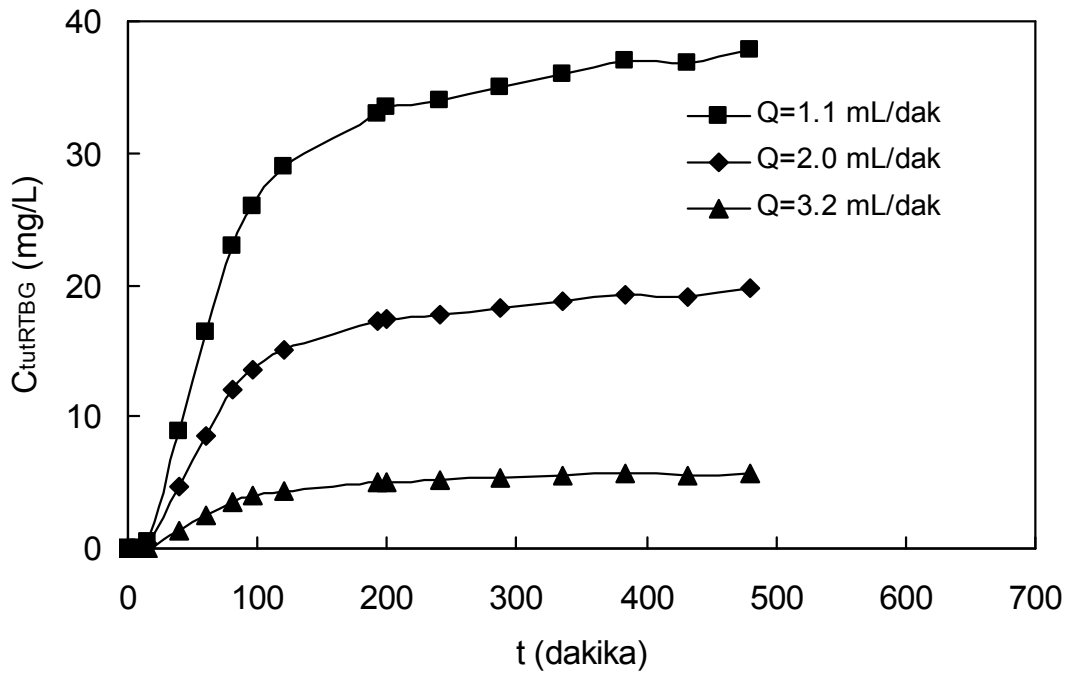
5.3.1.1. Besleme akış hızının etkisi

Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim çalışmalarında, akış hızının Remazol Turkuaz Blue G'nin biyobirikim hızı ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi, 100 mg/L besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminde ve akış hızı 1.1-3.2 mL/dak aralığında değiştirilerek incelenmiştir. Her bir akış hızında elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktilen Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerleri Çizelge 5.32'de sunulmuştur. Şekil 5.93'de ise her bir akış hızında elde edilen biyobirikim eğrileri verilmiştir.

Çizelgeden, akış hızı arttıkça mayanın boyarmaddeyi biyobirikim hızı, kapasitesi ve giderim veriminin azaldığı görülmektedir. En yüksek biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değeri en düşük akış hızı olan 1.1 mL/dak'da elde edildiğinden diğer kolon çalışmaları bu akış hızında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.32. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde akış hızının biyobirikim hızı, maksimum biyobiriktilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi

Q (mL/dak)	C_{oRTBG} (mg/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/ g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
1,1	101,6	0,097	37,8	0,61	37,2
2,0	99,8	0,092	19,7	0,58	19,7
3,2	102,4	0,083	11,1	0,27	10,8



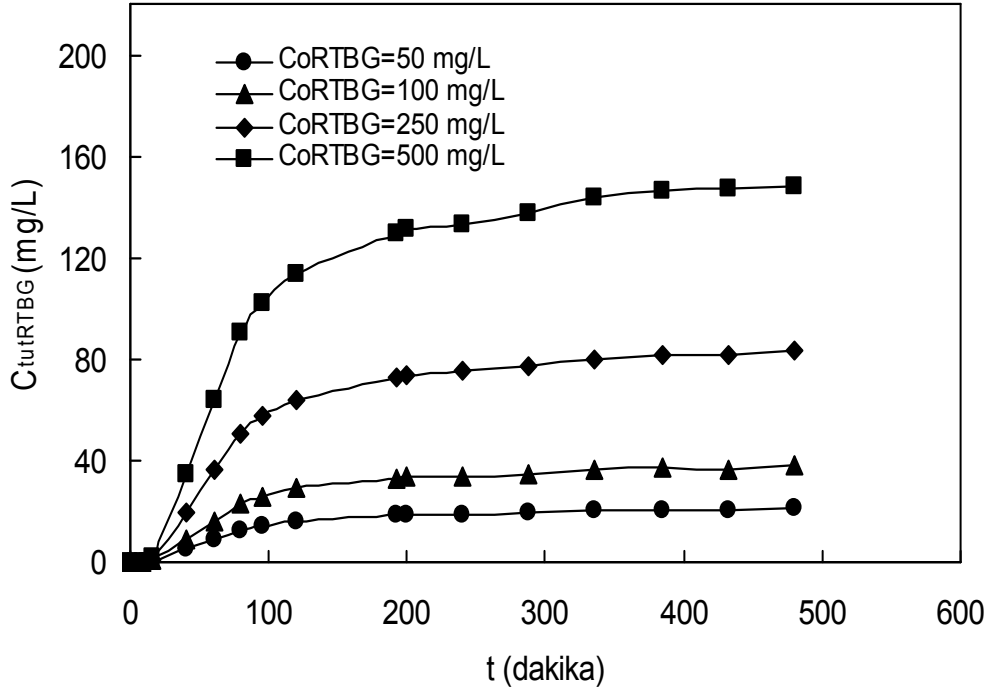
Şekil 5.93. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde farklı akış hızlarında elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L)

5.3.1.2. Besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

Besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin tutuklanmış *C. tropicalis*'in boyarmadde birikim hız ve kapasitesi üzerine etkisi 1,1 mL/dak sabit akış hızında ve 50-500 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişim aralığında incelenmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 5.33'de sunulmuştur. Şekil 5.94'de ise 50-500 mg/L derişim aralığında elde edilen biyobirikim eğrileri yer almaktadır. Çizelge ve şekilden *C. tropicalis* mayası ile kesikli sistemde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara benzer olarak giriş Remazol Turkuaz Blue G derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişiminin, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesinin arttığı, boyarmadde giderim veriminin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin besleme Remazol Turkuaz Blue G derişimi 100 mg/L'den 500 mg/L'ye çıkartıldığında biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi sırasıyla 0,097'den 0,381 mg RTBG/ g k. mo. sa'e, 37,8'den 148,4 mg RTBG/L'ye, 0,61'den 2,42 mg RTBG/g k. mo'ya artmış, boyarmadde giderim verimi ise % 37,2'den % 29,6'ya düşmüştür.

Çizelge 5.33. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin biyobirikim hızı, maksimum tutulan Remazol Turkuaz Blue G derişimi, Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasitesi ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi üzerine etkisi

C_{0RTBG} (mg/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/ g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	% Giderim
51,1	0,054	21,1	0,34	41,3
101,6	0,097	37,8	0,61	37,2
249,8	0,215	83,6	1,36	33,5
501,3	0,381	148,4	2,42	29,6



Şekil 5.94. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G biyobirikiminde farklı besleme derişimlerinde elde edilen Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L, Q= 1.1 mL/dak)

5.3.2. Bakır(II) biyobirikiminin incelenmesi

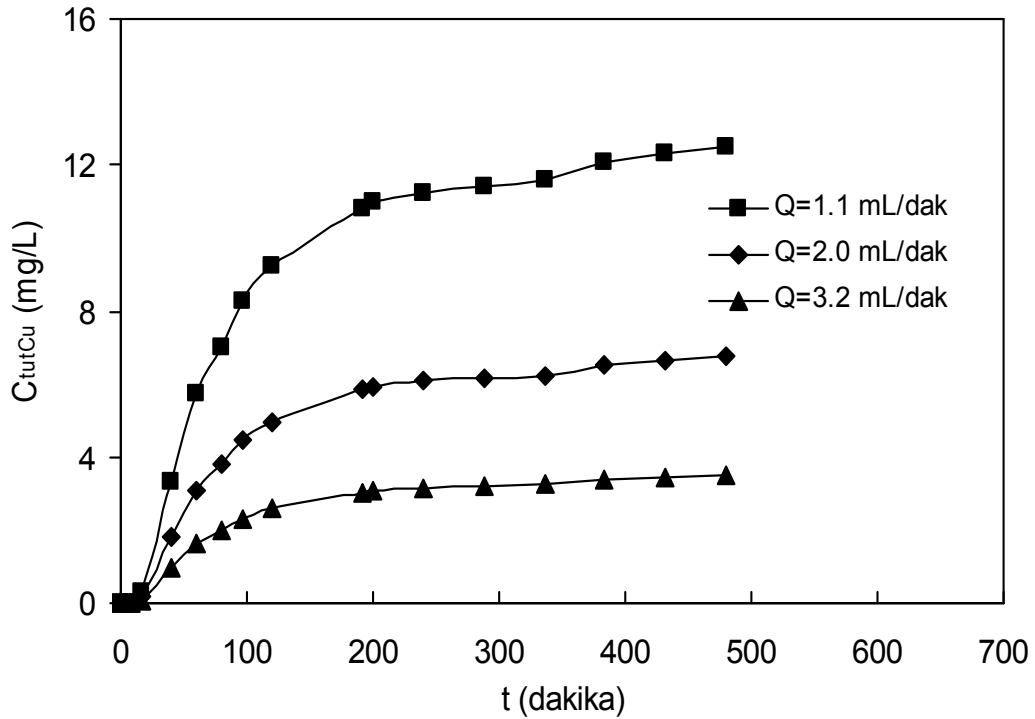
5.3.2.1. Besleme akış hızının etkisi

Bakır(II) biyobirikim çalışmalarında, akış hızının bakır(II)'nin biyobirikim hızı ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi, 100 mg/L besleme bakır(II) derişiminde ve akış hızı 1.1-3.2 mL/dak aralığında değiştirilerek incelenmiştir. Her bir akış hızında elde edilen bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen metal iyonu derişimleri, bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % bakır(II) giderim değerleri Çizelge 5.34'de sunulmuştur. Şekil 5.95'de ise her bir akış hızında elde edilen biyobirikim eğrileri verilmiştir.

Çizelgeden, akış hızı arttıkça mayanın metal iyonunu biyobirikim hızı, kapasitesi ve giderim veriminin azaldığı görülmektedir. En yüksek biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderim değeri en düşük akış hızı olan 1.1 mL/dak'da elde edildiğinden diğer kolon çalışmaları bu akış hızında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.34. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde akış hızının biyobirikim hızı, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi

Q (mL/dak)	C_{OCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim
1,1	101,5	0,032	12,5	0,20	12,3
2,0	103,4	0,031	6,8	0,19	6,5
3,2	98,8	0,026	3,5	0,16	3,6



Şekil 5.95. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde farklı akış hızlarında elde edilen bakır(II) biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, $S_0=10$ g/L)

5.3.2.2. Besleme bakır(II) derişiminin etkisi

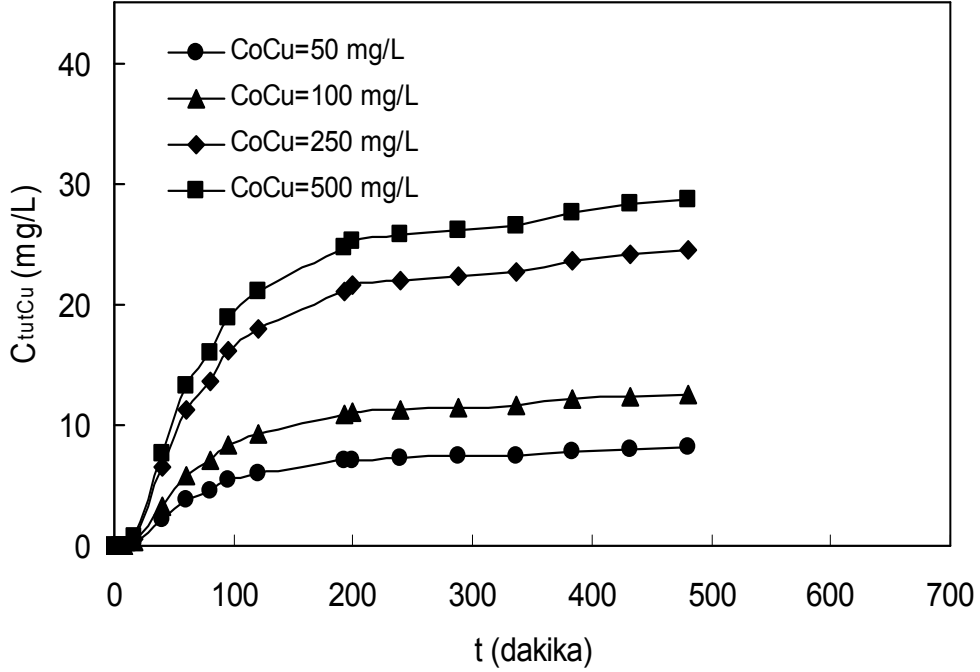
Besleme bakır(II) derişiminin tutuklanmış *C. tropicalis*'in metal iyonu birikim hız ve kapasitesi üzerine etkisi 1,1 mL/dak sabit akış hızında ve 50-500 mg/L bakır(II) derişim aralığında incelenmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 5.35'de sunulmuştur. Şekil 5.96'de ise 50-500 mg/L derişim aralığında elde edilen biyobirikim eğrileri yer almaktadır. Çizelge ve şekilden *C. tropicalis* mayası ile

kesikli sistemde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara benzer olarak giriş bakır(II) derişimi arttıkça biyobirikim hızının, maksimum biriktirilen bakır(II)derişiminin, bakır(II) biyobirikim kapasitesinin arttığı, metal iyonu giderim veriminin ise azaldığı gözlenmektedir. Örneğin besleme bakır(II) derişimi 100 mg/L'den 500 mg/L'ye çıkartıldığında biyobirikim hızı, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi ve bakır(II) biyobirikim kapasitesi sırasıyla 0.032'den 0.074 mg Cu/ g k. mo. sa'e, 12.5'den 28.7 mg Cu/L'ye, 0.20 mg Cu/g k. mo'dan 0.46 mg Cu/g k. mo'ya artmış, metal iyonu giderim verimi ise % 12.3'den % 5.7'ye düşmüştür.

Çizelge 5.35. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde besleme bakır(II) derişiminin biyobirikim hızı, maksimum tutulan bakır(II) derişimi, bakır(II) biyobirikim kapasitesi ve % bakır(II) giderimi üzerine etkisi

C_{0Cu} (mg/L)	V_{Cu} (mg Cu/ g k. mo. sa)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim Cu
49,1	0,021	8,1	0,13	16,5
101,5	0,032	12,5	0,20	12,3
251,4	0,063	24,5	0,39	9,7
503,0	0,074	28,7	0,46	5,7

Şekil 5.94 ve 5.96'da verilen tutuklanmış *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim eğrileri karşılaştırıldığında, kesikli sistem sonuçlarına benzer olarak tutuklanmış maya hücrelerinin Remazol Turkuaz Blue G'yi bakır(II) iyonlarından daha yüksek hız ve kapasitede biriktirdiği, ancak bu sistemin boyarmadde ve metal biyobirikimini kesikli sistemden daha düşük kapasitede gerçekleştirdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.96. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e bakır(II) biyobirikiminde farklı besleme derişimlerinde elde edilen bakır(II) biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L, Q= 1.1 mL/dak)

5.3.3. Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının biyobirikiminin incelenmesi

5.3.3.1. Her bir sabit besleme bakır(II) iyon derişiminde besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin etkisi

Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis* ile bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G'yi birlikte içeren besin ortamında yapılan çalışmalarda 1.1 mL/dak sabit akış hızında, besleme Remazol Turkuaz Blue G derişimi 50 ve 500 mg/L değerlerinde değiştirilirken, besleme bakır(II) derişimi her bir değişen Remazol Turkuaz Blue G derişim seti için 0, 50, ve 500 mg/L değerlerinde sabit tutulmuştur. Yani C_{0RTBG}/C_{0Cu} oranı 1 ve 10 olarak incelenmiştir. Her bir sabit besleme bakır(II) derişiminde besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminin *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızına, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimine, biyobirikim kapasitesine ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim verimine etkisi ise Çizelge 5.36'da gösterilmiştir. Çizelgeden her bir sabit besleme bakır(II) derişiminde giriş Remazol Turkuaz Blue G derişiminin 500 mg/L'ye kadar

artmasıyla boyarmadde biyobirikim hızının, maksimum tutulan boyarmadde derişiminin ve boyarmaddenin biyobirikim kapasitesinin arttığı, % Remazol Turkuaz Blue G değerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Besleme bakır derişimindeki artışın ise boyarmaddenin biyobirikim hızını, maksimum biriktirilen boyarmadde derişimini mayanın boyarmadde birikim kapasitesini ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerini ise oldukça azalttığı gözlenmektedir. Örneğin bakır(II) iyonu içermeyen ama 50 mg/L Remazol Turkuaz Blue G içeren besin ortamında tutuklanmış *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı 0.054 mg RTBG/g mo sa, maksimum biriktirilen Remazol Turkuaz Blue G derişimi 21.1 mg RTBG/L, biyobirikim kapasitesi 0.34 mg RTBG/g mo ve % Remazol Turkuaz Blue G giderimi % 41.3 iken, ortama 50 mg/L boyarmaddenin yanı sıra 50 mg/L bakır(II) eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0,047 mg RTBG/g mo sa, 18.1 mg RTBG/L, 0.21 mg RTBG/g mo ve % 35.4 olarak bulunmuştur. Bu durumda bakır(II) iyonları mayanın Remazol Turkuaz Blue G birikim kapasitesini % 38.2 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar bakır(II) kirleticisinin çalışılan tüm bakır(II) derişimlerinde mayanın Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.

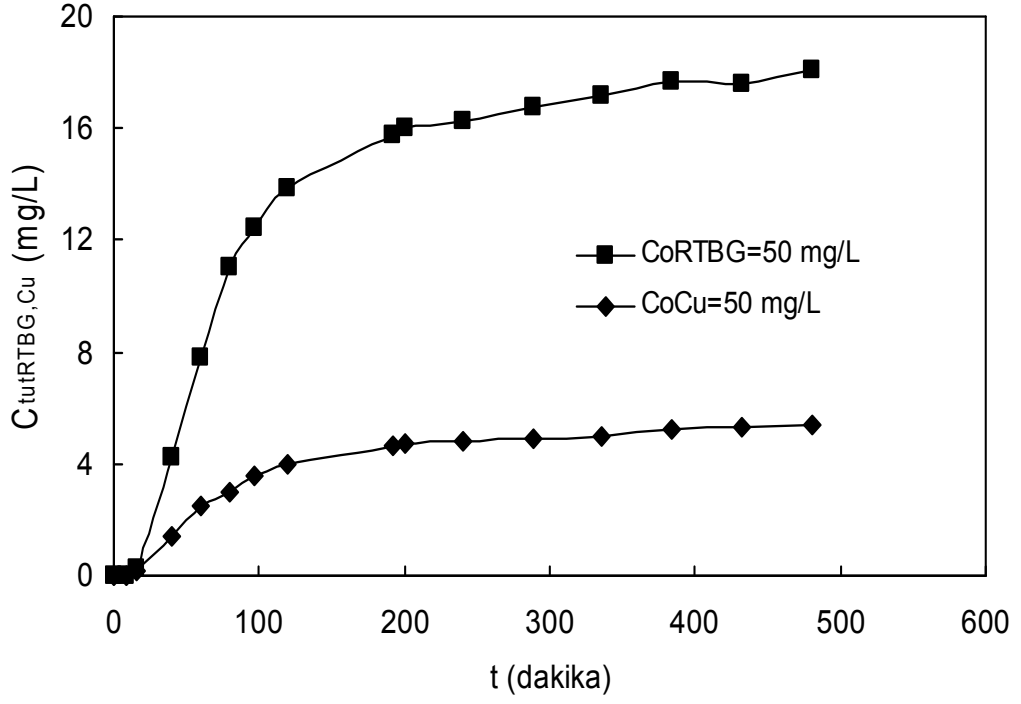
Çizelge 5.36. Dolgulu kolonda *C. tropicalis*'e Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) karışımlarının biyobirikiminde her bir sabit besleme bakır(II) derişiminde farklı giriş Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hızları, maksimum biyobirikirilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişimleri, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim kapasiteleri ve % Remazol Turkuaz Blue G ve % bakır(II) giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	C_{oCu} (mg/L)	V_{RTBG} (mg RTBG/ g k. mo. sa)	V_{Cu} (mg Cu/ g k. mo. sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	% Giderim RTBG	% Giderim Cu
51,1	0,0	0,054	0,000	21,1	0,0	0,34	-	41,3	0,0
501,3	0,0	0,381	0,000	148,4	0,0	2,42	-	29,6	0,0
0,0	49,1	0,000	0,021	0,0	8,1	-	0,13	0,0	16,5
51,2	49,8	0,047	0,014	18,1	5,4	0,21	0,06	35,4	10,8
501,5	51,2	0,306	0,006	119,3	2,3	1,41	0,03	23,8	4,5
0,0	503,0	0,000	0,074	0,0	28,7	-	0,46	0,0	5,7
49,8	499,9	0,042	0,035	16,5	13,6	0,19	0,16	33,1	2,7
498,8	502,4	0,104	0,018	40,6	7,1	0,48	0,08	8,1	1,4

5.3.3.2. Her bir sabit besleme Remazol Turkuaz Blue G derişiminde besleme bakır(II) iyon derişiminin etkisi

Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis* ile farklı oranlarda Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını birlikte içeren ortamda bakır(II) biyobirikimi aynı verilerle 50 ve 500 mg/L değerlerinde değişen her bir sabit başlangıç Remazol Turkuaz Blue G derişiminde, başlangıç bakır(II) derişiminin 0 ve 500 mg/L değerlerinde değiştirilmesiyle de incelenebilir ve yine Çizelge 5.36 her bir sabit Remazol Turkuaz Blue G derişiminde farklı bakır(II) derişimlerinde elde edilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızları, maksimum biyobiriktirilen bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G derişimleri, bakır(II) ve Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim kapasiteleri ve % bakır(II) ve % Remazol Turkuaz Blue G giderim değerlerinin bulunmasında kullanılabilir. Çizelge 5.36'nın yeniden değerlendirilmesiyle örneğin Remazol Turkuaz Blue G içermeyen ama 50 mg/L bakır(II) iyonu içeren besin ortamında tutuklanmış *C. tropicalis*'in bakır(II) biyobirikim hızı 0.021 mg Cu/g mo sa, maksimum biriktirilen bakır(II) derişimi 8.1 mg Cu/L, biyobirikim kapasitesi 0.13 mg Cu/g mo ve % bakır(II) giderimi % 16.5 iken, ortama 50 mg/L bakır(II) iyonlarının yanı sıra 50 mg/L boyarmadde eklendiğinde bu değerler sırasıyla 0.014 mg Cu/g mo sa, 5.4 mg Cu/L, 0.06 mg Cu/g mo ve % 10.8 olarak bulunmuştur. Bu durumda Remazol Turkuaz Blue G mayanın bakır(II) birikim kapasitesini % 53.8 azaltmıştır. Genel olarak bulunan sonuçlar Remazol Turkuaz Blue G kirleticisinin çalışılan tüm Remazol Turkuaz Blue G derişimlerinde mayanın bakır(II) biyobirikim hızı ve kapasitesini olumsuz olarak etkilediğini göstermektedir.

Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e 50 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 50 mg/L bakır(II) içeren karışımın biyobirikiminde her bir kirleticiye ait biyobirikim eğrileri Şekil 5.97'de sunulmuştur. Şekilden ikili karışım da yine tutuklanmış *C. tropicalis*'in Remazol Turkuaz Blue G'yi bakır(II) iyonlarından daha yüksek kapasitede biriktirdiği gözlenmektedir.



Şekil 5.97. Dolgulu kolonda tutuklanmış *C. tropicalis*'e 50 mg/L Remazol Turkuaz Blue G ve 50 mg/L bakır(II) içeren karışımın biyobirikiminde her bir kirleticie ait biyobirikim eğrileri ($T=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=4.0$, $S_0=10 \text{ g/L}$, $Q= 1.1 \text{ mL/dak}$)

6. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI VE ÖNERİLER

Yapılan tez çalışmasında tek tek veya karışım halinde Remazol Turkuaz Blue G reaktif boyarmaddesi ve bakır(II) metal iyonunu içeren ve düşük pH'a sahip tekstil endüstrisi atıksularının, serbest ve tutuklanmış maya hücrelerine biyobirikim yöntemiyle gideriminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği araştırılmıştır.

Bu amaçla düşük pH'larda üreyebilen ve boyarmadde ve ağır metal iyonlarına karşı oldukça dirençli olan mayalardan *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının öncelikle hiçbir kirletici içermeyen melaslı besin ortamında üreme kinetiği incelenmiş, Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında ise bu kirleticilerin mayaların üremesine inhibisyon etkisi araştırılmıştır. Daha sonra bu kirleticilere karşı en yüksek direnci gösteren *C. tropicalis* mayası ile Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarını farklı oranlarda birlikte içeren karışımlarla mikroorganizmanın üreme kinetiği incelenmiştir. Serbest hücre ile gerçekleştirilen çalışmaların son kısmında Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına her bir kirleticinin tekli biyobirikimi araştırılmış ve bu kirleticilerin farklı derişimlerdeki ikili karışımlarının biyobirikimi ise yine en yüksek biyobirikim kapasitesine sahip *C. tropicalis* mayasıyla incelenmiştir. Kesikli karıştırmalı kap çalışmalarının ikinci kısmında, *C. tropicalis* mayası kalsiyum aljinat jele tutuklanarak Remazol Turkuaz Blue G ve/veya bakır(II) biyobirikimi, tanecik büyüklüğü, başlangıç boyarmadde ve metal iyonu derişimleri gibi sistem parametrelerinin fonksiyonu olarak incelenmiş ve sonuçlar serbest *C. tropicalis* mayası ile bulunanlarla karşılaştırılmıştır. Tutuklanmış mikroorganizma ile kesikli sistemde en uygun çalışma koşulları saptandıktan sonra, dolgulu kolon çalışmalarına geçilmiştir. Dalgulu kolonda besleme akış hızının ve besleme boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin tekli ve karışım halinde tutuklanmış maya hücrelerinin biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Kesikli sistemde boyarmadde ve metal iyonu içermeyen besin ortamında *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının özgül üreme hızlarına ve maksimum mikroorganizma derişimlerine başlangıç pH'ının etkileri

araştırılmış ve maksimum üremenin bütün maya türleri için pH 4.0'de gerçekleştiği görülmüştür.

Deneysel çalışmalarda, melas sakkarozu substrat olarak kullanılmış ve başlangıç sakkaroz derişiminin mayaların özgül üreme hızına etkisi, sakkaroz derişimi 1-20 g/L aralığında değiştirilerek incelenmiş ve bu derişim aralığında bütün maya türleri için substrat inhibisyonunun olmadığı gözlenmiştir. Üremeyi kısıtlayıcı substrat (sakkaroz) ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkinin Monod eşitliğine uyduğu varsayılarak, *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarına ait kinetik sabitler bulunmuştur. Her bir mayaya ait bulunan kinetik sabitlerden *C. tropicalis*'in maksimum özgül üreme hızına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Kesikli sistemde serbest maya hücreleriyle gerçekleştirilen çalışmaların daha sonraki aşamasında ise, 100 mg/L tekli Remazol Turkuaz Blue G veya tekli bakır(II) derişimi içeren melaslı besin ortamlarında, başlangıç pH'ının mayaların özgül üreme hızlarına ve maksimum mikroorganizma derişimlerine etkileri incelenmiş ve yine bütün maya türleri için pH 4.0'de maksimum üremenin gerçekleştiği görülmüştür. Ancak boyarmadde veya bakır(II) iyonu içeren ortamlarda bulunan maksimum üreme pH değerleri aynı olsa da, bakır(II) iyonu içeren ortamda elde edilen özgül üreme hız ve en yüksek mikroorganizma derişim değerlerinin bütün mayalar için daha düşük olduğu da göz ardı edilmemelidir.

Çalışılan ve artan her bir sabit başlangıç boyarmadde/metal iyon derişiminde, başlangıç sakkaroz derişiminin 1.0'den 20 g/L'ye kadar artmasıyla her iki kirlenici iyonu için de özgül üreme hız değerlerinin ve maksimum mikroorganizma derişimlerinin ve üreme sürelerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak boyarmadde/metal iyon derişimindeki artış bu değerlerin azalmasına neden olmuştur.

Artan sabit sakkaroz derişimlerinde, başlangıç boyarmadde/metal iyonu derişimindeki 0'dan 500 mg/L'ye kadar olan artış, tüm mayaların özgül üreme hız değerlerini ve maksimum mikroorganizma derişimlerini önemli ölçüde azaltmış ve mayaların üreme süresinin daha da uzamasına yol açmıştır.

C. tropicalis mayası ile sabit 10 g/L sakkaroz derişiminde değişen oranlarda Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) içeren melaslı besin ortamlarında yapılan

çalışmalarda da benzer olarak ikili karışımların mayanın özgül üreme hız değerlerini ve maksimum mikroorganizma derişimlerini daha da azalttığı, üreme sürelerini ise daha da uzattığı gözlenmiştir.

Sonraki aşamada, Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının maya türlerinin üremesi üzerindeki inhibisyon etkisi araştırılmış, tekli Remazol Turkuaz Blue G'nin ve bakır(II) iyonlarının *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayalarının üremesi üzerine yaptığı inhibisyonun yarışmalı; Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) ikili karışımlarının *C. tropicalis*'in üremesi üzerine yaptığı ortak inhibisyonun ise yine ikili yarışmalı inhibisyon modeline en iyi uyduğuna karar verilmiştir.

10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) içeren besin ortamında mayaların boyarmadde/metal iyonu biyobirikirme hızları ve kapasiteleri üzerine başlangıç pH'ının etkisi araştırılmış ve tüm maya türleri için 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 Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) derişiminin, artan sabit Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) derişimlerinde ise başlangıç sakkaroz derişiminin mayaların boyarmadde/metal iyonu biyobirikim hız ve kapasitesine etkileri incelendiğinde, genel olarak, her bir sabit sakkaroz derişiminde Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye artmasıyla mayanın biriktirdiği Remazol Turkuaz Blue G/bakır(II) derişiminin ve birikim hızının arttığı, % giderim değerlerinin ise azaldığı; sakkaroz derişimindeki artışın ise her iki kirletici içinde çalışılan tüm derişimlerinde biriktirilen kirletici miktarının ve % giderim değerlerinin daha da artmasını sağladığı gözlenmiştir.

Çizelge 6.1.'de 10 g/L sabit sakkaroz ve farklı iki başlangıç kirletici derişiminde (100 ve 500 mg/L) elde edilen özgül üreme ve biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen kirletici derişimleri, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri, biyobirikim kapasiteleri ve % giderim değerleri karşılaştırılmıştır. Çizelgeden *C. tropicalis* mayasıyla elde edilen özgül üreme hız ve verim değerlerinin diğer mayalardan daha yüksek olduğu, ayrıca yine her iki kirletici için de *C. tropicalis*'in

mayalar arasında en yüksek biyobirikim hızı ve kapasitesine sahip bulunduğu gözlenmektedir. Ayrıca bakır(II) iyonu veya boyarmadde içeren besin ortamlarında elde edilen maksimum özgül üreme hız ve mikroorganizma derişim değerleri ile biyobirikim hız ve kapasite değerleri karşılaştırıldığında bakır(II) iyonu içeren besin ortamında elde edilen değerlerin bütün mayalar için daha düşük olduğu da dikkati çekmektedir ve dolayısıyla bakır(II) iyonlarının bütün mayaların üremesini Remazol Turkuaz Blue G boyasından daha fazla olumsuz yönde etkilediği söylenebilir.

Çizelge 6.1. 10 g/L sabit sakkaroz ve farklı iki başlangıç kirletici derişiminde (100 ve 500 mg/L) elde edilen özgül üreme ve biyobirikim hızları, maksimum biriktirilen kirletici derişimleri, ulaşılan maksimum mikroorganizma derişimleri, biyobirikim kapasiteleri ve % giderim değerleri

C_{oRTBG} (mg/L)	C_{oCu} (mg/L)	μ (sa ⁻¹)	X_m (g/L)	V_{RTBG} (mg/ g k. mo.sa)	V_{Cu} (mg/ g k. mo.sa)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	C_{tutCu} (mg/L)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	%Giderim RTBG	%Giderim Cu
<i>C. tropicalis</i>											
99,5	-	0,117	3,60	0,090	-	63,8	-	17,72	-	64,1	-
-	99,4	0,105	3,34	-	0,081	-	32,1	-	9,61	-	32,3
498,6	-	0,103	2,68	0,207	-	239,3	-	89,30	-	48,0	-
-	499,2	0,077	1,74	-	0,155	-	67,4	-	38,73	-	13,5
<i>C. utilis</i>											
103,3	-	0,113	3,48	0,087	-	58,1	-	16,68	-	56,2	-
-	101,3	0,104	3,20	-	0,078	-	27,3	-	8,54	-	27,0
501,4	-	0,099	2,72	0,198	-	213,6	-	78,53	-	42,6	-
-	502,5	0,076	1,67	-	0,153	-	63,0	-	35,27	-	12,5
<i>C. membranaefaciens</i>											
101,2	-	0,105	3,21	0,088	-	50,8	-	15,83	-	50,2	-
-	102,4	0,089	2,82	-	0,069	-	18,9	-	6,69	-	18,4
502,4	-	0,091	2,58	0,182	-	174,3	-	67,57	-	34,7	-
-	496,6	0,060	1,57	-	0,121	-	58,0	-	36,94	-	11,7
<i>C. lipolytica</i>											
99,8	-	0,086	2,86	0,072	-	41,9	-	14,66	-	42,0	-
-	99,5	0,073	2,28	-	0,057	-	12,1	-	5,29	-	12,1
500.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	500.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

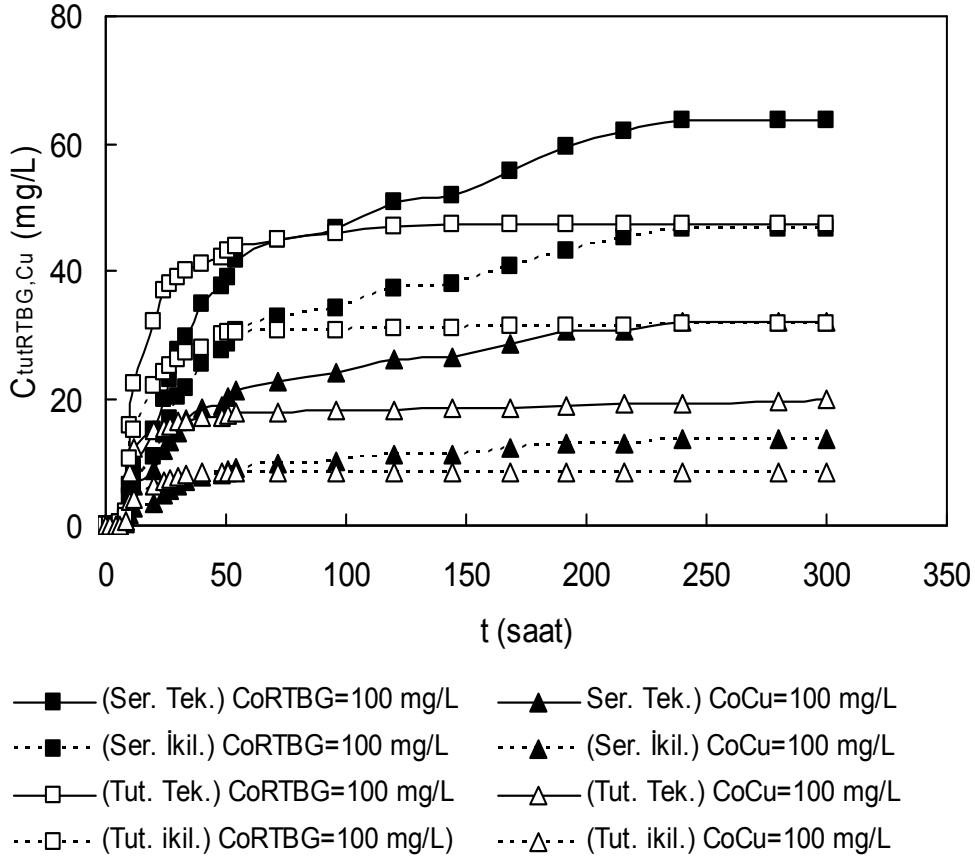
C. tropicalis'in iki kirleticiyi bir arada biyobiriktirme hız ve kapasitesi 10 g/L sabit substrat derişiminde kirleticilerden birinin başlangıç derişimi sabit tutulurken, diğzerinin başlangıç derişimi değıştirilerek incelenmiş ve farklı oranlardaki ikili karışımlarla elde edilen deneysel sonuçlardan karışımdaki bileşenlerden birinin diğzerinin biyobirikim hız ve kapasitesini azalttığı, derişim arttıkça bu etkinin daha fazla olduğu, *C. tropicalis*'in tek kirletici içeren besin ortamındaki biyobirikim kapasitesi kadar olmasa da Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) iyon karışımını da oldukça yüksek kapasitede biriktirdiğı gözlenmiştir.

Serbest hücrelerle yapılan çalışmaları son kısmında kirletici biyobirikim hızı ile özgül üreme hızı arasındaki ilişkiyi veren eşitlikten yararlanarak, her bir maya için sabit sakkaroz derişiminde Remazol Turkuaz Blue G veya bakır(II) biyobirikimine ait kinetik sabitler, *C. tropicalis* mayası ile de ikili kirletici karışımlarındaki her bir kirleticiye ait biyobirikim kinetik sabitleri saptanmıştır. Bu sabitlerin reaktör tasarımında kullanılabileceğı düşünölmektedir.

Kesikli karıştırmalı kapta sabit 10 g/L sakkaroz, 100 mg/L kirletici derişiminde tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla yapılan çalışmalarda tanecik büyüklüğünün, biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri incelendiğinde, tanecik çapının büyümesiyle tanecik içindeki difüzyon kısıtlamalarının artmasından dolayı her iki kirleticinin de biyobirikim hız ve kapasitesinin düştüğü, en yüksek biyobirikim hız ve kapasite değerlerinin en küçük tanecik çapı olan 2.5 mm'de elde edildiğı gözlenmiştir. Bu tanecik büyüklüğünde her iki kirletici için başlangıç Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) derişiminin kirletici biyobirikimi üzerine etkisi araştırıldığında, serbest hücre çalışmalarına benzer olarak tekli Remazol Turkuaz Blue G ve tekli bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye artmasıyla tutuklanmış mayanın biriktirdiğı Remazol Turkuaz Blue G/bakır(II) derişiminin arttığı, % giderim değerlerinin ise azaldığı belirlenmiştir. Farklı oranlardaki ikili karışımlarla çalışıldığında ise, karışımdaki bileşenlerden birinin diğzerinin biyobirikim hız ve kapasitesini azalttığı, derişim arttıkça bu etkinin daha da arttığı görölmüştür.

Şekil 6.1'de serbest ve tutuklanmış *C. tropicalis* ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G, 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) olmak üzere toplam 200 mg/L kirletici içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim eğrileri, Çizelge 6.2'de ise aynı

koşullarda elde edilen hız ve kapasite değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil ve çizelgeden her iki kirleticinin serbest ve tutuklanmış *C. tropicalis*'e tekli ve ikili karışımlarındaki biyobirikiminde, tutuklanmış maya hücresi ile elde edilen biyobirikim hızlarının daha yüksek hücre derişimiyle deney başlatıldığından, serbest maya hücresi ile elde edilenlerden daha yüksek olduğu, ancak daha yüksek biyobirikim kapasitesine serbest maya hücreleriyle ulaşıldığı dikkati çekmektedir. Gerek tutuklanmış gerekse serbest hücrelerle tekli ve ikili karışımlarda elde edilen Remazol Turkuaz Blue G ve bakır(II) biyobirikim hız, kapasite ve % giderim değerleri karşılaştırıldığında ise, *C. tropicalis* 'in bakır(II) biyobirikim kapasitesinin boyarmadde biyobirikim kapasitesinden çok daha düşük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.1. Serbest ve tutuklanmış *C. tropicalis* ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G, 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) olmak üzere toplam 200 mg/L kirletici içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim eğrileri (T=25°C, pH=4.0, S₀=10 g/L)

Çizelge 6.2. Serbest ve tutuklanmış *C. tropicalis* ile 10 g/L sabit sakkaroz derişiminde 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G, 100 mg/L bakır(II) ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G+100 mg/L bakır(II) olmak üzere toplam 200 mg/L kirletici içeren besin ortamlarında elde edilen biyobirikim hız ve kapasite değerlerinin karşılaştırılması

	C_{oRTBG} (mg/L)	C_{oCu} (mg/L)	$C_{tutRTBG}$ (mg/L)	C_{tutCu} (mg/L)	V_{RTBG} (mg/ g k. mo.sa)	V_{Cu} (mg/ g k. mo.sa)	q_{mRTBG} (mg/g k. mo.)	q_{mCu} (mg/g k. mo.)	%Giderim RTBG	%Giderim Cu
Serbest tekli RTBG	99,45	-	63,8	-	0,090	-	17,72	-	64,1	-
Serbest tekli Cu	-	99,4	-	32,1	-	0,081	-	9,61	-	32,3
Serbest ikili karış.	101,2	100,6	46,5	13,6	0,063	0,054	16,15	4,70	46,0	13,5
Tutuk. tekli RTBG	101,3	-	47,2	-	0,191	-	13,10	-	46,6	-
Tutuk. tekli Cu	-	102,2	-	19,7	-	0,167	-	5,90	-	19,3
Tutuk. ikili karış.	101,4	103,3	31,7	8,3	0,131	0,109	11,01	2,89	31,3	8,0

Deneysel çalışmaların son kısmında tutuklanmış *C. tropicalis* mayasıyla dolgulu kolon çalışmalarına geçilmiş, besleme akış hızının ve besleme boyarmadde ve metal iyonu derişimlerinin mikroorganizmanın biyobirikim hız ve kapasitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. En düşük akış hızı olan 1.1 mL/dak'da hem Remazol Turkuaz Blue G için ve hem de bakır(II) için en yüksek biyobirikim hız ve kapasite değerleri elde edilmiş ve dolgulu kolondaki diğer çalışmalar bu akış hızında gerçekleştirilmiştir. Kesikli sistem sonuçlarına benzer olarak; tekli besleme Remazol Turkuaz Blue G veya tekli besleme bakır(II) derişiminin 500 mg/L'ye artmasıyla tutuklanmış mayanın biriktirdiği Remazol Turkuaz Blue G/bakır(II) derişiminin arttığı, % giderim değerlerinin ise azaldığı; farklı oranlardaki ikili

karışımlarda ise karışımdaki bileşenlerden birinin diğerinin biyobirikim hız ve kapasitesini azalttığı, derişim arttıkça bu etkinin daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Mayaların özellikle de *C. tropicalis*'in, boya ve ağır metal iyonlarına oldukça dirençli olduğu ve hem serbest hem de tutuklanmış formda Remazol Turkuaz Blue G boyarmaddesi ve bakır(II) kirleticilerinin tekli ve ikili karışımlarını hem kesikli sistemde hem de dolgulu kolonda oldukça yüksek bir kapasiteyle biyobiriktirdiği bu tez çalışmasıyla gösterilmiştir. Tez çalışmasında ayrıca bir tarımsal atık olan melasın atıksuya katılarak değerlendirilebileceği de kanıtlanmıştır.

Her iki kirleticinin tekli ve ikili karışımları için eğer arıtılacak atıksu miktarı az ise serbest maya hücreleri ile kesikli sistem biyobirikimi önerilebilir. Tutuklanmış maya sisteminin kullanılması ile yoğun hücre derişimi sağlar ve maya hücreleri uzun süre biyolojik aktivitelerini kaybetmeden kullanılabilirler. Ayrıca sıcaklık, pH, substrat ve kirletici derişimi gibi ortam özelliklerinden daha az etkilendiklerinden daha geniş pH, sıcaklık ve derişim aralıklarında kullanılabilirler. Ancak bu avantajların yanı sıra özellikle deney sistemi için difüzyon kısıtlamalarının olması bir dezavantajdır. Eğer arıtılacak su miktarı az, kirletici(lerin) derişimleri çok yüksek ise hücre derişimi ayarlanarak tutuklanmış *C. tropicalis* ile kesikli sistemde verimli çalışılabilir. Dolgulu kolon reaktörde ise maya miktarı ve akış hızı ayarlanarak her bir kirletici için istenilen biyobirikim hızı ve kapasitesi değerlerinde sürekli çalışmak mümkündür. Arıtılmış atıksuyun maya hücrelerinden kolayca ayrılabilmesi dolgulu kolon reaktörün önemli bir üstünlüğüdür. Arıtılacak atıksu miktarı çok fazla, kirletici(lerin) derişimleri çok yüksek ise dolgulu kolon reaktör akış hızı ve maya hücresi miktarı ayarlanarak başarı ile kullanılabilir.

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 bir maya türü önermesi nedeniyle bilimsel literatüre; uygulama kolaylığı açısından bu kirleticileri içeren özellikle tekstil endüstrisi kuruluşlarına önemli katkılar sağlayacağı düşünölmektedir. Gerçek atıksularda çok daha farklı tür ve sayıda boyarmaddeler, ağır metal iyonları, tuzlar vb. bileşikler yer almaktadır.

Bu çalışmanın devamı olarak, yöntemin gerçek tekstil endüstrisi atıksularına uygulanabilirliği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aksu, Z., Dönmez G., 2005, Combined effects of molasses sucrose and reactive dye on the growth and dye bioaccumulation properties of *Candida tropicalis* Process Biochem., 40, 2443-2454.
- Aksu, Z., 2003, Reactive dye bioaccumulation by *Saccharomyces cerevisiae*, Process Biochem., 2003; 38, 1437-1444.
- Aksu, Z., 2000, Biosorption of reactive dyes by dried activated sludge: equilibrium and kinetic modelling, Biochem. Eng. J., 3460, 1-6.
- 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., Kutsal, T., Gün, S., Haciosmanoğlu, N., Gholaminejad, M., 1991, Investigation of biosorption of Cu(II), Ni(II) and Cr(VI) ions to activated sludge bacteria, Environ. Technol., 12, 915-921.
- Aksu, Z., Kutsal, T., 1990, A comparative study for biosorption characteristics of heavy metal ions with *Chlorella vulgaris*, Environ. Technol., 11, 979-987.
- Aksu, Z., 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.
- 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.
- 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.
- Bucke, C., 1987, Methods in Enzymology, Academic Pres Inc., London, 135, 175-189.
- Bülbül, G., 1995, Atıksulardaki Fenol Kirliliğinin Serbest ve Kalsiyum Aljinata Tutuklanmış *Pseudomonas putida* ile Giderilmesinin Kesikli ve Dolgulu Kolon Reaktörlerde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 68 s.

- Cheetham, P. S. J., Blnt, K.W., Bucke, C., 1979, Physical studies on cell immobilization using calcium alginate gels, *Biotech. And Bioeng.*, 21, 2155-2168.
- Clark, W.J., Viessman, W. and Hanmer, M.J., 1971, *Water Supply and Pollution Control*, International Textbook Company, 2nd ed., pp:285-566.
- Clarke, E.A. and Anlıker R., 1980, *Organic Dye and Pigments:Handbook of Environmental Chemistry, Antropogenic Compounds, Vol. 3, Part A*, Springer-Verlang, New York, p. 181-215.
- Çetin , E.T., 1983, *Endüstriyel Mikrobiyoloji, İ.Ü. İstanbul Tıp Fakültesi Vakfı-Bayda Yayını, No:2, İstanbul, 45-160.*
- Dönmez, G., 2002, Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium, *Enzyme Microb. Technol.*, 30, 363-366.
- 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.
- Gemeiner, P., 1992, *Enzym Engineering-Immobilized Biosystems*, Ellis Horwood and Alfa Publishers, New York, 49-58, 58-211.
- 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., 2000, *Endüstriyel Atıksulardaki Fenol ve Ağır Metal İyon Karışımlarının, Granüler Aktif Karbon ve Mikroorganizma Sistemlerine Adsorpsiyonunun Dolgulu Kolon Reaktörde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140s.*

- Gönen, F., Aksu, Z., 2005, Ağır Metal ve tekstil boyarmaddesi kirleticilerinin tekli ve ikili karışımlarının *C. tropicalis* mayasına biyobirikiminin kesikli sistemde incelenmesi”, 14. Biyoteknoloji Kongresi, Eskişehir,
- 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.
- Haktanır, K. ve Arcak, 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.
- Hu, Y. S., Wase, D. A. J. and Forster, C. F., 1996, Kinetic studies of competitive heavy metal adsorption by sphagnum moss peat, Environ. Technol., 17, 71-77.
- Juang R.-S., Tseng R.-L., Wu F.-C. and Lee S.-H., 1997, Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solutions on chitosan, J. Chem. Technol. Biotechnol., 70, 391-399.
- Kargı, F., 1993, Çevre Mühendisliğinde Biyoprosesler, D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 234, İzmir.
- Kierstan, M., Bucke, C., 1977, The immobilization of Microbial cells, subcellular organel and enzymes in calcium alginate gell, Biotechnol., and Bioeng., 19, 387-397.
- Kierstan, M., Darcy G., Reilly, 1982, Studies on the characteristics of alginate gels in relation to their use in separation and immobilization applications, Biotechnol. And Bioeng., 24, 1507-1517.
- Kirk-Othmer ,1970, Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley&Sons Inc., pp:22, 180.
- Klein, J.A., Lee, D.D., 1978, Biotechnol. And Bioeng., Symp., 8, 379.
- Lambert, S. D., Graham, N. J. D., Sollars, C. J., and Fowler, G. D., 1997, Evaluation of inorganic adsorbents for the removal of problematic textile dyes and pesticides, Water Sci. Tech., 36, 173-180.
- Lee, C. K., Low, K. S. and Gan, P. Y., 1999, Removal of some organic dyes by acid-treated spent bleaching earth, Process. Biochem., 34, 451-465.
- 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.

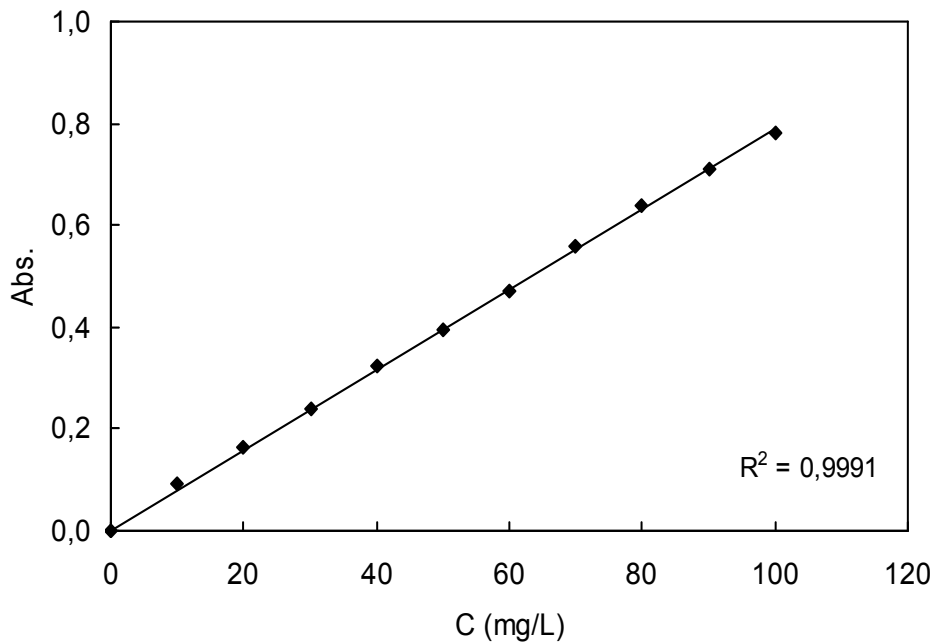
- Luedeking, R., Piret, E.L., 1959, A kinetic study on the lactic acid fermentation, J. Biochem. Microbiol. Technol. Eng., 1, 393-412.
- Macaskie, L.E., 1997, Bioaccumulation of heavy metals, and application to the remediation of acid mine drainage water containing uranium, Bacterial Interaction with 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.
- McKay, G., Poots, J. P., 1984, Kinetics and diffusion processes in colour removal from effluent using woods as an adsorbent, J. Chem. Technol. Biotechnol., 30, 279-82.
- 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.
- Metcallf, L., Eddy, H. P., 1991, Wastewater Engineering, 3 rd. Ed., Mc Graw Hill, N.Y., 48-126.
- Morais, L. C., Freitas, O. M., Gonçalves, E. P., Vasconcelos, L. T. and Gonzalez Beça, C. G., 1999, Reactive dyes removal from wastewaters by adsorption on eucalyptus Bark: Variables that define the process, Water Res., 33, 979-988.
- Nigam, O., Armour, G., Banat, I. M., Singh, D. And Marchant, R., 2000, Physical removal of dyes from effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues, Bioresource Technol., 72, 219-226.
- Norton S., D'Amore T., 1994, Physiological effects of yeast cell Immobilization: application for brewing, Enzyme Microb. Tecol., 16, 365-375.
- Özbelge, T., 1992, Atıksu Özellikleri ve Analizleri, Endüstriyel Atıksu Arıtımı, Bölüm 1, TMMOB Kimya Mühendisliği Odası Yayınları, Ankara, s: 1-28.
- 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 .
- Resmi Gazete, 4 Eylül 1988, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Sayı: 19919.
- Robinson, T., Chandran, B. And Nigam, P., 2002, Removal of dyes from a synthetic textile dye effluent by biosorption on apple pomace and wheat straw, Water Research, 36, 2824-2830.

- Rosevear, A., 1984, Immobilized biocatalysts, J. Chem. Tech. Biotech., 34B, 127-50.
- Sağ, Y., 1993, Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Giderilmesi ve Geri kazanılması İçin En Uygun Biyosorbent Türünün Seçilmesi ve Değişik Reaktör Sistemlerinin Matematiksel İncelenmesi, (Doktora Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 125s.
- Sandell, E.B., 1961, Colorimetric Determination of Traces of Metals, 3rd ed., Interscience Publishers, USA., pp: 388-409, 437-469, 522-553.
- 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.
- Snell, F. D. and Snell, C. T., 1959, Colorimetric Methods of Analysis, 3rd ed., Vol. 2, D. Van Nostrand Company, Canada.
- Tanaka, H., Matsumura, M., Veliky, I.A., 1984, Diffusion characteristics of substrates in ca-alginate gel beads, Biotechnol. And Bioeng., 26, 53-58.
- 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.
- Ullmann's 1987, Encyclopedia of Chemical Technology, Fifth Edition, VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim, Federal Republic of Germany, A7, 11.
- Yakartepe, M., 1997, Genel Tekstil Terbiyesi, Tekstil Konfeksiyon Araştırma Merkezi Yayınları, s:12, 520-600.
- 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. Bakır (II) İyon Derişiminin Tayini

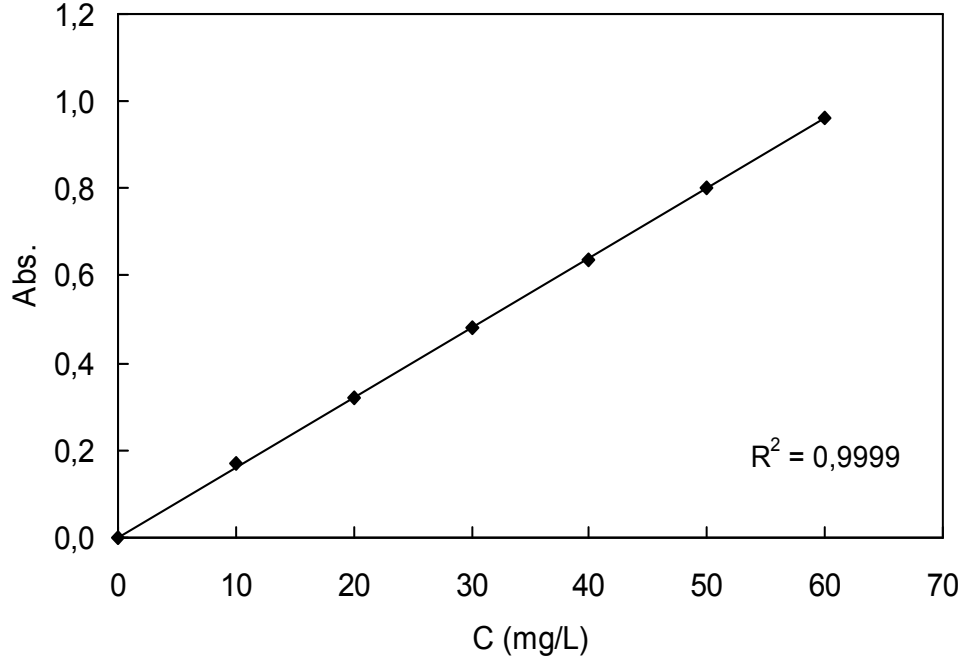
Ortamında tutulmadan kalan bakır(II) iyon derişimi bakır sülfat stok çözeltisinden hazırlanan bakır(II)'nin sodyum dietil ditiyokarbomatla yaptığı sarı-kahveregi renkli kompleks yardımı ile spektrofotometrik olarak tayin edilir. Bakır(II) iyonunun sodyum dietil ditiyokarbomatla kompleks oluşturabilmesi ve kompleksin çökmemesi için ortam pH'ının 9'un üzerinde olması gerekmektedir. Çözelti 10.0-100.0 mg/l bakır(II) içerecek şekilde seyreltilir. Hazırlanmış örnekten 1.0 ml alınır ve sırasıyla 20.0 ml 1.5 N NH₃, 0.2 ml %1'lik sodyum dietil ditiyokarbomat eklenir, hacim damıtık su ile 25.0 ml'ye tamamlanır. Spektrofotometrede 460 nm'de absorbansı okunur, çalışma doğrusundan mg/L cinsinden bakır(II) derişimine geçilir (Snell and Snell, 1959; Sandell, 1961; Aksu, 1988).



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

Ek 2. Remazol Turkuaz Blue-G Derişiminin Tayini

Deney süresince biyobiriktirilmeden ortamda kalan Remazol Turkuaz Blue-G boyarmadde derişimi spektrofotometrik olarak, 627 nm'de absorbans okunarak tayin edilmiştir.



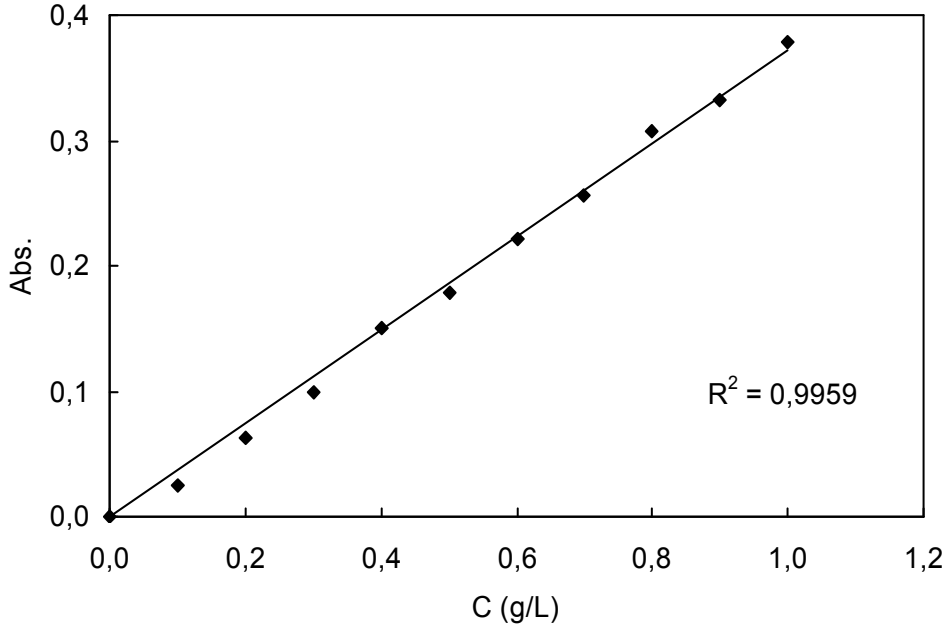
Şekil E.2. Remazol Turkuaz Blue-G derişiminin tayini için kullanılan çalışma doğrusu

Ek 3. Mikroorganizma Derişimi Tayini

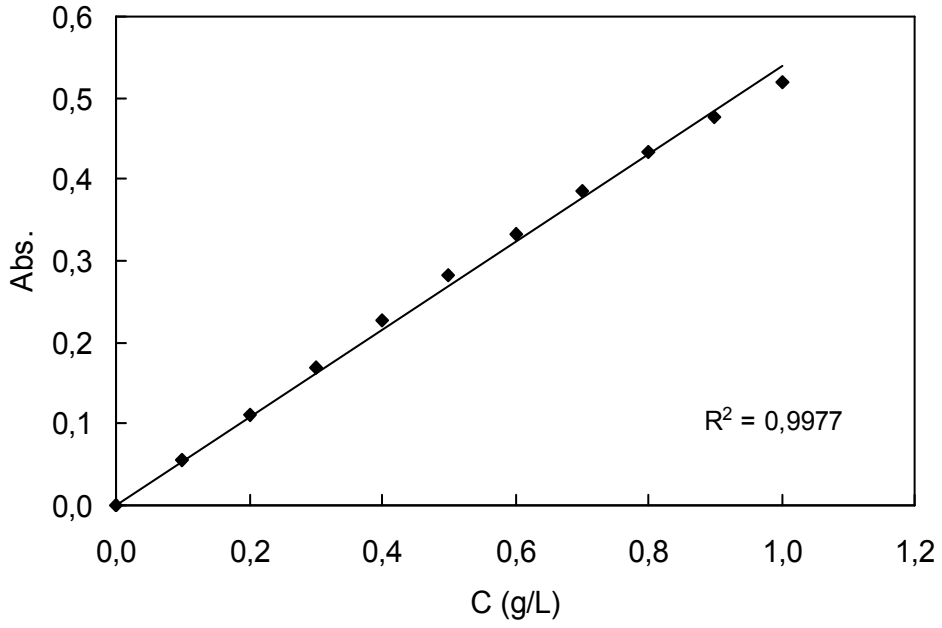
Mikroorganizma derişimi spektrofotometrik olarak tayin edilmiştir. Bunun için öncelikle 1 g/L'ye kadar farklı derişimlerde mikroorganizma içeren çözeltilerin, uygun dalga boyu olarak seçilen 360 nm'de absorbanslarının okunmasıyla *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için yaş mikroorganizma çalışma doğruları oluşturulmuştur (Şekil E.3.1- E.3.4)

Verilerin değerlendirilmesinde kuru mikroorganizma ağırlığı kullanıldığından, yaş ve kuru ağırlık arasındaki ilişkiyi belirlemek gerekmektedir. Bunun için mikroorganizma sıvı ortamda üretilip santrifüjlenerek ayrılmış, ayrılan mikroorganizmalar farklı ağırlıklarda tartılarak 50°C'deki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulmuş ve tekrar tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Kuru ağırlığa karşı yaş mikroorganizma ağırlığı grafiğe geçirilerek *C. tropicalis*, *C. utilis*, *C. membranaefaciens* ve *C. lipolytica* mayaları için yaş-kuru mikroorganizma çalışma doğruları elde edilmiştir (Şekil E.3.5-E.3.8)

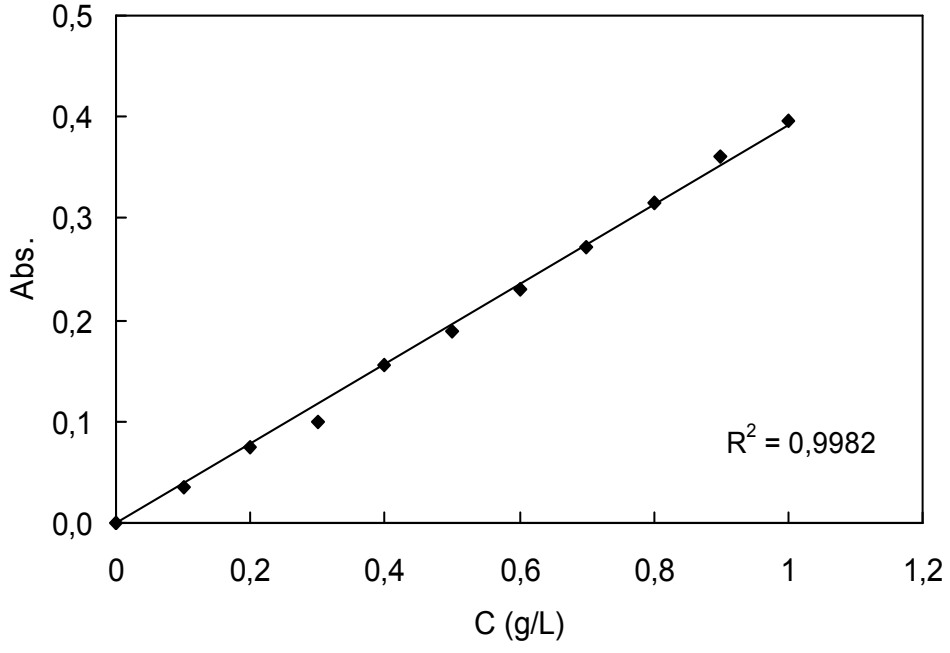
Analiz için besin ortamından alınan 5 mL örnek 5000 devirde 10 dk santrifüjlenmiş, tüpte kalan mikroorganizma kütlesi saf su ile tekrar 5 mL'ye seyreltilerek 360 nm'de suya (kör çözeltisi) karşı absorbans okunmuş ve çalışma doğruları kullanılarak kuru mikroorganizma ağırlığı saptanmıştır.



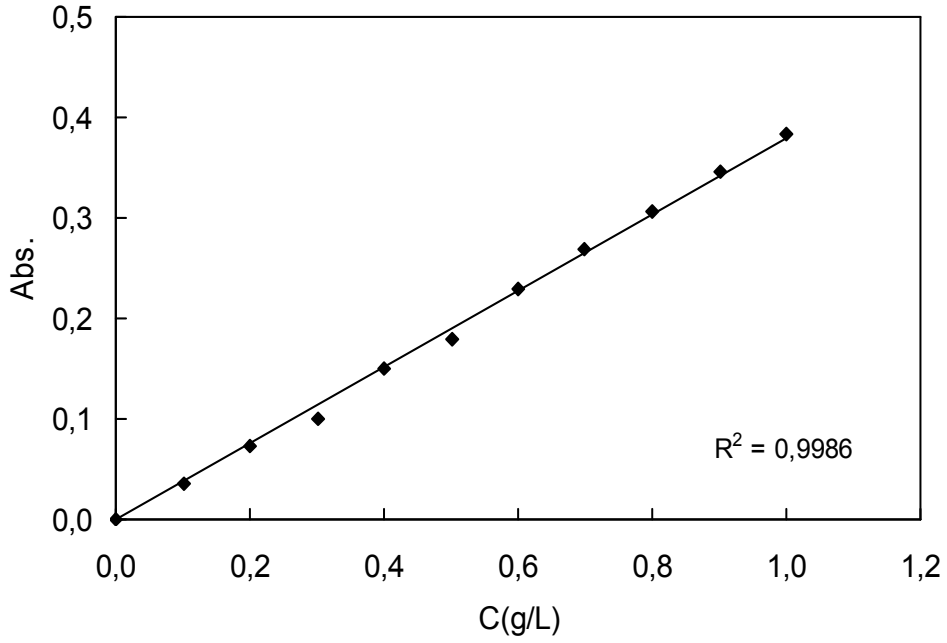
Şekil E.3.1. *C. tropicalis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



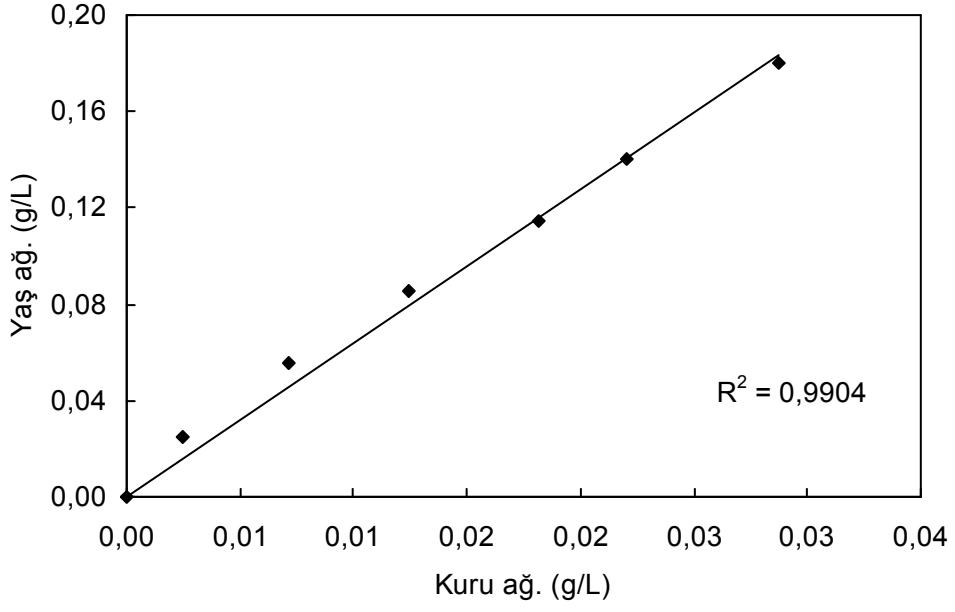
Şekil E.3.2. *C. utilis* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



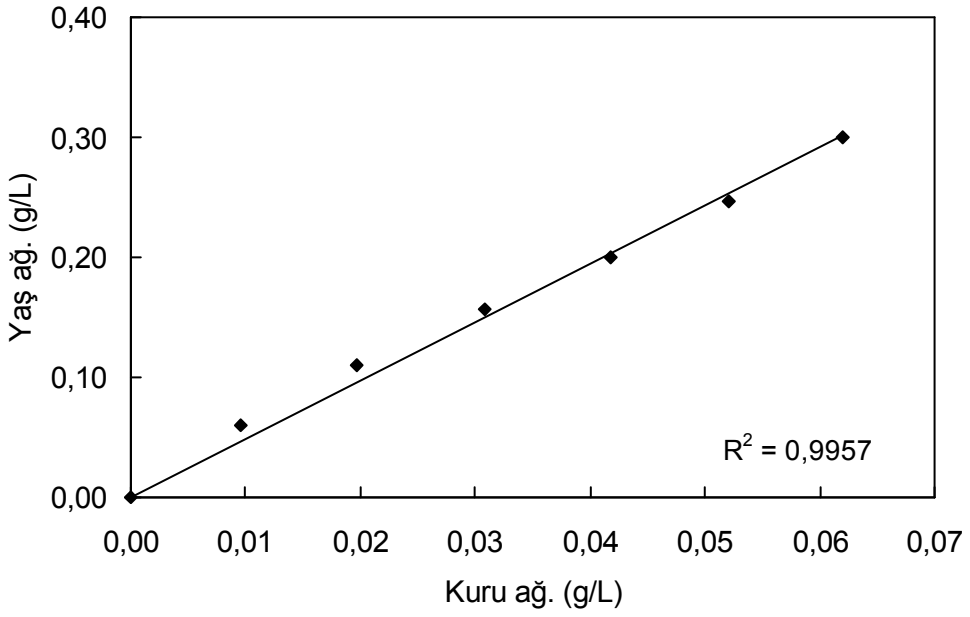
Şekil E.3.3. *C. membranaefaciens* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



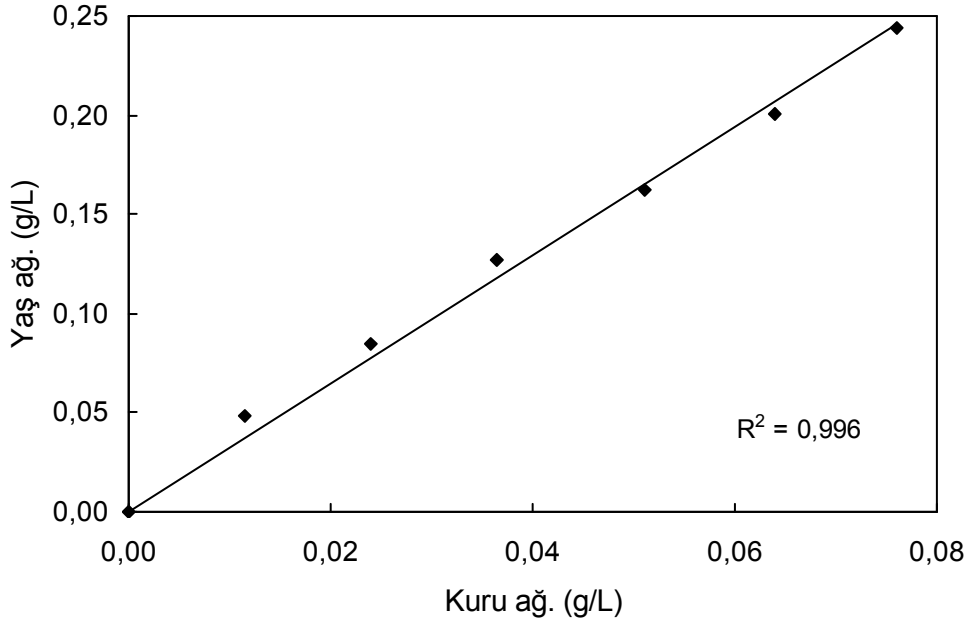
Şekil E.3.4. *C. lipolytica* için yaş mikroorganizma çalışma doğrusu



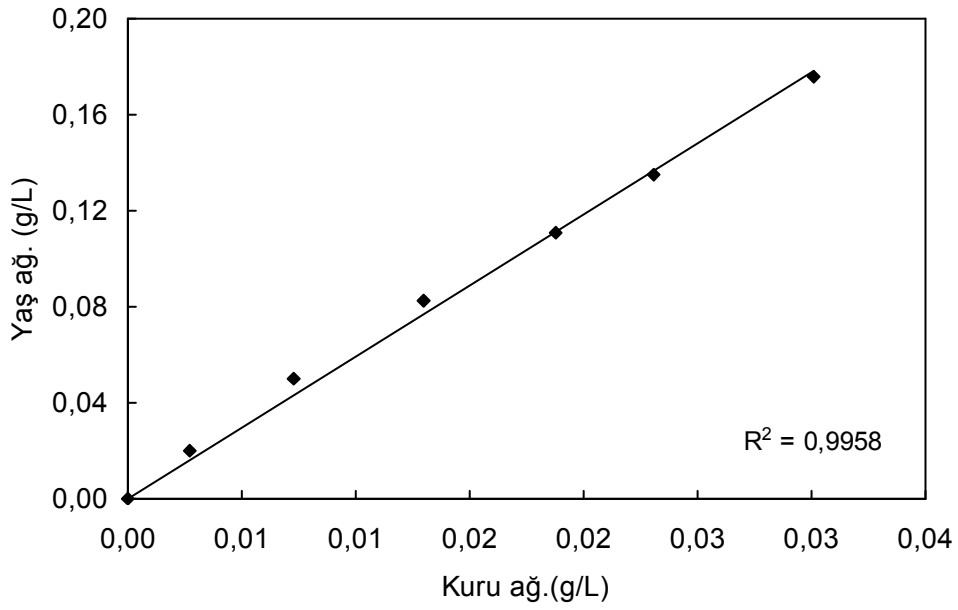
Şekil E.3.5. *C. tropicalis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu



Şekil E.3.6. *C. utilis* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu



Şekil E.3.7. *C. membranaefaciens* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu



Şekil E.3.8. *C. lipolytica* için yaş ağırlık-kuru ağırlık çalışma doğrusu

Ek 4. Melas Sakarozu Derişiminin Tayini

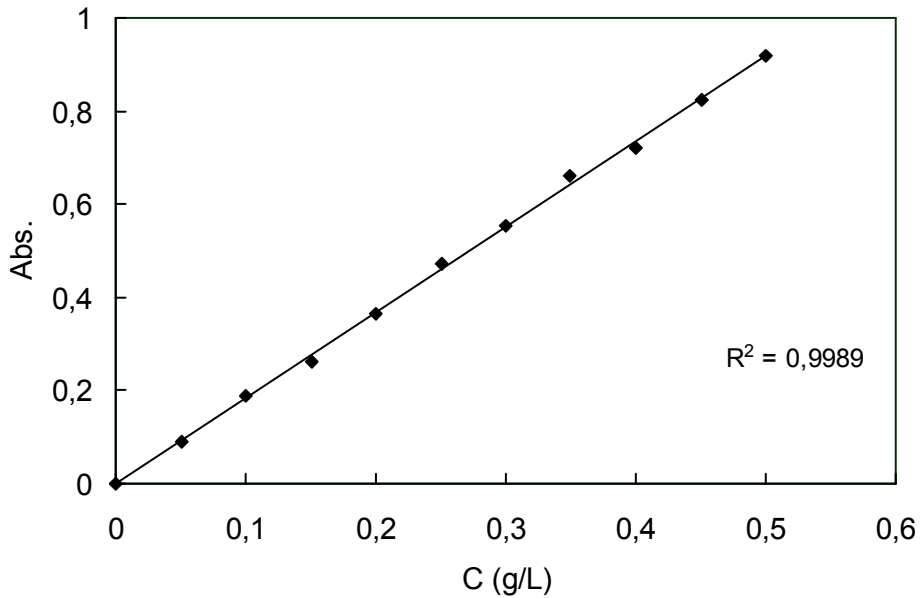
Besin ortamından alınan örnek santrifüjlenerek mikroorganizmadan ayrılır. Çözelti içindeki şeker derişimi 0-0.5 g/L olacak şekilde seyreltilir. Seyreltilen çözülden alınan 2 mL örnek bir deney tüpüne konur ve üzerine 2 mL DNS çözeltisi eklenerek kaynar suda 15 dk bekletilir. Su banyosundan alınan örneğin üzerine 1 mL Rochella tuzu çözeltisi konularak musluk suyunda soğutulur. Üzerine 5 mL damıtık su ilave edilerek 575 nm'de absorbansı ölçülür. Kör çözeltisi olarak 2 mL damıtık su konulan ve aynı işlemlerden geçirilen çözelti kullanılır.

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.

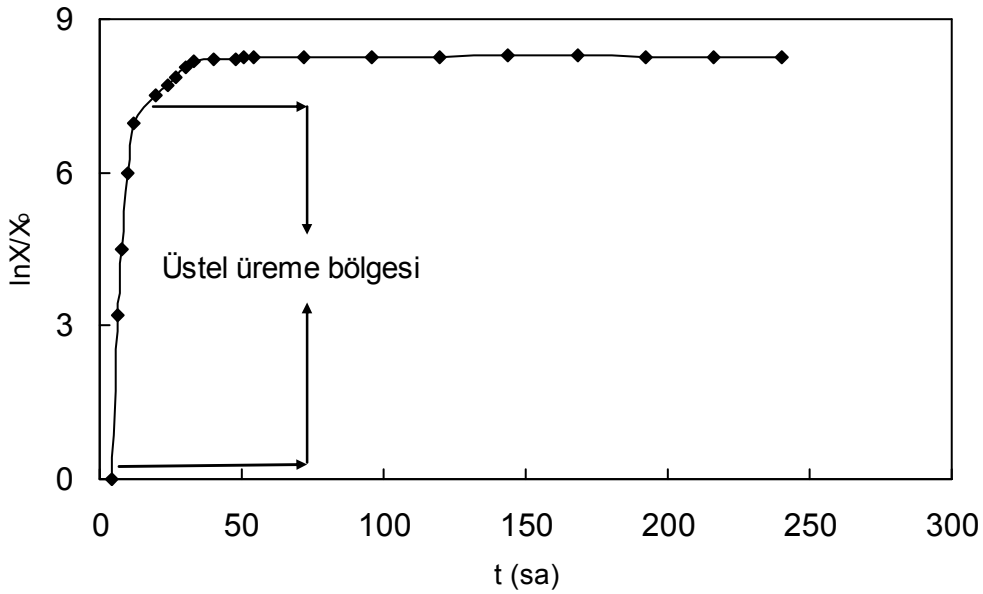


Şekil E.4. Melas sakarozu derişimi tayini için kullanılan çalışma doğrusu

EK 5. Örnek Hesaplamalar

Kesikli Sistemde Mikroorganizma özgül üreme hızının hesaplanması

Üstel üreme bölgesinde mikroorganizmanın özgül üreme hızı Eşitlik 3.2'den hesaplanmıştır. Bu amaçla $\ln X/X_0$ 'a karşı t grafiği çizilmiş ve üstel üreme bölgesindeki en uygun noktalardan geçen doğrunun eğimi hesaplanarak μ değeri bulunmuştur. Örnek olarak Şekil E.5.1.'de boyarmadde ve/veya ağır metal iyonu içermeyen besin ortamında *C. tropicalis* mayası için elde edilen $\ln X/X_0$ 'a karşı t grafiğinden $\mu=0.129 \text{ sa}^{-1}$ bulunmuştur.



Şekil E.5.1. Hiçbir kirletici içermeyen besin ortamında *C. tropicalis* mayası için elde edilen $\ln X/X_0$ 'a karşı t grafiği

Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim (tutma) hızı

i- Kesikli Sistem

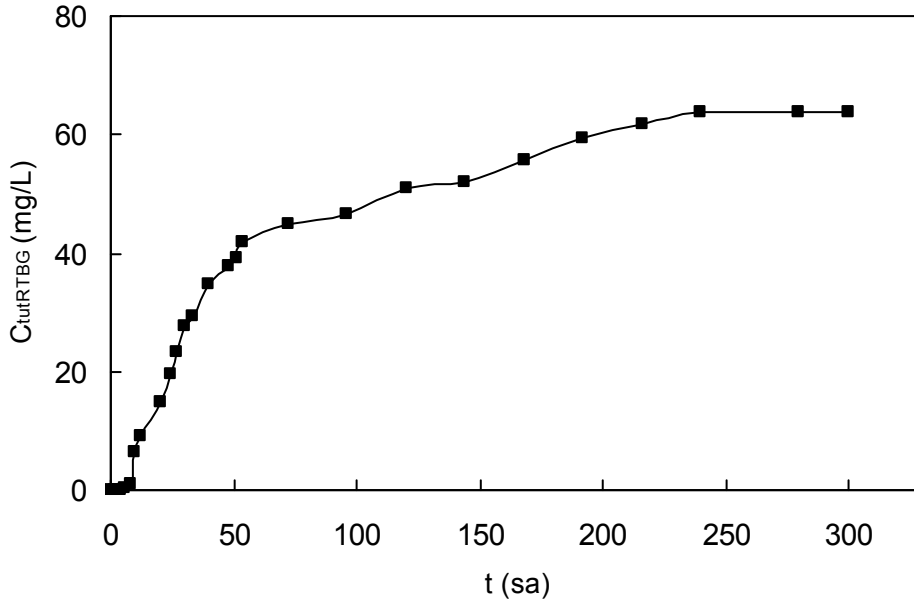
Kesikli sistemde kirletici biyobirikim hızı Eşitlik 3.11 ile verilmiştir. Başlangıç boyarmadde derişiminin zamanla değişim grafiğinden, üstel üreme bölgesinde en uygun noktalardan geçen doğrunun eğiminden dC/dt hesaplanmış ve bu değer üstel üreme bölgesindeki ortalama kuru mikroorganizma miktarına bölünerek kirletici tüketim hızı bulunmuştur. Örnek olarak Şekil E.5.2.'de verilen 10 g/L

sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis*, mayasına ait biyobirikim eğrisinden,

$$\frac{dC}{dt} = 0,279 \text{ mg RTBG/L sa}$$

olarak bulunmuştur. Üstel üreme bölgesindeki ortalama kuru mikroorganizma ağırlığı ise 3.1 g k.mo/L'dir. Buna göre Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı;

$$\nu = \left(\frac{1}{3,1} \right) (0,279) = 0,090 \text{ mg RTBG/g k. mo.sa olarak tayin edilmiştir.}$$



Şekil E 5.2. 10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis*, mayasına ait biyobirikim eğrisi

Kesikli sistemde tutuklanmış mikroorganizma ile boyarmadde veya metal biyobirikim hızı hesabı için yine serbest mikroorganizmalarla boyarmadde veya metal biyobirikim hızı hesabında kullanılan Eşitlik 3.11'den yararlanılmıştır. Ancak buradaki X, sisteme tutuklanmış matriksle eklenen ve kesikli sistemde elde edilen maksimum kuru mikroorganizma derişimine eşdeğer kuru mikroorganizma derişimidir, dC_{tut}/dt ise $t=0$ anında C_{tut} 'a karşı t eğrisinin eğimidir.

ii- Sürekli Sistem

Sürekli düzende çalışan tutuklanmış *C. tropicalis* mayası ile doldurulmuş kolonda boyarmadde veya metal biyobirikim hızı hesabı için Eş. 3.16 kullanılmıştır. Örnek olarak 100 mg/L besleme Remazol Turkuaz Blue G derişimi ile 1.1 mL/dak akış hızında çalışıldığında Remazol Turkuaz Blue G biyobirikim hızı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$C_{oRTBG} = 101,6 \text{ mg/L}$$

$$C_{RTBG} = 63,8 \text{ mg/L}$$

$$Q = 1,1 \text{ mL/dak}$$

$$X_k: 25,7 \text{ g}$$

$$C_{tutRTBG} = (101,6 - 63,8) = 37,8 \text{ mg/L}$$

$$v_k = (C_o - C) \frac{Q}{X_k} \left(\frac{60}{1000} \right) = (37,8) \frac{1,1}{25,7} \left(\frac{60}{1000} \right) = 0,097 \text{ mg RTBG/g k.mo.sa}$$

Mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi

i- Kesikli Sistem

Kesikli sistemde üremenin sonunda elde edilen birim kuru mikroorganizma kütesinin biriktirdiği kirletici miktarı Eşitlik 3.12'den hesaplanmıştır. Örnek olarak 10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde *C. tropicalis*, mayasına ait biyobirikim kapasitesi,

$$C_{tut} = 63,8 \text{ mg/L}$$

$X = 3,60 \text{ g/L}$ (10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde üremenin sonunda elde edilen birim kuru mikroorganizma kütesi)

$$q = \frac{C_{tut}}{X} = \frac{63,8}{3,60} = 17,72 \text{ mg RTBG/g k. mo.}$$

ii-Sürekli Sistem

Dolgulu kolonda mikroorganizmanın kirletici biyobirikim kapasitesi Eşitlik 3.18 ile verilmiştir. C_{tut} 'a karşı t eğrisinin altında kalan alandan biyobiriktirilen boyarmadde veya metal iyonu miktarı hesaplanmış ve bu değer kolondaki toplam kuru mikroorganizma miktarına bölünerek dolgulu kolonda biyobirikim kapasitesi bulunmuştur. Örnek olarak 10 g/L sakkaroz ve 100 mg/L Remazol Turkuaz Blue G derişiminde ve 1,1 mL/dak akış hızında *C. tropicalis*, mayasına ait C_{tut} 'a karşı t eğrisinin altında kalan Origin programı yardımıyla hesaplanmış,

$$\int_0^{480} C_{tut} dt = 14332,2 \text{ mg RTBG.dak/L}$$

$$q_k = \frac{\int_0^{480} Q C_{tut} dt}{X_k} \quad q_k = \frac{(1,1 \times 14332,2) / 1000}{25,7} = 0,61 \text{ mg RTBG/g k. mo. olarak}$$

bulunmuştur

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ferda Gönen

Doğum Yeri : Afyon

Doğum Yılı : 27.01.1974

Medeni Hali : Bekar

EGİTİM VE AKADEMİK DURUMU

Lise 1989-1991: Ankara Lisesi

Lisans 1992-1996: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.

Yüksek Lisans 1997-2000: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.

Doktora: 2000-2006: Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı.

YABANCI DİL

İngilizce (Kasım 2005 Yılı İngilizce KPDS Sınavı:80)

İŞ TECRÜBESİ

1998-2006: Proses ve Reaktör Tasarımı Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.

ARAŞTIRMA KONULARI

-Atıksulardaki metal-fenol karışımlarının aktif karbona adsorpsiyonunun ve serbest ve tutuklanmış aktif çamur bakterisine biyosorpsiyonunun kesikli karıştırmalı ve dolgulu kolon reaktörlerde incelenmesi, matematiksel modellenmesi ve dolgulu kolonda breakthrough eğrilerinin tahmin edilmesi.

-Atıksulardaki metal-metal-siyanür kompleks iyon karışımlarının çeşitli mikroorganizma türlerine biyosorpsiyonunun karşılaştırmalı olarak karıştırmalı biyoreaktörlerde incelenmesi

-Tekstil endüstrisi atıksularında yeralan reaktif boyaların farklı mikroorganizma türlerine biyosorpsiyonunun çeşitli reaktör türlerinde incelenmesi.

-Melas katılan ve ağır metal ve boyarmadde karışımlarını içeren atıksularda serbest ve tutuklanmış çeşitli maya hücrelerinin büyüme kinetiğinin ve hücrelerdeki metal iyonu biyobirikiminin kesikli sistemde ve dolgulu kolon reaktörde incelenmesi ve modellenmesi.

GÖREV ALDIĞI PROJELER

1. Prof. Dr. Zümriye Aksu (Proje Yürütücüsü), Ar. Gör. Ferda Gönen (Yardımcı Araştırmacı), Yrd. Doç. Dr. Ünsal Açikel (Yardımcı Araştırmacı), "Atıksulardaki Tekstil Boyarmaddeleri ve Metal İyonlarının Tekli ve İkili Karışımlarının *C. tropicalis* Mayasıyla Biyogideriminin İncelenmesi", Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu-0202602015No'lu Proje, Haziran 2006'da sona erdi.

2. Doç. Dr. Zümriye Aksu (Proje Yürütücüsü), Ar. Gör. Ferda Gönen (Yardımcı Araştırmacı), "Atık Sulardaki ikili Ağır Metal ve Fenol-Ağır Metal İyon Karışımlarının Adsorpsiyon/Biyosorpsiyonunun Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi", TÜBİTAK-YDABÇAG-198Y097 No'lu Proje, Ankara, 15 Şubat 2000'de sona erdi.

2. Doç. Dr. Zümriye Aksu (Proje Yürütücüsü), Ar. Gör. Ferda Gönen (Yardımcı Araştırmacı), Ar. Gör. Hanife Gülen (Yardımcı Araştırmacı), "Atık Sulardaki İkili Ağır Metal ve Ağır Metal Siyanür Kompleks İyon Karışımlarının Adsorpsiyon/Biyosorpsiyonunun Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi", Hacettepe Üniversitesi Araştırma Fonu-99.02.602.001 No'lu Proje, Ankara, 15 Aralık 2000'de sona erdi.

KAZANDIĞI BURSLAR

-Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Yurt İçi Doktora Bursu (2001-2004)

TEŞVİK VE ÖDÜLLER

-Science Citation Index'te yer alan ve "SCI Kapsamındaki Dergilerde Yayınlanan Makaleler" kısmında verilen yayınlar için TÜBİTAK-Bilimsel Yayın ödül Programı Çerçevesinde alınan yayın teşvik ödülleri.

BİLDİRİLİ OLARAK KATILDIĞI ULUSLAR ARASI KONGRELER

1. Gönen, F., Aksu, Z., "A Comparative Adsorption/Biosorption of Phenol to Granular Activated Carbon and Immobilized Activated Sludge in A Continuous Packed Bed Column", 2nd Chemical Engineering Conference for Collaborative Research in Eastern Mediterranean, 20-24 May, Ankara, Turkey, 2001.

2. Gönen, F., Aksu, Z., "A Comparative Investigation of the Adsorption of Chromium(VI) to Activated Carbon and Immobilized Activated Sludge in a Continuous Packed Bed Column", Biomed 2000- Seventh International Symposium on Biomedical Science and Technology, September 25-27, Ankara, Turkey, 2000.

BİLDİRİLİ OLARAK KATILDIĞI ULUSAL KONGRELER

1. Gönen, F., Aksu, Z., "Ağır Metal ve Tekstil Boyarmaddesi Kirleticilerinin Tekli ve İkili Karışımlarının *C. Tropicalis* Mayasına Biyobirikiminin Kesikli Sistemde İncelenmesi", 14. Biyoteknoloji Kongresi, 31 Ağustos-2 Eylül, Eskişehir, 2005.

2. Gönen, F., Aksu, Z., "Fenol-Krom(VI) İkili Karışımlarının Tutuklanmış Aktif Çamura Biyosorpsiyonunun Dolgulu Kolonda İncelenmesi" XIII. Biyoteknoloji Kongresi, 25-29 Ağustos, Çanakkale, 2003.

3. Gönen, F., Aksu, Z., "Fenol-Krom(VI) İkili Karışımlarının Granüler Aktif Karbona Adsorpsiyonunun Dolgulu Kolonda İncelenmesi", 5. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-5 Eylül, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2002.

YAYINLAR

- SCI kapsamındaki dergilerde yayınlanan ve yayına kabul edilen makaleler

1. Aksu, Z., Çağatay, Ş., Gönen, F., Continuous fixed bed biosorption of reactive dyes by dried *Rhizopus arrhizus*:determination of column capacity, Journal of Hazardous Materials, In Press.

2. Aksu, Z., Gönen, F., Binary biosorption of phenol and chromium(VI) onto immobilized activated sludge in a packed bed: Prediction of kinetic parameters and breakthrough curves, Separation and Purification Technology, 49(2006), 205-216.

3. Aksu, Z., Gönen, F., Biosorption of phenol by immobilized activated sludge in a continuous packed bed:prediction of breakthrough curves, Process Biochemistry 39(2004), 599-613.

4. Aksu, Z., Gönen, F., A comparative adsorption/biosorption of phenol to granular activated carbon and immobilized activated sludge in a continuous packed bed reactor, Chemical Engineering Communications, 190(2003), 763-778.

5. Aksu, Z., Gönen, F., Demircan Z., Biosorption of chromium(VI) ions by Mowital® B30 H resin immobilized activated sludge in a packed bed:comparison with granular activated carbon, Process Biochemistry 38(2002), 175-186.

- Uluslararası kongrelerde sunulan, SCI kapsamındaki dergi özel sayılarında/kongre kitabında özeti yayınlanmış bildiriler

1. Gönen, F., Aksu, Z., "A Comparative Adsorption/Biosorption of Phenol to Granular Activated Carbon and Immobilized Activated Sludge in A Continuous Packed Bed Column", Book of Abstracts of 2nd Chemical Engineering Conference for Collaborative Research in Eastern Mediterranean, BIO7.9, p. 72, 2001.

2. Gönen, F., Aksu, Z., "A Comparative Investigation of the Adsorption of Chromium(VI) to Activated Carbon and Immobilized Activated Sludge in a Continuous Packed Bed Column", Biomed 2000- Seventh International Symposium on Biomedical Science and Technology.

YÜKSEK MÜHENDİSLİK TEZİ

Endüstriyel Atıksulardaki Fenol ve Ağır Metal İyon Karışımlarının, Granüler Aktif Karbon ve Mikroorganizma Sistemlerine Adsorpsiyonunun Dolgulu Kolon Reaktörde İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Eylül 2000.

DOKTORA TEZİ

Atıksulardaki Tekstil Boyarmaddeleri ve Metal İyonlarının Tekli ve İkili Karışımlarının Serbest ve Tutuklanmış Mikroorganizma Sistemleri ile Biyogideriminin Kesikli ve Sürekli Sistemlerde İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara, Kasım 2006.