

T. C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KADMİYUM (II), KURŞUN (II) VE BAKIR (II)
İYONLARININ
R. arrhizus ' un
ÜREME KİNETİĞİNE ETKİSİ
ve
ADSORPSİYONU

Gülşad USLU

DOKTORA TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAĞIÇ
1999

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

T. C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KADMİYUM (II), KURŞUN (II) VE BAKIR (II)
İYONLARININ
R. arrhizus ' un
ÜREME KİNETİĞİNE ETKİSİ
ve
ADSORPSİYONU

Gülşad USLU

DOKTORA TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez/..... 1999 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından
Oybirliği/ oyçokluğu ile Başarılı/Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)

(İmza)

(İmza)

Doç. Dr. H. İbrahim EKİZ
Daruşman

ÖZET

Doktora Tezi

KADMIYUM (II), KURŞUN (II) VE BAKIR (II) İYONLARININ
R. arrhizus 'un ÜREME KİNETİĞİNE ETKİSİ
 ve
 ADSORPSİYONU

Gülşad USLU

Fırat Üniversitesi
 Fen Bilimleri Enstitüsü
 Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

1999, Sayfa : 235

Bu çalışmada; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını ayrı ayrı ve birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi kesikli karıştırmalı reaktörde başlangıç pH' sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve başlangıç sakkaroz derişimi gibi çeşitli üreme parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

Kesikli karıştırmalı reaktörde, kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının üreme ortamında tek tek bulunduğu koşullarda, optimum pH sırasıyla 3,5, 4,0 ve 4, 5 olarak saptandı. Bu metal iyonlarının tek tek bulundukları koşullarda *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine sıcaklık etkisinde optimum sıcaklıklar sırasıyla 30 °C, 25 °C ve 30 °C' dir. Metal iyonlarının birlikte bulundukları koşullarda ise, optimum sıcaklık 30 °C olarak bulunmuştur. Metal iyonlarının tek tek bulundukları üreme ortamında başlangıç metal iyon derişimleri 50 mg/L olarak; eşit derişimlerde birlikte bulundukları üreme ortamında ise başlangıç metal iyon derişimleri 10 mg/L olarak alınmıştır.

Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek ve birlikte bulundukları koşullarda optimum sakkaroz derişimi $S_0 = 30$ g/L olarak saptanmıştır. Ayrıca her bir metal iyonu için ayrı ayrı kimyasal oksijen ihtiyacı tayinleri yapılarak mikroorganizma ve başlangıç metal iyon derişimlerine göre kimyasal oksijen ihtiyacının değişimi araştırılmıştır. Başlangıç metal iyon derişimi arttıkça mikroorganizma derişiminin azaldığı,

kimyasal oksijen ihtiyacının ise arttığı gözlenmiştir. Metal iyon derişimlerinin artmasıyla mikroorganizma derişiminin azalması metal iyonlarının *R. arrhizus*' un üremesi üzerine inhibisyon etkisi yapmasından kaynaklanmaktadır.

Ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metaliyonları bulunan ortama alıştırılmadan (sıfır metal iyonlu ortam) hem de metal iyonları içeren ortama alıştırılarak (50 mg/L metal iyonu içeren ortam) üretilip inaktif hale getirilmiş *R. arrhizus*' a adsorpsiyonu kesikli düzende çalışan karıştırmalı bir tepkime kabında araştırılmıştır. Bu adsorpsiyon çalışmalarında; ilk adsorpsiyon hızı ve mikroorganizmanın metal alma etkinliğini etkileyen parametreler olarak; başlangıç pH' sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişimi seçilmiştir.

Kesikli karıştırmalı reaktörde, kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metalsiz ortamda hem de metalli ortamda üretilen *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonu için optimum pH değerleri sırasıyla 5,0, 4,5 ve 5,5 olarak saptandı. Bu metal iyonlarının her iki durumda da mikroorganizmaya adsorpsiyonunda optimum sıcaklık 30 °C' dir. Optimum mikroorganizma derişimi 0,25 g/L ve optimum başlangıç metal iyon derişimi 100 mg/L olarak bulunmuştur.

Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metalsiz hem de metalli ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus*' a adsorpsiyonunun Freundlich ve Langmuir izotermine uyduğu gözlemlendi. Çalışılan metal iyonları için, adsorpsiyon kapasiteleri ve dereceleri Freundlich ve Langmuir izotermi kullanılarak hesaplandı. Bu izotermilerinden bakır (II) iyonlarının metalsiz ve metalli ortamda üretilen *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda adsorpsiyon kapasite ve derecesinin kurşun (II) ve kadmiyum (II) iyonlarının adsorpsiyon kapasite ve derecesinden daha yüksek olduğu gözlemlendi. Metal iyonlarının metalsiz ve metalli ortamda üretilen *R. arrhizus*' a adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırıldığında, metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler : Üreme kinetiği, *R. arrhizus* , ağır metal, adsorpsiyon, özgül üreme hızı

SUMMARY

PhD Thesis

THE EFFECTS OF CADMIUM, LEAD AND COPPER IONS ON THE GOWTH KINETICS OF *R. arrhizus* AND THEIR ADSORPTION

Gülşad USLU

Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

1999, page : 235

In this study, the effect of several parameters such as initial pH, temperature, initial metal ion concentration and initial sucrose concentration on the growth of *R. arrhizus* were investigated in the growth media containing cadmium, lead and copper together or individually in stirred reactor working batch system..

In the growth media containing cadmium, lead and copper ions individually optimum pH value were found to be 3,5, 4,0, 4,5 respectively, in batch stirred reactor. In the conditions containing these metal ions individually the optimum temperatures were found to be 30 °C, 25 °C and 30 °C. In the conditions which these metal ions exist together, the optimum temperature was found to be 30 °C. In the growth media containing the metal ions individually the initial metal ion concentrations were taken 50 mg/L and in the growth media same where metal ion concentrations were in equal amounts initial metal ion concentrations were taken $X_0 = 10 \text{ mg/L}$

In the conditions containinig cadmium, lead and copper ions individually and together, sucrose concentration was found to be $S_0 = 30 \text{ g/L}$.

In addition, the chemical oxygen need's concentrations were investigated by determining chemical oxygen need for each metal ion seperately. It was observed that as the initial metal ion concentration increased, the microorganism concentration decreased and the chemical oxygen need increased. The decreaseament of microorganism concentration whilemetal ion

concentration increased caused by having these metal ions an inhibiton effect on *R. arrhizus* growth.

Adsorption to *R. arrhizus* were investigated in a batch stirred reactor container, in the media were cadmium, lead and copper ions exist by either not accostiming or accostiming. In this adsorption studies the parameters, such as initial pH, temperature, initial metal ion concentration and microorganism concentration were chosen as the parameters effectivy the first adsorption speed and the metal adsorption effectiveness of microorganism

In the batch stirred reactor, for the adsorption of cadmium, lead and copper ions to *R. arrhizus* grown in both metalic and non- metalic media, optimum pH values were found to be 5,0, 4,5, 5,5 respectively. The adsorption of these metal ions to the microorganism in both media, The optimum temperature is 30 oC.

It was observed that the adsorption of cadmium, lead and copper ions to *R. arrhizus* grown and dried in both non-metalic and metalic media fits to Freundlich and Langmuir isotherms. The adsorption capacities and levels for the metal ions studied were calculated by using Freundlich and Langmuir isotherms. From these isotherms in the adsorption of copper to *R. arrhizus* which was grown in both non-metalic and metalic media adsorption capacity and level are more than the adsorption capacity and level of cadmium and lead.

When the capacity of adsorption to *R. arrhizus* which was grown in both non-metalic and metalic media has more adsorption capacity than *R. arrhizus* which was grown in non-metalic media.

Key Words : Growth kinetics, *R. arrhizus*, heavy metal, adsorption, absulate growth speed

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın planlanıp yürütülmesinde büyük yardımlarını gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çok değerli hocam Doç. Dr. Sayın H. İbrahim EKİZ' e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam süresince yakın ilgilerini, bilgi ve önerilerini benden esirgemeyen Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Sayın Ayla ÖZER'e, Doç. Dr. Sayın Dursun ÖZER' e ve Doç. Dr. Sayın Murat ELİBOL' a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın sürekliliği için; her türlü ortamı sağlayan, bilgi ve becerilerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Sayın Mehmet CİCİ ' ye; Uzm. Yakup CUCİ' ye, Laborant Atilla ASLAN ' a, değerli arkadaşlarım, Yrd. Doç. Dr. Nilüfer (NACAR) KOÇER' e, Yrd. Doç. Dr. Ayhan ÜNLÜ' ye, Yrd. Doç. Dr. Sayın Dilek (TURGUT) BALIK'a Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine her türlü laboratuvar imkanı sağlayan Çevre Mühendisliği ve Kimya Mühendisliği Bölümü Başkanlığına ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.

Ayrıca katkılarından dolayı Mersin Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine de teşekkür ederim.

Gülşad USLU

İÇİNDEKİLER

sayfa

ÖZET	III
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar LİSTESİ	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ	XVII
FOTOĞRAFLAR LİSTESİ	XXXI
SEMBOLLER	XXXIII
 1. GİRİŞ	 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	3
2. 1. Atık Sular	3
2. 1. 1. Ağır metal kirliliği içeren atık sular ve arıtılması	7
2. 1. 1. 1. Kadmiyum kirliliği içeren atık sular	7
2. 1. 1. 2. Kurşun (II) kirliliği içeren atık sular	8
2. 1. 1. 3. Bakır (II) kirliliği içeren atık sular	8
2. 1. 2. Atık sulara karışan ağır metallerin kaynakları	9
2. 1. 3. Ağır metal kirliliği içeren atıksuların arıtılmasında mikroorganizmaların kullanılması	11
2. 2. Mikroorganizmalar	16
2.2.1. Mikroorganizmaların besin ihtiyaçları ve gelişme koşulları ..	17
2. 2. 2. Tutuklanmış mikroorganizmalar	18
2. 2. 3. Funguslar	19
2. 2. 3. 2. Funguslarda üreme	21
2. 2. 3. 3. Fungusların sınıflandırılması	21
2. 2. 3. 4. <i>Rhizopus</i>	22
2. 2. 4. Mikrobiyal kinetik	22
2. 3. Adsorpsiyon	26
2. 3. 1. Genel	26
2. 3. 1. 1. Fiziksel adsorpsiyon	26
2. 3. 1. 2. Kimyasal adsorpsiyon	27
2. 3. 1. 3. İyonik adsorpsiyon	27
2. 3. 2. Adsorpsiyon dengesi ve adsorpsiyon izotermi	27
2. 3. 2. 1. Langmuir modeli	28
2. 3. 2. 1. Freundlich modeli	29
2. 3. 2. 3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) modeli	30
2. 3. 3. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler	31

2. 3. 3. 1. pH	31
2. 3. 3. 2. Sıcaklık	32
2. 3. 3. 3. Adsorplayıcının özellikleri	32
2. 3. 3. 4. Adsorplanan madde ve çözücü özellikleri	32
2. 3. 3. 5. Polarite	32
2. 3. 4. Metal iyonlarının mikroorganizmalarla adsorpsiyonu (biyosorpsiyon)	33
3. MATERYAL VE METOD	38
3. 1. Genel	38
3. 2. <i>R. arrhizus</i> ' un Üretilmesi	38
3. 3. Adsorpsiyonda Kullanılan Mikroorganizma ve Metal Çözeltilerinin Hazırlanması	40
3. 3. 1. <i>R. arrhizus</i> çözeltisinin hazırlanması	40
3. 3. 2. Metal çözeltilerinin hazırlanması	40
3. 4. Kesikli Sistemde Çalışan Karıştırmalı Reaktörde Üreme Çalışmaları	40
3. 5. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde Metal İyonları İçeren ve Metal İyonları İçermeyen Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i> İle Adsorpsiyon Çalışmaları	41
3. 6. Analiz Yöntemleri	42
3. 6. 1. Metal iyon derişiminin tayini	42
3. 6. 2. Mikroorganizma derişiminin tayini	42
3. 6. 3. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini	42
3. 7. Kullanılan Aletler ve Kimyasal Maddeler	43
3. 7. 1. Kullanılan aletler	43
3. 7. 2. Kullanılan kimyasal maddeler	43
4. DENEYSEL BULGULAR	44
4. 1. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Etkisi	44
4. 1. 1. Kadmiyum (II) iyonunun etkisi	44
4. 1. 1. 1. Başlangıç pH' ının etkisi	44
4. 1. 1. 2. Sıcaklığın etkisi	46
4.1.1.3.Kadmiyum(II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi	48
4. 1. 1. 4. Sakkarozun başlangıç derişiminin etkisi	55
4. 1. 2. Kurşun (II) iyonunun etkisi	59

4. 1. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	59
4. 1. 2. 2. Sıcaklığın etkisi	60
4.1.2.3. Kurşun (II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi	63
4. 1. 2. 4. Sakkarozun başlangıç derişiminin değışimi	69
4. 1. 3. Bakır (II) iyonunun etkisi	73
4. 1. 3. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	73
4. 1. 3. 2. Sıcaklığın etkisi	74
4. 1. 3. 3. Bakır (II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi	76
4. 1. 3. 4. Sakkarozun başlangıç derişiminin değışimi	82
4. 2. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde <i>R. arrhizus</i> 'un Üremesi	
Üzerine Metal İyonlarının Birlikte Etkisi	86
4. 2. 1. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının birlikte etkisi	86
4. 2. 1. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	86
4. 2. 1. 2. Sıcaklığın etkisi	86
4. 2. 1. 3. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının başlangıç	
derişimlerinin birlikte etkisi	89
4. 2. 2. Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi	97
4. 2. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	97
4. 2. 2. 2. Sıcaklığın etkisi	97
4. 2. 2. 3. Başlangıç kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon	
derişimlerinin birlikte etkisi	99
4. 2. 3. Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi	107
4. 2. 3. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	107
4. 2. 3. 2. Sıcaklığın etkisi	107
4. 2. 3. 3. Başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinin	
birlikte etkisi	110
4. 2. 4. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının	
birlikte etkisi	118
4. 2. 4. 1. Başlangıç pH'ının etkisi	118
4. 2. 4. 2. Sıcaklığın etkisi	118
4. 2. 4. 3. Başlangıç kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon	
derişimlerinin birlikte etkisi	120
4. 3. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde <i>R. arrhizus</i> 'a Metal	
Adsorpsiyonu	128
4. 3. 1. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu	128
4. 3. 1. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç	
pH'larında adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi ...	128

4. 3. 1. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	131
4. 3. 1. 3. Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin etkisi	134
4. 3. 1. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	135
4. 3. 2. Kurşun (II) adsorpsiyonu	135
4. 3. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	135
4. 3. 2. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	138
4. 2. 2. 3. Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin etkisi	141
4. 2. 2. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	142
4. 3. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu	142
4. 3. 3. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	142
4. 3. 3. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	145
4. 3. 3. 3. Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin etkisi	147
4. 3. 3. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	149
4. 4. Kesikli Düzendeki Çalışan Karıştırılabilir Kapta Metalli Ortamda Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Metal Adsorpsiyonu	150
4. 4. 1. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu	150
4. 4. 1. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	150
4. 4. 1. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	150
4. 4. 1. 3. Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin etkisi	155
4. 4. 1. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	157
4. 4. 2. Kurşun (II) adsorpsiyon	158
4. 4. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	158
4. 4. 2. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	160
4. 4. 2. 3. Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin etkisi	163
4. 4. 2. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	164
4. 4. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu	165
4. 4. 3. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi	165

4. 4. 3. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi	167
4. 4 3. 3. Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin etkisi	170
4. 2. 3. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi	172
5. DENEYSEL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI	173
5. 1. <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Tek Tek Etkisi	173
5. 1. 1. Başlangıç pH' sınun etkisi	173
5. 1. 2. Sıcaklığın etkisi	173
5. 1. 3. Başlangıç metal iyon derişimlerinin etkisi	175
5. 1. 4. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi	180
5. 2. <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Birlikte Etkisi	183
5. 2. 1. Başlangıç pH' sınun etkisi	183
5. 1. 2. Sıcaklığın Etkisi	184
5. 2. 3. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin Etkisi	186
5. 3. Kesikli Düzende Karıştırılmalı Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilip İnaktif Hale Getirilen <i>R. arrhizus</i> ' a Metal Adsorpsiyonu	188
5. 3. 1. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu	188
5. 3. 2. Kurşun (II) adsorpsiyonu	193
5. 3. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu	198
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	204
7. ELEŞTİRİ VE ÖNERİLER	215
KAYNAKLAR	218
EKLER	225

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Türkiye İçin Kabul Edilen İçme Suyu Standartları	6
Tablo 2. 2. Türk Standartlarına Göre İçme Suyu Ağır Metal Limitleri	7
Tablo 2. 3. Proses Atık Sularındaki Bakır (II) Derişimleri	10
Tablo 2. 4. Metal Endüstrisi Atık Sularında Bulunan Ağır Metaller ve Miktarları	11
Tablo 2. 5. Biyosorpsiyonda Kullanılan Bazı Mikroorganizmalar ve Adsorpladıkları Metaller	36
Tablo 3. 1. <i>R. arrhizus</i> ' un Üretilmesinde Kullanılan Sıvı Besiyerinin Bileşimi	39
Tablo 4. 1. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	131
Tablo 4. 2. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	131
Tablo 4. 3. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	133
Tablo 4. 4. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	133
Tablo 4. 5. Çeşitli Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	134
Tablo 4. 6. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	137

Tablo 4. 7. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	138
Tablo 4. 8. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	140
Tablo 4. 9. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	140
Tablo 4. 10. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	141
Tablo 4. 11. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	144
Tablo 4. 12. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	145
Tablo 4. 13. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	147
Tablo 4. 14. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	147
Tablo 4. 15. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	148
Tablo 4. 16. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	152

Tablo 4. 17. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	152
Tablo 4. 18. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	155
Tablo 4. 19. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	155
Tablo 4. 20. Çeşitli Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	156
Tablo 4. 21. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	159
Tablo 4. 22. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	160
Tablo 4. 23. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	162
Tablo 4. 24. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	162
Tablo 4. 25. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	163
Tablo 4. 26. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	166
Tablo 4. 27. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	167

Tablo 4. 28. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	169
Tablo 4. 29. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	170
Tablo 4. 30. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal iyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği	171
Tablo 5. 1. <i>R. arrhizus</i> ' un Maksimum Özgöl Üreme Hızları ve Substrat Doygunluk Derişim Değerleri	182
Tablo 5. 2. Çeşitli Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması	190
Tablo 5. 3. Kadmiyum (II) İyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	193
Tablo 5. 4. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması	195
Tablo 5. 5. Kurşun (II) İyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	198
Tablo 5. 6. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması	200
Tablo 5. 7. Bakır (II) İyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri	203

Tablo 6. 1. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Tek Tek Bulundukları Üreme Ortamında <i>R. arrhizus</i> ' un Üretilmesinde Optimum Koşullarda Elde Edilen Özgül Üreme Hızı ve Substrat Doygunluk Derişimi Değerlerinin Karşılaştırılması	205
Tablo 6. 2. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Elde Edilen Adsorpsiyon Hızı Denge ve Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması	207
Tablo 6. 3. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun(II) ve Bakır (II) İyonlarının 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Elde Edilen Adsorpsiyon Hızı Denge ve Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması	208
Tablo 6. 4. Herbir Metal İyonunun Optimum pH ve 30°C Sıcaklıkta Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda, Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen K_f , n ve Q^0 Değerleri	211
Tablo 6. 5. Herbir Metal İyonunun Optimum pH ve 30 °C Sıcaklıkta Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Metalli Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda, Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen K_f , n ve Q^0 Değerleri	212

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Fungus Hücresinin Yapısı ve <i>Rhizopus sp</i> 'nin Morfolojik Görünüşü	20
Şekil 2. 2. Mikroorganizmaların Üreme Eğrisi	23
Şekil 4. 1. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişiminde Bulunan Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin pH İle Değişimi Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	45
Şekil 4. 2. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	47
Şekil 4. 3. Farklı Sıcaklıklarda <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	47
Şekil 4. 4. Sıcaklık Değişiminin Özgül Üreme Hızına Etkisi ..	48
Şekil 4. 5. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> Derişimi Üzerine Etkisi	49
Şekil 4. 6. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	50
Şekil 4. 7. Kadmiyum (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgül Üreme Hızına Etkisi	50
Şekil 4. 8. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Kadmiyum (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi	52
Şekil 4. 9 Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi	53
Şekil 4. 10. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	53
Şekil 4. 11. Mikroorganizma Derişimi ve Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan Metal İyonu Derişiminin Zamanla Değişimi	54
Şekil 4. 12. Mikroorganizma Tarafından Adsorblanan ve Desorblanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi	55

Şekil 4. 13. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi	56
Şekil 4. 14 Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	57
Şekil 4. 15. <i>R. arrhizus</i> ' un Özgül Üreme Hızının Sakkaroz Başlangıç Derişimi İle Değişimi	57
Şekil 4. 16. <i>R. arrhizus</i> ' un İkilenme Süresinin Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi	58
Şekil 4. 17. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	59
Şekil 4. 18. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin pH İle Değişimi	60
Şekil 4. 19. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	61
Şekil 4. 20. Farklı Sıcaklıklarda <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	62
Şekil 4. 21. Sıcaklık Değişiminin Özgül Üreme Hızına Etkisi	62
Şekil 4. 22. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> Derişimi Üzerine Etkisi	63
Şekil 4. 23. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	64
Şekil 4. 24. Kurşun (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgül Üreme Hızına Etkisi	65
Şekil 4. 25. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Kurşun (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi	66
Şekil 4. 26. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi	66
Şekil 4. 27. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	67
Şekil 4. 28. Mikroorganizma Derişimi ve Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi	68

Şekil 4. 29. Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan ve Desorplanan Metal İyon Derişiminin Zamanla Değişimi ..	69.
Şekil 4. 30. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunan Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi	70
Şekil 4. 31. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	71
Şekil 4. 32. <i>R. arrhizus</i> ' un Özgöl Üreme Hızının Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi	71
Şekil 4. 33. <i>R. arrhizus</i> ' un İkilenme Süresinin Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi	72
Şekil 4. 34. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	72
Şekil 4. 35. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunan Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin pH İle Değişimi	73
Şekil 4. 36.- Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	74
Şekil 4. 37. Farklı Sıcaklıklarda <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	75
Şekil 4. 38. Sıcaklık Değişiminin Özgöl Üreme Hızına Etkisi ..	75
Şekil 4. 39. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> Derişimi Üzerine Etkisi	77
Şekil 4. 40. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	77
Şekil 4. 41. Bakır (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgöl Üreme Hızına Etkisi	78
Şekil 4. 42. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Bakır (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi	79
Şekil 4. 43. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi	80

Şekil 4. 44. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	80
Şekil 4. 45. Mikroorganizma Derişimi ve <i>R. arrhizus</i> Tarafından Adsorplanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi	81
Şekil 4. 46. Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan ve Desorplanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi	82
Şekil 4. 47. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunduğu Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi	83
Şekil 4. 48. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	84
Şekil 4. 49. <i>R. arrhizus</i> 'un Özgül Üreme Hızının Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi	84
Şekil 4. 50. <i>R. arrhizus</i> 'un İnkübe Süresinin Sakkaroz un Başlangıç Derişimi İle Değişimi	85
Şekil 4. 51. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki	85
Şekil 4. 52. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	87
Şekil 4. 53. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	88
Şekil 4. 54. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Sıcaklık Değişiminin <i>R. arrhizus</i> 'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi	88
Şekil 4. 55. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> Derişimi Üzerine Etkisi	89
Şekil 4. 56. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	91
Şekil 4. 57. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> 'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi	91

- Şekil 4. 58. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Eşit Başlangıç Metal İyon Derişimleriyle Değişimi 92
- Şekil 4. 59. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 93
- Şekil 4. 60. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 93
- Şekil 4. 61. Başlangıç Eşit Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerini İçeren Karışımlar İle Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki 95
- Şekil 4.62. Sabit Kurşun(II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi 95
- Şekil 4. 63. Sabit Kadmiyum (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi 96
- Şekil 4. 64. Sabit Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) ve Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi .. 96
- Şekil 4. 65. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi 98
- Şekil 4. 66. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi 98
- Şekil 4. 67. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus* ' un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi 99
- Şekil 4. 68. Başlangıç Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi 100

- Şekil 4. 69. Eşit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi 101
- Şekil 4. 70. Eşit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi 101
- Şekil 4. 71. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Metal Derişimleriyle Değişimi . 102
- Şekil 4. 72. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 104
- Şekil 4. 73. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 104
- Şekil 4. 74. Başlangıç Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerini İçeren Karışımlar İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki 105
- Şekil 4. 75. Sabit Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi 106
- Şekil 4. 76. Sabit Kadmiyum (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi 106
- Şekil 4. 77. Sabit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) ve Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi 107
- Şekil 4. 78. Farklı Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi 108
- Şekil 4. 79. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi 109
- Şekil 4. 80. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus* ' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi 109

Şekil 4. 81. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> Derişimi Üzerine Etkisi	111
Şekil 4. 82. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	111
Şekil 4. 83. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi ..	112
Şekil 4. 84. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Metal Derişimleriyle Değişimi	113
Şekil 4. 85. Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında <i>R. arrhizus</i> 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki.....	114
Şekil 4. 86. Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında <i>R. arrhizus</i> 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki.....	114
Şekil 4. 87. Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki	116
Şekil 4. 88. Sabit Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi ...	116
Şekil 4. 89. Sabit Kurşun(II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır(II) İyon Derişiminin <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	117
Şekil 4. 90. Sabit Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	117
Şekil 4. 91. Farklı Başlangıç Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi	119

- Şekil 4. 92.** Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi 119
- Şekil 4. 93.** Kadmiyum(II) Kurşun(II) ve Bakır(II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi 120
- Şekil 4. 94.** Kadmiyum(II) Kurşun(II) ve Bakır(II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Koşullarda *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi 121
- Şekil 4. 95.** Eşit Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi 123
- Şekil 4. 96.** Toplam Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* 'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi 123
- Şekil 4. 97.** Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Metal Derişimleriyle Değişimi 124
- Şekil 4. 98.** Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 124
- Şekil 4. 99.** Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 125
- Şekil 4. 100.** Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus* 'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki 125

Şekil 4. 101. Başlangıç Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki	127
Şekil 4. 102. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	129
Şekil 4. 103. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	130
Şekil 4. 104. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	130
Şekil 4. 105. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	132
Şekil 4. 106. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	132
Şekil 4. 107. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	133
Şekil 4. 108. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	134
Şekil 4. 109. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	135
Şekil 4. 110. Kurşun(II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	136
Şekil 4. 111. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	137
Şekil 4. 112. Kurşun İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	138

Şekil 4. 113. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	139
Şekil 4. 114. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	139
Şekil 4. 115. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	140
Şekil 4. 116. Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	141
Şekil 4. 117. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Kurşun (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	142
Şekil 4. 118. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sınır İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	143
Şekil 4. 119. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	143
Şekil 4. 120. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	144
Şekil 4. 121. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	145
Şekil 4. 122. Bakır İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	146
Şekil 4. 123. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	146
Şekil 4. 124. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	148
Şekil 4. 125. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Bakır (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	149
Şekil 4. 126. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sınır İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	151

Şekil 4. 127. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	151
Şekil 4. 128. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	152
Şekil 4. 129. Kadmiyum (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	153
Şekil 4. 130. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	154
Şekil 4.131. Kadmiyum İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; pH = 5; KH = 120 rpm)	154
Şekil 4. 132. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	156
Şekil 4. 133. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	157
Şekil 4. 134. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sınır İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	158
Şekil 4. 135. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	159
Şekil 4. 136 Kurşun İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	160
Şekil 4. 137. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	161
Şekil 4. 138. Kurşun (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	161

Şekil 4. 139. Kurşun(II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	162
Şekil 4. 140. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	163
Şekil 4.141. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Kurşun(II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	164
Şekil 4. 142. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	165
Şekil 4. 143. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	166
Şekil 4. 144. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	167
Şekil 4. 145. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	168
Şekil 4.146. Bakır İyonlarının <i>R. arrhizus</i> a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	169
Şekil 4. 147. Bakır (II) İyonlarının <i>R. arrhizus</i> ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi	170
Şekil 4. 148. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi	171
Şekil 4. 149. <i>R. arrhizus</i> Derişimi Değişiminin Farklı Bakır (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	172
Şekil 5. 1. Başlangıç pH' sının <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	
Şekil 5. 2. Sıcaklığın <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	174
Şekil 5. 3. Optimum Sıcaklıklarda <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	174
Şekil 5. 4. Sıcaklığın <i>R. arrhizus</i> ' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi	176
Şekil 5. 5. Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	177

Şekil 5. 6. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	177
Şekil 5. 7. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi	178
Şekil 5. 8. Kimyasal Oksijen İhtiyacının Mikroorganizma Derişimiyle Değişimi	179
Şekil 5. 9. Mikroorganizma Derişimine Bağlı Olarak Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan Metal İyonları Miktarı	179
Şekil 5. 10. Mikroorganizma Tarafından Desorplanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi	180
Şekil 5. 11. Metalli ve Metalsiz Ortamda Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi	181
Şekil 5. 12. <i>R. arrhizus</i> ' un Özgöl Üreme Hızının Başlangıç Sakkaroz Derişimi İle Değişimi	182
Şekil 5. 13. <i>R. arrhizus</i> ' un İkilenme Süresinin Başlangıç Sakkaroz Derişimi İle Değişimi	183
Şekil 5. 14. Sıcaklığın <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi ..	184
Şekil 5. 15. Metal İyon Derişimlerinin Tek Tek ve Eşit Derişimlerde Birlikte Bulundukları Üreme Ortamında Optimum Sıcaklıkta Üreyen <i>R. arrhizus</i> Derişiminin Zamanla Değişimi	185
Şekil 5. 16. Sıcaklığın <i>R. arrhizus</i> ' un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi	185
Şekil 5.17. Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Üremesi Üzerine Etkisi	186
Şekil 5. 18. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin <i>R. arrhizus</i> ' un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi	187
Şekil 5. 19. Kimyasal Oksijen İhtiyacının, Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Mikroorganizma Derişimi İle Değişimi	187
Şekil 5. 20. Başlangıç pH' ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ...	189
Şekil 5. 21. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	189
Şekil 5. 22. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	190
Şekil 5. 23. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	191

Şekil 5. 24. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	192
Şekil 5. 25. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	192
Şekil 5. 26. Başlangıç pH'ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	194
Şekil 5. 27. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	194
Şekil 5. 28. Başlangıç Kurşun(II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	195
Şekil 5. 29. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	196
Şekil 5. 30. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	197
Şekil 5. 31. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	197
Şekil 5. 32. Başlangıç pH'ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	199
Şekil 5. 33. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	199
Şekil 5. 34. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	200
Şekil 5. 35. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi	201
Şekil 5. 36. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	202
Şekil 5. 37. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini	202
Şekil 6.1. Kadmiyum (II) İyonlarının Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Adsorplanan Kadmiyum (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi	208
Şekil 6. 2. Kurşun (II) İyonlarının Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Adsorplanan Kurşun (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi	209
Şekil 6. 3. Bakır (II) İyonlarının Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen <i>R. arrhizus</i> 'a Adsorpsiyonunda Adsorplanan Bakır (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi	209

Şekil 6. 4. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Optimum Ortam Koşullarında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Elde Edilen Freundlich Adsorpsiyon İzotermi	210
Şekil 6. 5. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Optimum Ortam Koşullarında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Metalli Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda Elde Edilen Freundlich Adsorpsiyon İzotermi	211
Şekil 6. 6. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri İle Değişimi	213
Şekil 6. 7. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri İle Değişimi	213
Şekil 6. 8. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş <i>R. arrhizus</i>' a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri İle Değişimi	214

FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

Fotograf 3. 1. Katı ve Sıvı Ortamlarda Üretilen <i>R. arrhizus</i>	39
Fotograf 3. 2. Orbital İnkübatörün Üstten Görünüşü	40

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Semboller	Açıklama
μ	: Mikroorganizmanın özgül büyüme hızı (1/h)
μ_m	: Maksimum özgül büyüme hızı (1/h)
K_s	: Substrat doygunluk sabiti
S_o	: Substrat derişimi (g/L)
X	: Mikroorganizma derişimi (g/L)
$t_{1/2}$	: Mikroorganizma derişiminin iki katına çıkması için geçen süre. ikilenme süresi
$KOİ$	: Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
C_{den}	: Adsorplayıcı yüzeyindeki metal iyonu ile dengede olan çözelti metal iyonu derişimi (mg/L)
C_o	: Başlangıç metal iyon derişimi (mg/L)
C_{xden}	: Çözeltideki metal iyon derişimi ile dengede olan adsorplayıcı yüzey üzerindeki metal iyonu derişimi (mg/L)
C_{xmax}	: Adsorplayıcı yüzey üzerindeki maksimum adsorplanan metal iyonu derişimi (mg/L)
K	: Adsorpsiyon sabiti (L/mg)
K_f	: Freundlich adsorpsiyon sabiti
Q^o	: Bütün yüzeyde tek bir tabaka oluşturmak için sorbentin birim ağırlığında adsorplanan çözünen miktarı (mg/g)
q_{den}	: Çözeltideki metal iyonu derişimi ile dengede olan mikroorganizma yüzeyindeki metal iyonu miktarı (mg/g)
q_{max}	: Mikroorganizma yüzeyi üzerinde adsorplanmış maksimum metal iyonu miktarı (mg Me iyonu/ g-kuru.mo)
r_{ad}	: Gerçek adsorpsiyon hızı (mg Me/gram. mo- min.)
t	: Zaman (s, dk., sa)
V_R	: Sıvı hacmi, süspansiyon hacmi (mL)
X_o	: Tepkime kabına konulan mikroorganizma derişimi (g/L)
$Y_{qmax/Co}$	: Mikroorganizmanın metal alma etkinliği (mgMe/gram kuru.mo)/ mgMe/L çöz.)
KH	: Karıştırma hızı (rpm)
Me	: Metal iyonu
mo	: Mikroorganizma
$g.k. mo$	: Gram kuru mikroorganizma

1. GİRİŞ

Çevre kirliliğinin; artan nüfusun düzensiz yerleşimi ve hızla gelişen plansız sanayileşmenin bir sonucu olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir. En az yatırımla daha fazla kar etme tutkusu sanayicilerin daha geniş perspektifte düşünmemesine, dolayısıyla da üretim atıklarını işletmeden uzaklaştırmakla yetinmelerine neden olmuştur. İşte üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu oluşan bu atıklar, hava, su ve toprakta kirlenmeye ve denge bozulmalarına neden olmaktadır. Özellikle hava ve suyun akışkan ortamlar olmaları nedeniyle oluşan kirlilik, kaynağından çok uzaklara taşınmaktadır. Bu olumsuz durum son yıllarda güncellik kazanmış, birçok bilimsel çalışmalarda konunun önemine işaret edilerek ve gerekli uyarılar yapılarak kirliliğin önlenmesi ve yaptırımcı yasaların çıkartılması doğrultusunda yoğun çabalar harcanmıştır.

Yüzeysel su kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştiren yabancı maddelerin su ortamına karışması, su kirliliği problemlerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Günümüzde evsel ve endüstriyel atıksularla yaklaşık bir milyon değişik kirletici, yüzeysel sulara verilmektedir. Bu kirleticilerin bir kısmı; alıcı ortamlarda istenmeyen tad ve koku oluşturmuyarak, bir süre sonra mineralize olup zararsız hale gelirken, pestisidler, radyoaktif maddeler ve ağır metaller gibi kirleticiler canlı hayatı için tehlike oluştururlar. Özellikle ağır metaller organik kirleticilerin aksine su ekosistemindeki doğal proseslerle elimine olmayarak dip sedimanlarda birikir ve zamanla mobilize olurlar.

Kentsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların işlenmesi; çevre görünümü ve halk sağlığı açısından önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle de atıkların işlenmesinin gereği anlaşılmış ve üzerinde önemle durulan bir konu haline gelmiştir. Çevre kirlenmesini önlemek ve atıkları işlemek oldukça güç ve pahalı yöntemler gerektirdiğinden, yeni prosesler üzerinde sürekli araştırma ve incelemeler yapılmaktadır. Yapılan bu inceleme ve araştırmalar arasında son yıllarda üzerinde en çok durulan konular, mikrobiyolojik işlemlerdir. Bu işlemlerde amaç, mikroorganizmalar aracılığı ile atıkların parçalanması ve yeni ürünlerin elde edilmesidir.

Ağır metaller, çevre kirliliği bakımından çok önemli kirleticiler olup, toksiktirler. Bu nedenle de çevrenin korunması için alıcı ortamlardan ve atıksulardan ağır metallerin giderilmesi gerekmektedir. Ağır metal iyonları içeren atıksuların arıtılması işletmenin kapasitesine, atıksuyun debisine ve özelliklerine, işletmedeki arıtma tesisi ve kullanılan yöntemle bağlı olmakla beraber, temeli kimyasal olarak metal iyonunun çökebilen bir bileşiği şekline dönüştürülmesine dayanır.

Suda yaşayan birçok mikroorganizma bulundukları ortamdan seçici olarak çözünmüş ağır metal iyonlarını ve radyoaktif elementleri bünyelerine alabilirler. Mikroorganizmaların atıksulardan ağır metal gideriminde kullanılması ile hem biyolojik hem de kimyasal kirlilik giderilebilir.

Bu çalışmada; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını ayrı ayrı ve birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi kesikli karıştırmalı laboratuvar tipi reaktörde çeşitli üreme parametrelerinin fonksiyonu olarak araştırılmıştır. Ayrıca kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem 50 mg/L metal iyonları bulunan ortamda hem de metal iyonları bulunmayan ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorbsiyonu kesikli ve karıştırmalı reaktörde incelenmiştir.

Bu adsorbsiyon çalışmalarında; ilk adsorbsiyon hızı ve mikroorganizmanın metal alma etkinliğini etkileyen parametreler olarak; başlangıç pH'sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişimi seçilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Atıksular

Birbirlerine ayrılmaz bir şekilde bağlı ve biri diğerine sürekli tesir eden toprak, hava ve su yaşadığımız çevreyi oluştururlar. Doğanın bir parçasının herhangi bir sebeple bozulması diğer parçalarını da aynı şekilde etkilemektedir. Yüzeysel sularda meydana gelecek her türlü değişimler, yeni duruma adapte olmuş organizma topluluklarını ve bu topluluğu meydana getiren mikroorganizma türlerini ortaya çıkarmaktadır (Karpuzcu, 1991; Kocataş, 1992).

Dünya nüfusundaki artış ve hızlı kentleşme ile gelişen endüstri ve ülkenin doğal kaynaklarını tehdit eden kirlilik olayları günümüz insanının en önemli sorunları arasına girmiş durumdadır. Özellikle kimya, besin, tekstil, kağıt ve deri gibi çeşitli endüstrileri içeren fabrikaların atıksuları, kentsel atıkların ve kanalizasyon sularının yanında deniz, göl ve akarsu gibi yüzey sularını kirleten en önemli kaynaklar haline gelmiştir. Son zamanlarda gündeme gelen çevre bilinci, bu kurum ve kuruluşları bir takım önlemler almaya zorlamaktadır.

Hammer 'a (1986) göre su kirliliği, doğal bir su ortamına birden fazla yabancı maddenin karışmasıyla meydana gelen kalite değişimleriyle, suyun bugünkü ve gelecekteki faydalı amaçlar için kullanılabilirliğine zarar verilmesi olayıdır

Artan nüfus ve hızlı kalkınma ile yaygınlaşan ve gelişen sanayileşme gittikçe büyüyen, güncel bir çevre sorununu da beraberinde getirmektedir. Evsel ve endüstriyel atıkların nicel boyutları yanında özellikle endüstriyel atıkların içerdikleri ağır metaller ve zehirli maddelerin yüzey ve yeraltı suları için oluşturdukları tehlike insan yaşamı için de önemlidir.

Atıksulardaki kirleticilerin çeşitleri ve derişimleri su kaynağına bağlıdır. Endüstriyel ve evsel atıksular olmak üzere iki tür atıksu kaynağı vardır (Bailey and Ollis, 1986).

Günümüzde çevre kirliliği sınırlı bir bölgede yaşayan insanların sorunu olmaktan çıkmış ve pekçok bileşeni ile uluslararası bir boyut kazanmıştır. Türkiye' de su kirliliğinin önlenmesi ile ilgili mevzuat gözden geçirildiğinde, konu ile doğrudan ve dolaylı olarak ilgili bir dizi kanun, yönetmelik, tüzük ve Türkiye' nin taraf olduğu uluslararası sözleşme bulunduğ u, bu kanunların verdiği yetki çerçevesinde çeşitli kurum ve kuruluşların su kirliliğinin önlenmesinde görev üstlendikleri görülmektedir. Ülkenin su kaynakları potansiyelinin korunması, en iyi biçimde kullanılmasının sağlanması ve su kirlenmesinin önlenmesi, ekonomik ve sosyal kalkınma hedefleri ile uyumlu bir şekilde gerçekleştirilmesi için gerekli hukuki ve teknik esasları ortaya koymak amacıyla hazırlanan "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğ i" nde su kirliliğinin ülke genelinde yayılmasının önlenmesi ve kirlenmiş su ortamlarının rejenerasyonu ele alınmıştır. Suların kullanımı için fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerin bilinmesi ve kullanımında her bir kullanım alanı için bu özelliklerin belli sınırları aşmaması gerekir. TSE 266'ya göre İçme Suyu Standartları Tablo 2. 1'de gösterilmektedir.

Ağır metallerin ve arsenik gibi bazı elementlerin hemen hepsi belirli miktarların üzerinde toksik etki gösterdikleri için, önemli bir çevre kirleticisi olan bu elementlerin, çeşitli sularda hangi limitlerde bulunması gerektiğ i bir ilgi odağ ı oluşturmaktadır. Türk Standartlarına (TSE 266) göre içme suyu ağır metal limitleri Tablo 2. 2'de verilmektedir.

Shumate vd. (1978) ' ne göre atıksu arıtımında temel amaç; kentlerden ve endüstri kuruluşlarından atılan atıksuların kirlilik derecelerinin, kullanım yerlerine göre istenilen düzeye indirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu amaca yönelik atıksuların arıtılmasında kullanılan yöntemler üç grupta incelenir.

1- Mekanik Yöntemler : Bu yöntemler çöktürme (sedimentasyon), yüzdürme (flotasyon), nötralleştirme gibi mekanik işlemleri içerir.

2- Kimyasal Yöntemler: Bu yöntemde, mekanik arıtmada çöktürülmesi ve giderilmesi mümkün olmayan maddelerin çeşitli kimyasal maddelerle çökmeleri sağlanır.

3 - Biyolojik Yöntemler : Doğal ve yapay biyolojik tesislerde, kendi ağırlığı ile çökmeyen, asılı ya da kolloidal taneciklerle, çözünmüş organik maddelerin bir kısmı enerjiye dönüştürülürken, diğer kısmı ise mikroorganizma faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için yeni hücrelerin biyosentezinde kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma için atıksu ortamında bu canlıların üreme ve çoğalmasını engelleyecek zehir etkisi yapan maddelerin olmaması gerekir. Biyolojik dönüşümler, kimyasal dönüşümlere oranla daha yavaş olduklarından ve kontrol gerektirdiklerinden, kimyasal yöntemler kadar gelişerek yaygınlık kazanmakta gecikmiştir.

Suların daha ileri düzeyde arıtılması amacıyla kullanılan fizikokimyasal yöntemler ise, aktif karbon adsorbsiyonu, iyon değişimi, solvent ekstraksiyonu, ters ozmos, elektrodializ ve kimyasal yükseltgenmedir (Gurnham, 1965; Clark vd., 1971; Weber, 1972; Zogorski vd., 1976; Patterson, 1977).



Tablo 2. 1. Türkiye İçin Kabul Edilen İçme Suyu Standardı (TSE 266)

Madde İsmi	Birim	Müsaade Edilen Değer	Maksimum Değer
1. İçilebilirlik özelliğine etki yapan maddeler			
Renk	Birim	5	50,0
Bulanıklılık	Birim	5	25,0
pH	mg/L	7,0-8,5	6,5-9,2
Koku Tad		Kokusuz	Kokusuz
Buharlaşıma Kal.	mg/L	500,0	1500,0
Demir (Fe)	mg/L	0,3	1,0
Mangan (Mn)	mg/L	0,1	0,5
Bakır (Cu)	mg/L	1,0	1,5
Çinko (Zn)	mg/L	5,0	15,0
Kalsiyum (Ca)	mg/L	75,0	200,0
Magnezyum (Mg)	mg/L	50,0	150,0
Sülfat ($\text{SO}_4^{=}$)	mg/L	200,0	400,0
Klorür (Cl^-)	mg/L	200,0	600,0
Bakiye klor	mg/L	0,1	0,5
Fenolik maddeler	mg/L	-	0,002
$\text{Mg}+\text{Na}_2\text{SO}_4$	mg/L	500,0	1000,0
Alkil benzen sülf.	mg/L	0,5	1,0
2. Zehirli maddeler			
Kurşun (Pb)	mg/L	-	0,05
Selenyum (Se)	mg/L	-	0,01
Arsenik (As)	mg/L	-	0,05
Krom (Cr^{6+})	mg/L	-	0,02
Siyanür (CN)	mg/L	-	0,01
3. Sağlığa etki yapan maddeier			
Florür (F^-)	mg/L	1,0	1,50
Nitrat (NO_3^-)	mg/L	-	45,00
4. Kirlenmeyi belirliyen maddeler			
Top. Org. Madde	mg/L	3,5	-
Nitrit (NO_2^-)	mg/L	-	-
Amonyak (NH_3)	mg/L	-	-

Tablo 2. 2. Türk Standartlarına Göre İçme Suyu Ağır Metal Limitleri (TSE 266)

Ağır Metaller	Tavsiye Edilen Miktar (mg/L)	Müsaade Edilebilecek Max. Miktar (mg/L)
Arsenik	-	0,05
Kadmiyum (II)	-	0,005
Krom(VI)	-	0,05
Bakır (II)	1,0	1,50
Kurşun (II)	-	0,05
Civa (II)	-	-
Selenyum	-	0,01
Gümüş	-	0,05
Çinko	5,0	15,00
Mangan	0,1	0,50
Demir	0,3	1,00
Siyanür	-	0,20

2. 1. 1. Ağır metal kirliliği içeren atıksular ve arıtılması

2. 1. 1. 1. Kadmiyum kirliliği içeren atıksular

Kadmiyum içeren atıksular başlıca maden endüstrisi ve metalürjik alaşımlar, kimyasal endüstriler, elektrokaplama prosesleri, seramik üretimi, inorganik boyar maddeler ve tekstil endüstrilerinden kaynaklanmaktadır. Yüksek derişimlerde ağır metal içeren atıksuların arıtımında kullanılan genel yöntemler; kadmiyum içeren atıksuların arıtımında da kullanılmaktadır (Sitting, 1973).

1 - Kimyasal Çöktürme: Kadmiyumun, çözünmeyen ve yüksek kararlılığa sahip hidroksit şekilleri, bazik pH' lar gerektirir. Etkin kadmiyum hidroksit ($\text{Cd}(\text{OH})_2$) çökmesi pH= 9,5-12,5 aralığındadır ve bu pH aralığında kimyasal çöktürme sonucu atıksuyun içerdiği kadmiyum derişimi belirgin bir biçimde azalır. pH'ın artırılmasıyla sağlanan arıtım, kimyasal çöktürme sonunda uygulanan kum filtrasyonundan daha etkilidir. pH= 8,5 civarında kadmiyumun demir ve alüminyum ile birlikte hidroksitleri halinde çöktürülmesi de etkin kadmiyum giderimi sağlayabilir.

11 - İyon Değişimi: İyon değişimi, ikincil bir arıtım veya bir çeşit geri kazanım prosesi olarak düşünülebilir. Kadmiyum iyonuna özgü birkaç iyon değiştirici reçine türü vardır (Özer, 1994). İyon değiştirici reçineler, organik maddeleri adsorplamaya karşı meyillidirler. Bu nedenle iyon değişimi uygulanacak atıksudan organik maddelerin uzaklaştırılması da gerekmektedir (Lanouette ve Paulson, 1976).

Kadmiyum gideriminde kullanılan birincil işlemler, pıhtılaştırma, çöktürme ve kum filtrasyonu prosesine benzerdir.

2.1.1.2. Kurşun (II) kirliliği içeren atıksular

Kurşun kirliliği içeren atıksular insan, ve çevre sağlığı için oldukça tehlike arzeder. Kurşun hem hava, su ve toprak yoluyla hem solunumla hem de besinlere karışarak, biyolojik sistemleri etkiler.

Kurşun, doğada çok az miktarda fakat yaygın olarak bulunan bir metaldir. Ancak yüzbinlerce ton kurşun, kurşunlu petrolden elde edilen ve kurşun tetra etil eklenerek oktan sayısı artırılan yakıtlarla çalışan iç yanma motorlarından çıkan gazlarla dünya atmosferine boşaltılmaktadır. Metal, atmosferden büyük oranda oksitleri ve tuzları şeklinde yağmurla tekrar yeryüzüne inerek çevremize her geçen gün önemli miktarlarda yayılmaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayii atıksularında da istenmeyen derişimlerde kurşun kirliliğine rastlanır. İçme Suyu Standartları'na göre içme suyundaki kurşun (II) iyon derişiminin 0,05 mg/L' yi geçmemesi istenmektedir. Deniz, göl veya nehirlerle verilen atıksu içerisinde bulunan toplam ağır metal kirlilik yükünün ise 10 mg/L' den az olması gerekmektedir.

Sulardaki kurşun (II) iyonlarının giderilmesinde çöktürme, yumaklaştırma ve iyon değıştirme gibi yöntemler kullanılmaktadır. Çöktürme işleminde; çöktürücü olarak kireç, soda, sodyum hidroksit, dolomit ve fosfatlar kullanılır. İyon değıştirme hem organik hem de inorganik kurşun için uygulanabilir (Weber, 1972; Patterscn,1977; Aksu ve Kutsal, 1994;).

2.1.1.3. Bakır (II) iyonları içeren atıksular

Bakır madenleri, bakır ve pirinç kaplama sanayii, bakır-amonyum reyon fabrikaları, kağıt, petrol ve boya endüstrileri atıksuları bakır (II) kirliliği içeren ana kaynaklardır. Metal temizleme ve kaplama banyo atıksuları 120 mg/L' ye kadar bakır (II) kirliliği içerir. Bakır işleme endüstrisi atıksularındaki bakır (II) kirliliği 400 mg/L' ye kadar çıkmaktadır. Standartlara göre içme sularındaki maksimum bakır (II) derişimi 1,0 - 1,5 mg/L'yi, sulama sularında ise 0,2 - 5 mg/L' yi aşmamalıdır. Değişik endüstriyel proses atıksularındaki bakır (II) değerleri Tablo 2. 3' de gösterilmektedir. Bakırın küçük miktarları

sağlığa zararlı olmamakla birlikte, içme sularında istenmeyen tada neden olmaktadır. Ayrıca vücutta biriken aşırı bakır ise, karaciğerde tahribata neden olur (Aksu, vd., 1995).

Bakır (II) iyon kirliliğinin giderilmesinde kullanılan yöntemler indirgeyerek çöktürme veya iyon değiştirme, buharlaştırarak uzaklaştırma ve elektroliz yöntemleridir. Çöktürme asidik atıksuya kireç ya da metal sülfür eklenerek yapılır. Bakır oksitin minimum çözünürlüğü $pH = 9,0-10,3$ arasındadır. Buharlaştırarak geri kazanma pahalı bir prosestir ve atıkta bakırdan başka istenmeyen maddelerinde buharlaşma sonunda derişimi artmış olarak bulunur. Elektrokimyasal yöntemle bakırın geri kazanılmasında ise, atıktaki bakır derişiminin $1-2 \text{ g/L}$ den az olmaması gerekmektedir ve oldukça yüksek güç harcaması yapılmaktadır (Aksu ve Kutsal, 1994; Patterson, 1977; Weber, 1972).

2. 1. 2 Atıksulara karışan ağır metallerin kaynakları

Ağır metal kirliliği içeren atıksular, maden endüstrilerinden, metal endüstrilerinden ve çeşitli sanayi kuruluşlarının atıksularından kaynaklanır:

1) Maden endüstrisi : Kömür ve diğer maden ocaklarının çalıştırılabilmesi için madenden çıkarılarak atılması gereken asidik maden drenajları yüksek derişimlerde Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Fe^{+2} , düşük derişimlerde de Al^{+3} , Mn^{+2} ve diğer ağır metal iyonlarını içerir. Bu cevherlerin topraktan çıkarılması ve işlenmesi sırasında oldukça fazla su kullanılır. Kullanma suyuna geçen metaller, su ile birlikte doğaya bırakılır.

ii) Metal endüstrileri : Metal endüstrilerinin çeşitli fiziksel ve kimyasal proseslerinde oldukça fazla su kullanılır ve dolayısıyla da atıksular çok miktarda metal iyonları içermektedir. Metal endüstrisi atıkları; metal işleme, metal kaplama ve parça yıkama tesislerinden kaynaklanır. Metal endüstrisi atıksularında bulunan ağır metaller ve miktarları Tablo 2. 4' den görülmektedir.

iii) Çeşitli sanayii kuruluşlarının atıksuları : Metal kirliliği oluşturan sonuncu grup en çok kirlilik ve zehirlilik potansiyeline sahip, çok ve çeşitli sanayii kuruluşlarının atıksularıdır. Metal kaplama sanayii, otomotiv, elektrik ve elektronik malzemeler, mutfak ve ev eşyaları endüstrileri atıksuları bu grup içinde yer alır (Gurnham, 1965; DSI, 1980; Kuyucak ve Volesky, 1987).

Tablo 2. 3. Proses Atıksularındaki Bakır (II) Derişimleri (Sitting, 1973).

Prosesler	Bakır (II) Derişimleri mg/L	Müsade Edilen Değerler mg/L
Kaplama prosesi yıkama suyu	20-120	1,0
Pirinç daldırma suyu	2-6	2,0
Pirinç işleme, durulama suyu	4,4-8,5	3,0
Bakır işleme, durulama suyu	19-74	3,0
Metal prosesi	204-370	4,0
Pirinç işleme yıkama	-	5,0
Boru imalatı	74	-
Silindir ve tel imalatı	888	-
Pirinç işleme bikromat muamelesi	-	5,0
Boru imalatı	13,1	-
Silindir ve tel imalatı	17,4	-
Bakır yıkama	13-74	-
Araç gereç imalatı	4,5	6,0
Kullanılmış asit	0,6	11,0
Alkali atıklar	0-1,0	-
Genel büyük kaplayıcı	-	7,0
Durulama suyu	20-200	-
Dört kaplama şekli	6,4-88	8,0
Otomobil ısıtıcısı imalatı	24-33	9,0
Gümüş kaplama	-	10,0
Gümüş taşımacılığı	3-900	-
Asidik atıklar	30-590	-
Alkali atıklar	3,2-15	-
İş makinaları üretimi	-	10

Tablo 2. 4. Metal Endüstrisi Atık Sularında Bulunan Ağır Metaller ve Miktarları

Ağır Metaller	Değerler (mg/L)
Toplam Krom	2,0
Kurşun (II)	0,5
Bakır (II)	23,0
Nikel (II)	3,0
Kadmiyum (II)	0,5
Toplam Siyanür	0,1-1,0
Civa	0,0-0,5

2. 1. 3. Ağır metal kirliliği içeren atıksuların arıtılmasında mikroorganizmaların kullanılması

Yaşayan veya yaşamayan mikroorganizmalar seçici olarak atıksulardaki inorganik iyonları biriktirme ve ayırmada yüksek bir potansiyele sahiptir. Mikroorganizmaların bu özelliğinden faydalanılarak atıksularda bulunan ağır metal iyonlarının ve radyoaktif elementlerin uzaklaştırılması ve geri kazanımında kullanılması düşünülmüştür (Ting, vd., 1989).

Runchoft 1949' da yaptığı ilk çalışmada; atıksulardaki plutonyum 239' un uzaklaştırılmasında aktif çamur kullanarak, tek kademede plutonyum 239' un % 96' sını uzaklaştırmayı başararak, daha fazla bulaşma olmaması için iki kademeli prosesin kullanılabileceğini belirtmiştir (Shumate vd., 1978).

Daha sonra Polikarkov (1966), denizde yaşayan mikroorganizmaların, radyoaktif elementleri sudan direkt adsorpladığını ve bu özelliğin canlı hücreler için olduğu gibi ölü hücreler için de geçerli olduğunu göstermiştir. Tezuka 1968 yılında yaptığı bir çalışmada çözeltideki aktif çamur bakterisi üzerindeki negatif yüklü hücre yüzeyleri ile metal iyonları arasında iyonik bağ köprülerinin oluşarak, metal adsorbsiyonunun gerçekleştiğini ileri sürmüştür (Tsezos ve Volesky, 1981; Volesky, 1986).

Chiu (1972), lagım sularından bir mantar kültürünü izole ederek, bu mantarı uranyumu uzaklaştırmak için kullanmıştır. Jilek 1978 yılında;

100 mg/g uranyumu giderme kapasitesine sahip bir ürünün patentini alarak, bu alanda ilk teknolojik uygulamayı başlatmıştır. Beveridge (1977) *Bacillus subtilis* ' in saf kültürü ile çalışmış ve bakterinin hücre duvarının yüksek atom numaralı elementleri adsorpladığını ve daha sonra bu elementlerin geri kazanılabileceğini göstermiştir (Tsezos ve Volesky, 1981; Volesky, 1986).

Shumate vd. (1978), yaptıkları bir çalışmada *S. cerevisiae* ve *P. aeruginosa*'yı uranyum iyonunun biyosorpsiyonunda kullanarak, ağır metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorbsiyonunda, adsorbsiyon hızı ve kapasitesine, ortam pH' sı, sıcaklığı, ortamda bulunan diğer anyon ve katyon derişimlerinin önemli olduğunu göstermiştir.

Horikoshi vd., (1979), ısı ile öldürülen hücrelerin, uranyum (VI)' yı adsorplama kapasitesinin canlı hücrelerden üç kat daha büyük olduğunu ileri sürmüştür (Darnall, vd., 1986).

Tsezos ve Volesky (1981) yaptıkları bir çalışmada; çeşitli mikroorganizmaları uranyum ve toryumun adsorbsiyonunda kullanarak, farklı sıcaklık ve pH değerlerinde adsorbsiyon izotermi oluşturmuş, sonuçları aktif karbon ve iyon değıştirici reçinelerle karşılaştırarak en yüksek adsorbsiyon kapasitesine mikroorganizmaların sahip olduğunu göstermişlerdir.

Nakajima vd., (1981) dondurularak kurutulmuş *C. vulgaris* ' e çeşitli metal iyonlarının adsorbsiyonunu çalışarak; mikroorganizmanın ortamda bulunan metal iyonlarını seçici olarak biriktirdiğini gözlemişlerdir (Darnall, vd., 1986).

Norberg ve Rydin (1984), sürekli sistemde *Z. ramigera* ' ya bakır adsorbsiyonunu çalışarak, kesikli ve sürekli sistemleri karşılaştırmış ve kesikli sistemlerde mikroorganizmanın adsorbsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Tsezos ve Volesky (1983), *R. arrhizus* ' un yaşamayan hücrelerine uranyum ve toryumun adsorbsiyonunu incelemişler; her iki iyonun *R. arrhizus* ' un hücre duvarında bulunan kitinde mevcut olan amino grubu ile kompleks oluşturduğunu, kompleks oluşumu tamamlandıktan sonra kitin ağ örgüsü aracılığı ile uranyum ve toryumun adsorplandığını ve daha sonra oluşan kompleksin hidrolizlenerek, hücre duvarındaki hidroliz ürünlerinin çökeldiğini

100 mg/g uranyumu giderme kapasitesine sahip bir ürünün patentini alarak, bu alanda ilk teknolojik uygulamayı başlatmıştır. Beveridge (1977) *Bacillus subtilis* ' in saf kültürü ile çalışmış ve bakterinin hücre duvarının yüksek atom numaralı elementleri adsorpladığını ve daha sonra bu elementlerin geri kazanılabileceğini göstermiştir (Tsezos ve Volesky, 1981; Volesky, 1986).

Shumate vd. (1978), yaptıkları bir çalışmada *S. cerevisiae* ve *P. aeruginosa*'yı uranyum iyonunun biyosorpsiyonunda kullanarak, ağır metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorpsiyonunda, adsorpsiyon hızı ve kapasitesi, ortam pH' sı, sıcaklığı, ortamda bulunan diğer anyon ve katyon derişimlerinin önemli olduğunu göstermiştir.

Horikoshi vd., (1979), ısı ile öldürülen hücrelerin, uranyum (VI)' yı adsorplama kapasitesinin canlı hücrelerden üç kat daha büyük olduğunu ileri sürmüştür (Darnall, vd., 1986).

Tsezos ve Volesky (1981) yaptıkları bir çalışmada; çeşitli mikroorganizmaları uranyum ve toryumun adsorpsiyonunda kullanarak, farklı sıcaklık ve pH değerlerinde adsorpsiyon izotermi oluşturmuş, sonuçları aktif karbon ve iyon değıştirici reçinelerle karşılaştırarak en yüksek adsorpsiyon kapasitesine mikroorganizmaların sahip olduğunu göstermişlerdir.

Nakajima vd., (1981) dondurularak kurutulmuş *C. vulgaris* ' e çeşitli metal iyonlarının adsorpsiyonunu çalışarak; mikroorganizmanın ortamda bulunan metal iyonlarını seçici olarak biriktirdiğini gözlemişlerdir (Darnall, vd., 1986).

Norberg ve Rydin (1984), sürekli sistemde *Z. ramigera* ' ya bakır adsorpsiyonunu çalışarak, kesikli ve sürekli sistemleri karşılaştırmış ve kesikli sistemlerde mikroorganizmanın adsorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Tsezos ve Volesky (1983), *R. arrhizus* ' un yaşamayan hücrelerine uranyum ve toryumun adsorpsiyonunu incelemişler; her iki iyonun *R. arrhizus* ' un hücre duvarında bulunan kitinde mevcut olan amino grubu ile kompleks oluşturduğunu, kompleks oluşumu tamamlandıktan sonra kitin ağ örgüsü aracılığı ile uranyum ve toryumun adsorplandığını ve daha sonra oluşan kompleksin hidrolizlenerek, hücre duvarındaki hidroliz ürünlerinin çökeldiğini

göstermişlerdir (Darnall, vd., 1986; Muraleedharen ve Venkobachar, 1990).

Darnall vd., (1986), *C. vulgaris* ' e metal iyonlarının farklı pH değerlerinde seçici olarak bağlandığını gözleyerek; *C. vulgaris* ' in, iyon değişim reçinelerinin aksine Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarına ilgisinin az olması nedeni ile metal iyonlarının bağlanmasında bu iyonların etkili olmadığını ileri sürmüşlerdir.

Aksu ve Kutsal (1988), atıksulardaki ağır metal iyonlarının *C. vulgaris* ' e biyosorpsiyonunu kesikli karıştırmalı bir kapta incelemişlerdir. Çeşitli V_0/X_0 oranlarında çalışarak; geliştirdikleri modelden buldukları sonucu deneysel değerlerle karşılaştırıp uyum içinde olduğunu bulmuşlardır.

Sağ ve Kutsal (1989) yaptıkları bir çalışmada; *Z. ramigera* ile Cr^{6+} iyonlarının ortamdan uzaklaştırılmasında pH ve sıcaklığın etkisini araştırarak, sonuçların Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluğunu ortaya koymuşlardır.

Wang ve Kwok (1992), elektrokaplama atığından izole ettikleri bir bakteri türü ile atıkta bulunan nikel (II) iyonlarını büyük oranlarda uzaklaştırmayı başarmışlardır. Ayrıca poliakrilamide tutukladıkları bakteri hücrelerinin en yüksek nikel (II) iyonlarını uzaklaştırma kapasitesi ve verimliliğini, bakteri hücrelerinin üreme koşullarını ve biyoreaktörün işletme koşullarını optimize ederek elde ettiler.

Kong vd., 1992 yılında yaptıkları bir çalışmada denitrifiye bir bakteri suşuna krom (VI) iyonlarının adsorbsiyonunda farklı pH değerlerinde öldürülen 50 günlük hücrelerin taze hücrelerden daha çok krom (VI) iyonlarını adsorpladığını belirtmişlerdir.

Nourbakhsh vd., (1993), endüstriyel atıksulardan krom (VI) iyonlarının uzaklaştırılmasında yaşamayan çeşitli mikroorganizmaları kullanmışlardır. Bütün mikroorganizmalar için, pH= 1,0-2,0 ve sıcaklığın 25-35 °C aralığında maksimum metal adsorbsiyon hızlarını elde etmişlerdir.

Sağ vd., 1992 yılında biyosorbentlere kurşun (II) iyonlarının adsorbsiyonunu çalışmışlar; ortamın optimum başlangıç pH= 4,5-5,0; sıcaklığı ise, 25-40 °C olarak bulmuşlardır. Daha sonra Sağ ve Kutsal 1993

yılında yaptıkları bir çalışmada; krom (VI) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunu kesikli karıştırmalı, akışkan yataklı ve dolgulu kolon reaktörlerde inceleyerek, sürekli sistemde en uygun reaktörün dolgulu kolon olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Ekiz vd., (1993), tutuklanmış *R. arrhizus* ' un dolgu malzemesi olarak kullanıldığı dolgulu kolon reaktörde kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonuna başlangıç metal iyon derişimleri ile akış hızının etkilerini araştırarak, Breakthrough eğrilerini elde etmişlerdir.

Porro vd., (1993), dolgulu yatak reaktöründe kullanmak için bakteri destek maddesi olarak aktif karbon, silika jel ve cam taneciklerinin davranışlarını karşılaştırarak, aralarında önemli bir fark olmadığını belirtmişlerdir.

Shuttleworth and Unz (1993), *Thiothrix* bakteri suşuna nikel ve çinkonun 10 dakikadan daha az bir sürede bağlandığını, nikel ve çinko adsorpsiyonunun bifazik Freundlich izotermine uygunluk gösterdiğini belirtmişlerdir.

Kong vd., (1993), ortamda yarışan iyonların olması durumunda hücre yaşının biyosorpsiyonda önemli bir faktör olmadığını belirtmişlerdir.

Özer vd., (1994), *C. crispata* ' ya kurşun (II) ve krom (VI) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH' sı ve sıcaklığın etkilerini araştırmışlardır. Farklı sıcaklık ve pH değerlerinde elde ettikleri Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermelerinin her bir metal iyonu için birbirine uyduğunu göstermişlerdir.

Aksu ve Sağ (1995), yaptıkları bir çalışmada ağır metal iyonlarını iyi adsorplama yeteneği gösteren yeşil alglerden *C. vulgaris*, bakterilerden *Z. ramigera* ve mayalardan *S. cerevisiae* ' ya kurşun (II), krom (VI) ve bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon için optimum pH, sıcaklık ve başlangıç metal iyonu derişimini bütün mikroorganizmalar ve metal iyonları için belirlemişlerdir. Deneysel sonuçlara göre bu mikroorganizmalardan *C. vulgaris* ' in en iyi adsorbent olduğunu bulmuşlardır.

Sağ ve Nourbakhsh (1995) yaptıkları bir çalışmada; atıksularda bulunan bakır (II), kurşun (II) ve krom (VI) iyonlarının Ca - alginat ve Ca - alginatta tutuklanmış *C. vulgaris*, *Z. ramigera* ve *S. cerevisiae* ' ya adsorbsiyonunu sürekli olarak çalıştırılan dolgulu kolon reaktörlerde, akış hızı ve giriş metal derişiminin bir fonksiyonu olarak incelemişler ve Ca-alginatın iyi bir adsorbent olduğunu söylemişlerdir. Ca-alginat ve tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinin her ikisi tarafından da adsorplanan ağır metal miktarları artan akış hızı ile azalmaktadır. Ayrıca polimerik matriksde yaşayan mikroorganizmaların tutuklanması biyosorbentin adsorbsiyon kapasitesini genellikle artırmasına rağmen, tutuklanmış *S. cerevisiae* ile elde edilen metal verimleri Ca- alginatın metal veriminden bile daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Stoll ve Duncan (1996), yaptıkları bir çalışmada; canlı *S. cerevisiae* ile elektrolizlenmiş üç çıkış suyundan bakır (II), krom (VI), kadmiyum (II), nikel (II) ve çinko (II) iyonlarının biyolojik birikimi ve glukoz miktarının birikme üzerindeki etkisini araştırarak, glukozun maya çıkış suyu solisyonuna direkt ilavesi, biriken metal miktarı üzerinde etkili olmadığını ortaya koymuşlardır.

Özer ve Ekiz (1997) yaptıkları bir çalışmada demir (III), kurşun (II) ve kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorbsiyonunun dört kademeli kesikli bir reaktörde araştırmışlardır. Adsorbsiyon olayını Langmuir ve Freundlich izotermi ile ifade ederek, deneysel değerler ile Langmuir ve Freundlich eşitliğinden hesaplanan değerlerle karşılaştırdılar. Bu sonuçların biyokütlenin miktarını artırmanın veya V_0/X oranını azaltmanın sulu çözeltiden uzaklaştırılan demir, kurşun ve kadmiyum miktarlarını etkilediğini göstermişlerdir.

2.2. Mikroorganizmalar

Mikroskop yardımıyla görülebilen, çoğunlukla tek hücreli, basit yapıdaki organizmalara mikroorganizma denir. Mikroorganizmalar, yüksek yapılı organizmalarda görülmeyen bazı ortak özellikleriyle birbirlerine benzerler. Mikroorganizmaları inceleyen bilim dalına ise, mikrobiyoloji denir (Özçelik, 1996).

Jawetz vd. (1985), canlıları dört grup altında sınıflandırmaktadırlar.

1. Eukaryotlar

- a- Alga
- b- Protozoa
- c- Fungi
- d- Slime Mold (Yapışkan küfler)

2. Prokaryotlar

- a- Eubacteria
- b- Archaeobacteria
- c- Cyanobacteria (Mavi-yeşil algler)

3. Bitkiler

4. Hayvanlar

Mikroorganizmalar, doğada toprak, su, hava, bitki, insan, hayvan, gıda, yem v.b her türlü ortamda bulunur ve gelişirler. Sulardaki mikroorganizma sayısı ise kirlilikle birlikte artmaktadır (Unat, 1993; Özçelik, 1996).

Dünyanın en eski, en yaygın ve en küçük canlıları olan mikroorganizmalar, insanlara hem yararlı hem de zararlı birçok olaya sebep olmakta ve hızla gelişen biyoteknolojide büyük önem kazanmaktadır (Unat, 1993).

Mikroorganizmalar, çeşitli enerji kazanma yolları ve farklı karbon kaynaklarını değerlendirmeleri bakımından ototrof ve heterotrof olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Genel olarak ototrof organizmalar organik maddeleri değerlendiremezler ve karbon kaynağı olarak CO₂'i kullanırlar.

Heterotrof mikroorganizmalar ise enerji kaynağı olarak hazır organik maddelerden yararlanırlar. Mikroorganizma türlerinin çoğu heterotroftur.

Oksijen ihtiyaçlarına göre mikroorganizmalar aerobik, anaerobik, fakültatif anaerob ve mikroaerofil olmak üzere dört gruba ayrılırlar. Aerobik mikroorganizmalar oksijenli, anaerobik mikroorganizmalar oksijensiz ortamda faaliyet gösterirler. Fakültatif anaerobik mikroorganizmalar hem oksijenli hem de oksijensiz ortamda üreyebilirler. Mikroaerofilik mikroorganizmalar ise çok az oksijene ihtiyaç duyarlar (Pekin, 1983).

2. 2. 1. Mikroorganizmaların besin ihtiyaçları ve gelişme koşulları

Mikroorganizmaların gelişmesi için gerekli veya gelişmeyi teşvik eden maddeleri içeren ortama besiyeri denir. Mikroorganizmaları, laboratuvar şartlarında geliştirebilmek için besin ihtiyaçlarını iyi bilmek gerekir. Besin ihtiyaçları sahip oldukları enzim sistemine göre değişir (Özçelik, 1996).

Bütün organizmalar karbon, azot, oksijen, hidrojen, fosfor, kükürt ve minerallerden oluşmuşlardır. Hücrelerin bileşimi, organizmanın cinsine ve ortam şartlarına bağlı olarak değişir.

Mikroorganizmaların gelişmesi için su gereklidir. Mikroorganizma hücresinin yapısında % 77-85 arasında su vardır. Çözücü ortam olarak su, organik ve inorganik besin maddelerinin hücreye alınması ve taşınması için gereklidir. Besin maddelerinin hücreye alınması ve metabolizma atıklarının hücreden atılması su ile olur. Su, sahip olduğu ısı kapasitesi sayesinde, hücrenin ısı durumunu ayarlar (Özçelik, 1996; Pekin, 1982; Kargı, 1993).

Mikroorganizmaların çoğu enerji kaynağı olarak organik bileşikleri (özellikle karbohidratları) kullanırken, mavi-yeşil algler bu amaçla ışık enerjisinden, kemotrof mikroorganizmalar ise inorganik bileşiklerden yararlanırlar. Azot kaynağı olarak organik azotlu maddelerden, amonyum veya nitrat tuzlarından yararlanırlar. Protein, aminoasitler, üre ve ürik asit de azot kaynağı olarak kullanılabilir. Azot, hücre bileşiminin kuru ağırlık bazında % 10-15' ini teşkil eder. Ayrıca mikroorganizmaların gelişmeleri ve üremeleri için fosfor, kükürt, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve sodyum gibi mineral maddeler ile demir, bakır, çinko, mangan, molibden, bor, kobalt,

nikel, silisyum, vanadyum ve klorür gibi eser miktardaki elementlere de ihtiyaç duyarlar. Fosfor, hücre kuru ağırlığının yaklaşık % 8' ini; kükürt ise % 1' ini teşkil eder (Pekin, 1982; Özçelik, 1995).

Mikroorganizmaların gelişme ve çoğalmaları yeterli besin maddelerinin yanında uygun çevre şartlarına da bağlıdır. Nem, sıcaklık, pH, moleküler oksijen, ozmotik basınç ve ışık mikroorganizmaların çoğalma ve gelişmelerini etkileyen önemli faktörlerdir. Mikroorganizmanın her türü, gelişme ve çoğalması için çevre şartları uygun olduğu sürece varlığını sürdürür. Besin maddelerinin azalması, sıcaklık, nem, pH v.b. çevre faktörleri, mikrobiyal populasyon üzerinde seçici etkiye sahiptir. Mikroorganizma türünün canlı kalması ve gelişebilmesi için, değişen çevre şartlarına uyum sağlaması gerekmektedir.

2. 2. 2. Tutuklanmış mikroorganizmalar

Biyokimyasal dönüşümlerde ilk aşamada serbest mikroorganizma kullanılmıştır. Bazı mikroorganizmaların çeşitli yüzeylerde üremeye yatkınlığının gözlenmesi mikroorganizmaların tutklanarak kullanılabileceği düşüncesinin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Tutuklanmış mikroorganizma sistemlerinde kontaminasyon görülmez, mikroorganizmaların başkalaşması önlenir. Ayrıca sürekli tepkime kaplarının kullanımı ile serbest organizma sistemlerine göre daha yüksek verim elde edilir. Mikroorganizmalar tek bir süzme işlemi ile geri kazanılarak ve rejenere edilerek tekrar kullanılabilir.

Tutuklanmış mikroorganizmalar, biyokatalitik tepkimelerde, teknik ve klinik analizlerde, tıp ve hücre biyolojisinde kullanılabilir.

Mikroorganizmaları tutuklamak amacı ile beş yöntem kullanılır.

1) **Yüze tutunma (adsorbsiyon)** : Destek maddesi olarak sentetik veya biyolojik kökenli organik maddeler kullanılır. Bağlanma zayıf ve birim hacimdeki katalitik kapasite sınırlıdır. Fakat biyokatalizleyici hazırlamadaki kolaylık ve zehirleyici kimyasal maddelerin olmaması yöntemin avantajlı yönleridir.

ii) Kovalent bağlama : Hücreler ile destek maddeler arasında tersinmez kovalent bağ oluşur. Hücre yüzeyindeki karboksil gruplarını aktifleştirmek için ortama karboimid gibi maddeler eklenir. Zehirli bir madde olan karboimid hücre canlılığının kaybolmasına neden olur.

iii) Çapraz bağlama : Bağlama tepkimesi tersinmezdir. Fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki tip çapraz bağlama vardır. Kimyasal çapraz bağlamada hücreler birbirlerine aldehit ve amin gibi çok fonksiyonlu maddeler ile bağlanırlar. fiziksel çapraz bağlama ise çöktürme ve küçük boyutlarda tabakalaşma ile yapılır.

iv) Mikrokapsülleme : Bu yöntemde hücreler yarı geçirgen bir zardan oluşan mikrokapsüller içinde tutuklanır. Sistemin temeli, zarın geçirgenliğine dayanır.

v) İnert bir desteğe tutturma : En çok kullanılan tutuklama yöntemlerinden biridir. Hücreler bir jel içine çeşitli yöntemlerle hapsedilirler. Jel oluşumu iyonik yük değişimi, çöktürme, kovalent veya çapraz bağlama ile sağlanır.

2. 2. 3. Funguslar

Yeryüzünde, karada ve havada olmak üzere geniş bir yayılış alanına sahip funguslar, aşağı yukarı 110 000 civarında türe sahiptirler. Tabiatta fungusların bazı türleri parazit, bazı türleri saprofit, bazı türleri de simbiyotik olarak yaşamlarını sürdürmektedirler.

Fungusların hem yararlı hem de zararlı faaliyetleri vardır. Fungusların en önemli yararları; toprağa gelen organik maddeleri parçalayarak mineralize etmeleridir. Mantarlar, şarap ve ekmek yapımında, bazı enzimlerin, organik asitlerin ve antibiyotiklerin elde edilmesinde de yararlıdır. Zararlı faaliyetleri ise, insan dahil çeşitli canlılar üzerinde parazit olarak yaşamlarını sürdüren türlerin, onların hastalanmasına hatta ölümüne sebep olmalarıdır (Öner, 1992; Unat, 1993).

2. 2. 3. 2. Funguslarda üreme

Funguslarda hem eşeyli hem de eşeysiz üreme görülür. Bazı fungus türlerinde her iki üreme şekli birlikte görüldüğü halde bazılarında ise ya eşeyli üreme ya da eşeysiz üreme görülür (Öner, 1992).

Fungusların vejetatif ve üreme yapıları olmak üzere iki çeşit yapıları vardır. Vejetatif veya asimilatif yapıları, hif ya da özel hücrelerden oluşur. Funguslar, vejetatif yapıları ile bulundukları ortamdan besin maddelerini alırlar. Üreme yapıları ise genellikle vejetatif yapıları üzerinde oluşur. Böyle funguslara "eucarpic" denir. Ayrıca bazı fungus türlerinde de misel, organizma yaşamının bir döneminde parçalanarak, bir veya daha çok üreme yapılarına dönüşür. Böyle funguslara da "holocarpic" denir.

Funguslarda eşeyli üreme plazmogami, karyogami ve mayoz olmak üzere üç ayrı evreden ibarettir. Türe bağlı olarak hareketli gametlerin birleşmesi, hiflerin birleşmesi ve gametangiumların birleşmesi şeklinde gerçekleşmektedir.

2. 2. 3. 3. Fungusların sınıflandırılması

Funguslar. bazı özellikleriyle bitkilere, bazı özellikleriyle de hayvanlara benzerler. Yani funguslar, bitkiler ve hayvanlar arasında bir geçiş teşkil ederler. Bu nedenle de fungusları bitkiler ve hayvanlar içine alarak sınıflandırmak oldukça büyük karışıklığa sebep olmaktadır. Bu durumda canlıları bitki, hayvan ve Fungi olarak üç gruba ayırmak gerekirdi. Fakat bu kuramın doğruluğu kuşku ile karşılanmaktadır. Hareketsiz olmaları, sporla çoğalmaları ve hücre çeperine sahip olmaları nedeniyle bitki olarak kabul edip, o şekilde bir sınıflandırma yapılmıştır. Böylece funguslar *Mycota* bölümü altında toplanmaktadır. 110 000' den fazla türü içeren *Mycota* bölümü; *Myxomycotina* (cıvık mantarlar) ve *Eumycotina* (gerçek mantarlar) olmak üzere iki alt bölüme ayrılır.

Myxomycotina alt bölümü içinde *Myxomycetes* sınıfı bulunur. *Eumycotina* bölümü içinde *Chytridiomycetes*, *Hypochytridiomycetes*, *Oomycetes*, *Plasmodiophoromycetes*, *Zygomycetes*, *Trichomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* ve *Deuteromycetes* olmak üzere 9 sınıf vardır (Öner, 1993).

2. 2. 3. 4. *Rhizopus*

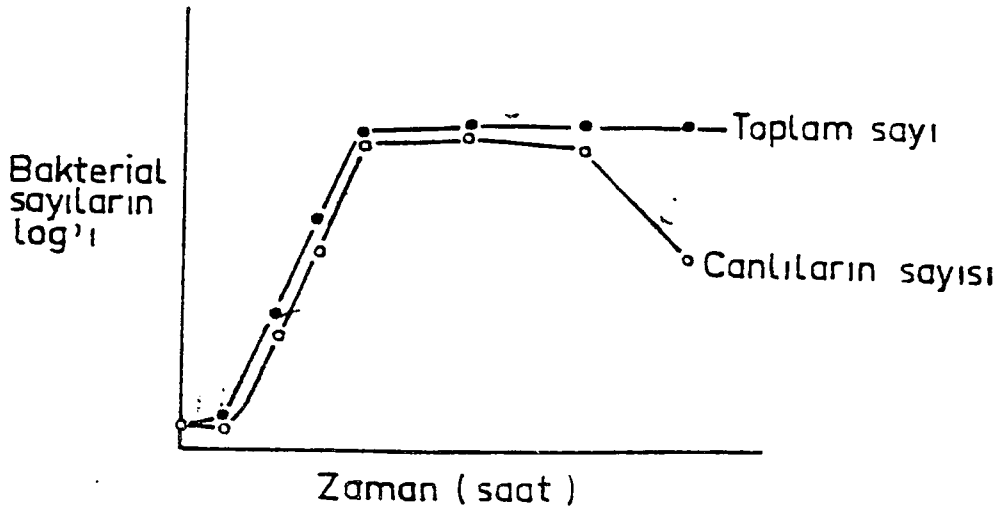
Rhizopus , *Zygomycetes* sınıfına ait bir cinsdir. *Rhizopus* türleri, meyve, sebze ve diğer birçok gıdalarda bozulmalara yol açmaktadır. Gıda ve besiyeri üzerinde çok çabuk gelişerek pamuk yığını şeklinde bir görünüm alırlar. "Stolon" adı verilen havasal hiflerin ortama değen bölgelerinde, besin maddelerinden yararlanacak kısım olan rizoidler oluşur. Rhizoidlerin bulunduğu noktalardan sporangioforlar çıkar. Sporangioforların uçlarında sporangium oluşur. Sporangiumlar, büyük ve genellikle siyahtır. Sporangium içinde yer alan kolumella' ya sporangiofor bağlanır

2. 2. 4. Mikrobiyal kinetik

Mikroorganizmalar, bulundukları ortamdan besin maddeleri alarak hücresel bileşiklere dönüştürürler. Mikroorganizmalar ya bölünerek ya da birleşerek çoğalırlar. Çoğalma ise, organizmaların sayısal artışı veya kütesel artışı şeklinde olur.

Mikroorganizmalar, büyüme ortamına konduklarında ortamdaki besin maddelerini kullanarak büyürler ve mikroorganizmaların kesikli üretimleri sırasında birçok biyokimyasal reaksiyon katalizlenerek çeşitli ürünler oluşmaktadır.

Belirli bir besin ortamında ve bilinen koşullarda mikroorganizmaların zamanla çoğalması olayları ve bu olaylarla ilgili matematiksel bağıntıların türetilmesi, mikrobiyal kinetiğin içine girer. Kültüre alınan mikroorganizmaların sabit pH, sıcaklık, iyon kuvveti ve basınç gibi dış koşullar altında belirli substrat derişiminde gelişme ve üremeleri çeşitli evrelerden geçer (Şekil 2. 2).



Şekil 2. 2 Mikroorganizmaların Üreme Eğrisi

a- Gelişme Evresi (Lag Fazı- Adaptasyon Evresi) : Belirli besin ortamına ekilen mikroorganizmalar, yeni ortama uyum gösterip çoğalmaya başlayıncaya kadar belirli bir süre geçer. Bu sırada hücre ağırlığı çok az artsa dahi hücre sayısında hemen hemen hiç bir artış gözlenmez. Bu evrede, besi ortamının bileşimine ve şartlara göre organizmaların iç yapısında bazı değişiklikler olur. Yeni enzimler üretilir, bazı enzimlerin üretimi durdurulur. Mikrobiyal teknolojiye bu sürenin kısaltılması ekonomik yönden büyük yararlar sağlar. Bu sürenin kısaltılabilmesi için aşı mikroorganizmalar, biyolojik reaktörlerin koşullarına uygun biçimde hazırlanmalı ayrıca mikroorganizmaların bu evrenin büyük bir kısmını laboratuvar kültüründe geçirmeleri ve kültür genişletme işlemleri ile de mikroorganizmaların reaktör koşullarına uyumları sağlanmalıdır. Büyüme ortamı, adaptasyon dönemini minimize, büyüme hızını maksimize edecek şekilde optimize edilmelidir (Jawetz vd., 1989; Kargı, 1993; Pekin, 1980).

b- Hızlandırılma (Akselasyon ya da Geçiş) Evresi: Gelişme evresinden sonra mikroorganizma sayısının yavaş yavaş artmaya başladığı evredir. Mikroorganizma sayısı belirli bir düzeye ulaşınca logaritmik evreye geçeler (Pekin, 1980).

c- **Eksponansiyel (Logaritmik) Evre :** Ortama adapte olan mikroorganizmalar, bu evrede maksimum hızla büyürler ve bütün hücre bileşenleri aynı hızla büyüdüklerinden ortalama hücre bileşimi sabit kalır. Hücrelerin kütlesi zamanla eksponansiyel olarak artar ve büyüme hızı besin maddesi derişiminden bağımsızdır. Bu evrede mikroorganizmaların canlı olduğu kabul edilip, mikroorganizmaların ölümü yok sayıldığı için kinetik bağıntılar türetilirken bu faktör gözönüne alınmaz (Jawetz vd., 1989; Kargı, 1993). Eksponansiyel evre maksimum substrat giderim oranını temsil eder. Atık su arıtımında amaç, substratın mümkün olduğunca hızlı giderilmesidir (Horan, 1990).

d. **Duraklama Evresi :** Bu evrede gelişme ve üreme hızı azalırken, ölüm hızı azda olsa artmaktadır. Bu dönemde bir ya da birden fazla besin maddesi limitleyici rol oynadığından ya da toksik ürün ortamda biriktiğinden büyüme yavaşlar ve büyüme hızı besin maddesi derişimine bağı olarak düşer (Pekin, 1980; Kargı, 1993).

e. **Sabit (Statik) Evre :** Bu evrede hücre derişimi sabit kalır. Net büyüme hızının sıfır olduğu bu dönemde, büyüme hızı ölüm hızına eşittir. Bu evrede net büyüme sıfır olmakla beraber; hücreler metabolik olarak aktif olup, ikincil ürünleri üretirler. Bu ürünler büyüme ile ilişkisi olmayan ürünlerdir. Ayrıca hücre kütlesi sabit kalmakla beraber, canlı ve aktif hücre derişimi düşer. Dış ortamda yeteri kadar besin maddesi kalmadığından, mikroorganizmalar hücre içi kaynağı tüketirler. Bu fazda bir taraftan bir miktar hücre çoğalması sürdürülürken bir taraftan da bazı hücreler ortam koşullarına dayanamıyarak ölürler. Ancak üreme sayısı ölüm sayısına eşit olduğundan herhangi bir büyüme olmaz. Bu nedenle bu döneme statik dönem adı verilir (Kargı, 1993; Pekin, 1980).

f. **Ölüm ya da Göçüş Evresi :** Bu evrede ölüm hızı büyüme hızından büyüktür ve hücre derişimi zamanla düşer. Bu evrede mikroorganizmaların dışa salgıladıkları enzimlerden ötürü hücre zarlarında hidroliz ve parçalanma olayları belirgin bir hal alır. Bu duruma hücrenin kendi kendini sindirmesi veya otolizis denir. Otolizis sonucu hücrelerden ortama bazı besleyici maddeler geçerek bazı canlı hücrelere besin oluşturur. Böylelikle bazı hücreler bir süre daha bu dönem içinde büyümelerini sürdürürler. Ancak bu dönemde ortamdaki enerji ve zengin besin maddeleri tükendiğinden ölenlerin sayısı çoğalanların sayısından daha yüksektir (Jawetz vd., 1989; Öner, 1992).

Substrat konsantrasyonunun kısıtlayıcı etken olduğu kesikli sistemlerde özgül büyüme hızı (μ) Monod Eşitliği ile tanımlanır.

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S} \quad (2.1)$$

Burada; μ_m , maksimum özgül büyüme hızını, K_s , substrat doygunluk sabitini, S ise substrat derişimini vermektedir.

Monod Eşitliğinin tersi alınrsa

$$1/\mu = \frac{K_s}{\mu_m} \frac{1}{S} + 1/\mu_m \quad (2.2)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe göre; $1/S$ 'ye karşı $1/\mu$ grafiğe geçirildiğinde eğimi K_s/μ_m , kayması $1/\mu_m$ olan bir doğru elde edilir.

Mikroorganizma derişiminin (X) zamanla değişimi,

$$dx/dt = \mu \cdot x \quad (2.3)$$

şeklindedir.

Bu eşitliğin integrasyonundan

$$\ln x/x_0 = \mu t \quad (2.4)$$

elde edilir.

Mikroorganizma derişiminin iki katına çıkması için geçen süre, ikilenme süresi olup,

$$t_{1/2} = \ln 2 / \mu \quad (2.5)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

2. 3. Adsorpsiyon

2. 3. 1. Genel

Adsorpsiyon, çözelti ile temas halindeki katı bir yüzeysel adsorbent üzerinde çözeltide çözünmüş olarak mevcut maddelerin tutulması işlemi olup genellikle faz yüzeylerinde oluşan bir ayırma işlemidir (Cooney vd., 1992; Treybal, 1981; Mc Cobe vd., 1985).

Herhangi bir katı örgüsü içindeki iyonlar, atomlar ve moleküller arası çekim kuvvetleri etrafındaki diğer kuvvetler tarafından sarıldıkları için dengelenmiştir. Fakat katı yüzeyindeki bir molekül, dengelenmemiş kuvvetleri tarafından çözeltide çözünmüş maddeler, katı yüzeyine doğru çekilerek, bu yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Böylece çözeltide çözünmüş maddenin, katı yüzeyine adsorpsiyonu gerçekleşmiş olur. Bu denge durumunda maddenin katı ve sıvı fazlardaki derişimleri arasındaki orantı, adsorpsiyon verimi açısından önemlidir (Şengül ve Küçükgül, 1990; Özer, 1994).

Çözünmüş maddenin katı yüzeye tutunabilmesi için; çözünmüş maddenin çözeltiden alınması, çözücünün katı yüzeyden uzaklaşması ve çözünmüş maddenin yüzeye bağlanması gerekir. Bu bağlanmada yüzeyde tutulan maddeye adsorplanan, yüzeyinde tutan maddelere de adsorbent denir. Adsorpsiyonun temel mekanizması ayrılacak maddenin çözücünden kaçma özelliğine ve katıya duyduğu ilgiye bağlıdır.

Adsorplanacak maddenin, çözücünden katı yüzeye adsorpsiyonu genellikle, katı yüzeye olan yüksek afinitesinden ileri gelir. Afinité fiziksel, kimyasal ve iyonik kuvvetlere bağlıdır. Çözünmüş parçacıklar ile adsorplayan yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin türüne bağlı olarak üç tip adsorpsiyon tanımlanmaktadır (Weber, 1972; Cooney, vd.,1992).

2. 3. 1. 1. Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda; Van der Waals kuvvetleri, adsorplanan madde ile adsorplayıcı arasındaki bağlantıyı sağlar. Fiziksel adsorpsiyonun oluşabilmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterlidir. Adsorpsiyon sonucu, ekzotermik olarak

yoğuşma enerjisinden biraz büyük bir enerji oluşur. Proses sırasında açığa çıkan ısı 2-5 kcal/mol olup aktivasyon enerjisi düşüktür. Fakat prosese elektrostatik kuvvetler aracılık etmektedir. Adsorpsiyon çok tabakalı ve rejenerasyonu kolaydır (Metcalf ve Eddy, 1972; Şengül ve Küçükgül, 1990). Fiziksel adsorpsiyon moleküller arası çekim kuvvetlerinin bir sonucu olup, zayıf ekzotermik reaksiyondur ve genellikle geri dönüşümlüdür.

2. 3. 1. 2. Kimyasal adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon, adsorplayıcı ve adsorplanan madde arasında kimyasal bağlanma sonucu oluşur. Oluşan bu kimyasal bağın uzunluğu değişebilir. Kimyasal adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı 10-50 kcal/mol olup, aktivasyon enerjisi büyüktür. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyon tek tabakalı ve tersinmezdir. Fakat kimyasal adsorpsiyonu içeren işlemler çevre mühendisliğinde çok fazla öneme sahip değildir (Weber, 1972; Şengül ve Küçükgül, 1990).

2. 3. 1. 3. İyonik adsorpsiyon

Seçimli olarak bir iyonun katı yüzeyine tutunmasında elektrostatik çekim kuvvetlerinin etken olması ile açıklanır. Belirli katılar ve elektrolit bir çözelti arasındaki iyonların tersinir değişimine iyon değişimi denir. İyon değişimi olayı adsorpsiyondan daha kompleks olsa da genel teknikler ve elde edilen sonuçlar çok benzerdir (Özer, 1994).

2. 3. 2. Adsorpsiyon dengesi ve adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon, bir denge reaksiyonuna benzemektedir. Çözelti, belirli miktardaki adsorplayıcı ile temas ettirildiğinde, çözeltide adsorplanan maddenin derişimi denge konumuna erişinceye dek azalır. Adsorpsiyon dengesi kurulduktan sonra, adsorplanan maddenin çözelti fazındaki derişiminde bir değişiklik olmaz. Ancak adsorplayan madde derişimi arttırılırsa, çözeltide adsorplanan madde derişimi yeni denge konumuna kadar azalmaya devam eder (Oğuz, 1986). Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon

izotermi olarak bilinen bağıntılarla ifade edilir. Çözeltide kalan derişim ile adsorplayıcının birim ağırlığı başına tuttuğu madde miktarı arasındaki ilişkiler adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır.

Bir adsorplayıcıda adsorplanan madde miktarı, adsorplanan derişime ve sıcaklığa bağlıdır. Genellikle sabit sıcaklıkta adsorplanan madde miktarı, derişimin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Sabit sıcaklıkta, denge durumunda çözeltide adsorplanmadan kalan çözünen derişimine karşı birim adsorplayıcı ağırlığında çözünenin adsorplayıcı miktarı grafiğe geçirilerek adsorpsiyon izotermi adı verilen sonuç fonksiyonu elde edilir.

Adsorpsiyon izotermlerinin matematiksel olarak uygun formüllerle ifadesi için başlıca üç yaklaşım geliştirilmiştir.

2. 3. 2. 1. Langmuir modeli

Tek tabaka adsorpsiyonu için en basit teorik model Langmuir modelidir ve amprik olup aşağıdaki varsayımları içerir.

- 1- Katı yüzeyindeki bütün noktalar aynı aktivasyon aktivitesi göstermektedir. Yüzey homojen enerjiye sahiptir.
- 2- Adsorplanmış moleküller arasında karşılıklı etki mevcut değildir. Bu nedenle adsorplanmış madde miktarının birim yüzeye olan adsorpsiyon hızına herhangi bir etkisi yoktur.
- 3- Bütün adsorpsiyon işlemi aynı mekanizmaya göre oluşur ve bütün adsorplanmış kompleksler aynı yapıya sahiptir.
- 4- Adsorpsiyon tek tabaka halinde oluşur ve maksimum adsorpsiyon, adsorplayıcı yüzeyine bağlanan moleküllerin doygun bir tabaka oluşturduğu andaki adsorpsiyondur.
- 5- Desorpsiyon hızı sadece yüzeyde adsorplanmış madde miktarına bağlıdır.

Bu varsayımlara göre yapılan model eşitlik 2. 6' da verilmektedir.

$$q_{den} = \frac{Q^0 \cdot b \cdot C_{den}}{1 + b \cdot C_{den}} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte;

- q_{den} : Denge de birim adsorplayıcı ağırlığında adsorplanan madde miktarı (mg/g)
 C_{den} : Denge de çözeltide kalan madde derişimi (mg/L)
 C_o : Başlangıç çözünen derişimi (mg/L)
 b : Adsorbsiyon entalpisi ile ilgili bir sabit (adsorbsiyon sabiti)
 Q^o : Yüzeyde tam bir tabaka oluşturmak için adsorplayıcının birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı (mg/g)

Langmuir izoterminin iki doğrusal şekli vardır.

$$\frac{C_{den}}{q_{den}} = \frac{1}{b \cdot Q^o} + \frac{C_{den}}{Q^o} \quad (2.7)$$

$$\frac{1}{q_{den}} = \frac{1}{Q^o} + \frac{1}{b \cdot Q^o} \times \frac{1}{C_{den}} \quad (2.8)$$

Adsorbsiyon çok az, yani $b \cdot C_{den} \ll 1$ ise, özgül adsorbsiyon, çözeltideki adsorplanan maddenin son derişimi ile orantılıdır. Bu durumda;

$$q_{den} = Q^o \cdot b \cdot C_{den} \quad (2.9)$$

şeklinde doğrusal bir adsorbsiyon bağıntısı elde edilir. Adsorbsiyonun fazla olduğu durumlarda, $b \cdot C_{den} \gg 1$ ise,

$$q_{den} = Q^o \quad (2.10)$$

dır.

2. 3. 2. 2. Freundlich modeli

Bu model Langmuir modelinde bulunan b ' nin q ' nun bir fonksiyonu olarak değiştiği heterojen yüzey enerjileri için özel bir durumu ifade eder.

$$q_{den} = K_f \cdot C_{den}^{1/n} \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte; K_f ve n sıcaklığa, adsorplayıcıya ve adsorplanan maddeye bağlı sabitlerdir ve $n > 1$ olmalıdır (Ross ve Olivier, 1964).

Freundlich modelinin logaritmik şekli eğimi $1/n$ ve kayması K_f olan bir doğru denklemi ile ifade edilir (Tsezos ve Volesky, 1981).

$$\ln q_{den} = \ln K_f + (1/n) \ln C_{den} \quad (2.12)$$

DeneySEL veriler ortalama derişim aralıklarında ise Freundlich eşitliğı, Langmuir eşitliğıne çok iyi uyar. Çok yüksek derişimlerde ise yüzey tamamen örtölerek n değeri belli bir limite ulaştığından her iki modelin uyuşmazlıkları artar.

2.3.2.3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) modeli

Genellikle iki adsorbsiyon tabakası olduğunu ve her iki tabakanın eşit adsorbsiyon enerjisine sahip olduğunu kabul eden BET modeli çok tabakalı adsorbsiyonu gösteren izotermi belirtir (Smith, 1970; Weber, 1972; Treybal, 1980; Tarhan, 1983; Özer, 1994).

$$q_{den} = \frac{B \cdot C_{den} Q^0}{(C_s - C_{den}) + (B+1) \cdot (C_{den} / C_s)} \quad (2.13)$$

Burada;

B : Yüzeyle iç etkileşme enerjisini belirten bir sabit

C_s : Çözünenin doygunluk derişimi (mg/L)

dir.

Çözeltiden adsorpsiyon işleminde esas olarak üç ardışık hız basamağı vardır.

I- Adsorplanacak çözünenin adsorplayıcı dış yüzeyine bir yüzey sıvı filmi boyunca taşınımı (film difüzyonu)

II- Adsorplayıcı gözenekleri içinde difüzyon (gözenek veya por difüzyonu)

III- Adsorplayıcı kapiler boşluklar ve gözenekleri sınırlayan iç yüzeylerde adsorpsiyon.

Film difüzyonu genellikle hız kısıtlayıcı basamaktır. Bu kısıtlama akış hızının artırılması ve derişik çözeltilerden adsorpsiyonla azaltılabilir. Gözenek difüzyonu sorbentin cinsine ve gözenek yapısına bağı olup, adsorplanacak maddenin moleküler yapısı ve moleköl boyutu ile orantılıdır. Adsorpsiyon genellikle çok hızlıdır (Özer, 1994).

2. 3. 3. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler

pH, sıcaklık, adsorplayıcının özellikleri, adsorplanan madde ve çözücü özellikleri ile polarite adsorpsiyonu etkileyen önemli faktörlerdir.

2. 3. 3. 1. pH

Ortam pH' sı birkaç nedenden dolayı adsorpsiyon büyüklüğünü etkilemektedir. Hidrojen ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorplandıkları için, diğler iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH' sından etkilenir. Ayrıca asidik veya bazik bileşiklerin iyonizasyon derecesi de adsorpsiyonu etkiler. Genellikle sulu çözeltilerden organik elektrolitlerin adsorpsiyonu pH azaldıkça artmaktadır. Yapılan çalışmalar, mikroorganizmalar tarafından ağır metal adsorpsiyonunun genellikle asidik pH ' larda gerçekleştiğini göstermiştir. Buna neden olarak artan hidrojen iyonu derişimi ile mikroorganizma yüzeyindeki negatif yüklerin nötralizasyonu gösterilebilir. Ayrıca mikroorganizma hücre duvarındaki proteinlerin izoelektrik pH' larında ortamın pH değışimiyle yakından ilgilidir.

Mikroorganizmalarla ağır metal adsorpsiyonuna pH' ın etkisi; kullanılan mikroorganizmalar ile ağır metallerin özelliklerinin ve fiziksel adsorpsiyonun oluşma mekanizmasının bir fonksiyonudur.

2. 3. 3. 2. Sıcaklık

Adsorpsiyon, ekzotermik olup sıcaklık azaldıkça adsorpsiyon büyüklüğü artar. Açığa çıkan ısı miktarı; fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma veya kristalizasyon ısıları mertebesinde; kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal reaksiyon ısıları mertebesinde olduğu bilinmektedir.

2. 3. 3. 3. Adsorplayıcının özellikleri

Adsorpsiyonun büyüklüğü, toplam yüzey alanının adsorpsiyon için uygun olan kısmı olarak tanımlanan spesifik yüzey alanı ile orantılıdır. Adsorplayıcının geniş bir yüzey alanına sahip olması tercih nedenidir. Bu da çok gözenekli veya parçacıklı yapının sonucudur.

2. 3. 3. 4. Adsorplanan madde ve çözücü özellikleri

Genellikle hidrofobik yapıdaki sorbentlerde çözünenin sudaki çözünürlüğü ile adsorpsiyon arasında ters bir ilişki vardır. Çözünürlük arttıkça çözücü-çözünen bağı kuvvetlenir ve adsorpsiyon derecesi düşer. İnorganik bileşikler hidrofilik yapılarından dolayı az adsorplanırlar. Hidrofob maddeler ise tercihi olarak adsorplanırlar.

2. 3. 3. 5. Polarite

Adsorpsiyonda polaritenin etkisini açıklayan genel kural, polar bir çözünenin daha polar olan bir evreyi tercih edeceğidir. Hidrojen ve hidroksil iyonları kuvvetle adsorplandıklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH' sından etkilenir. Ayrıca asidik veya bazik bileşiklerin iyonizasyon derecesi adsorpsiyonu etkiler.

2. 3. 4. Metal iyonlarının mikroorganizmalarla adsorpsiyonu (biyosorpsiyon)

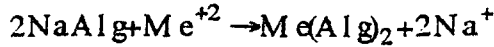
Atıksularda mevcut ağır metal iyonları, suda yaşayan canlılar üzerine toksik etki yaparlar. Bu nedenle de atıksulardan bu tür metallerin uzaklaştırılması gerekir. Atıksularda bulunan ağır metaller ortamdan indirgenme/yükseltgenme ve nötralizasyonu takiben çöktürme yoluyla ayrılabilirler gibi mikroorganizmaların yüzeyine adsorpsiyonu (biyosorpsiyon) ile de ortamdan uzaklaştırılabilirler (Büyükgüngör, 1987). Metal iyonlarının mikroorganizmalara bağlanması ve bunun su arıtımına uygulanması ise, hızla gelişen bir alandır (Darnall vd., 1986). Yaşayan veya yaşamayan belli tipteki mikrobiyal biyokütle sulu çözeltilerdeki inorganik iyonları biriktirme ve ayırmada yüksek potansiyele sahiptir (Muraleedharen ve Venkobachar, 1990). Yaşayan mikroorganizmalarla metal kazanımı ya yüzey adsorpsiyonu veya hücre içine birikme ile oluşabilir. Mikroorganizmanın üreme ve metali bağlamada ortam koşullarının aynı olmaması, ayrıca metal iyon derişimlerinin çok yüksek olduğu veya metal iyonlarının mikroorganizma tarafından adsorbe edildiği zaman mikroorganizma üremesinin inhibe oluşu canlı sistemlerle çalışmada önemli kısıtlamalar getirmektedir. Bu nedenle de yaşayan mikroorganizmalar yerine yaşamayan mikroorganizmaların metal adsorpsiyonunda kullanımı düşünülmüş; yaşamayan biyokütlenin yaşayan hücrelerden daha fazla miktarda metali adsorpladığı gözlenmiştir (Kuyucak ve Volesky, 1987).

Hemen hemen bütün mikroorganizmalar, yüzeyleri negatif yüklü olduğundan, pozitif yüklü metal iyonlarını (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , vb. gibi) adsorbe etme yeteneğine sahiptirler.

Metal iyonlarının adsorpsiyon kinetiği iki basamakta gerçekleşir. Birinci basamak yüzeyde fiziksel adsorpsiyon ya da iyon değişimidir. Bu basamak, çok hızlı olup, 3-10 dakikada denge oluşur. Hızlı giderme ise, yüzey adsorpsiyonu sonucu oluşur. İkinci basamak ise kimyasal adsorpsiyonla gerçekleşir ve metabolik aktiviteye bağlı olup, daha yavaştır (Kargı, 1993).

Mikroorganizmaların metal adsorplamasını açıklamaya çalışan çeşitli hipotezler vardır :

1. Metal iyonları hücre yüzeyindeki negatif yüklü reaksiyon alanları ile kompleks yaparak adsorplanabilirler. Hücre duvarındaki polisakkaritler amino, karboksil, fosfat ve sülfat gruplarını içerirler. Bu fonksiyonel bağlama gruplarına ilaveten; polisakkaritler iyon değişim özelliklerine de sahiptirler. Bazen Ca^{2+} , Mg^{2+} ve K^{1+} gibi katyonlar; çözeltideki pozitif yüklü katyonlar ve negatif yüklü hücre yüzeyleri arasında iyonik bağ köprülerinin oluşumuna yardım eder. Alg yapısındaki, sodyum aljinatın metal iyonu ile yer değiştirmesi örnek olarak verilebilir (Tsezos ve Volesky, 1981; Rice, 1956).

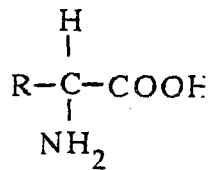


2. Bazı mikroorganizmalar, hücrelerinin dış zarlarından uzanan polimerler sentezleyerek, çözeltiden metal iyonlarını bağlayabilirler (Shumate vd., 1978).

3. Hücre duvarındaki proteinler, iyonları bağlamak için fonksiyonel gruplarını ve peptid bağlarını tercih edebilirler (Kuyucak ve Volesky, 1988). Proteinlerin peptid bağlarının azot, oksijen ve diğer grupları, iyonların metal iyonları ile yer değiştirmesi için uygundur (Crist vd., 1981).

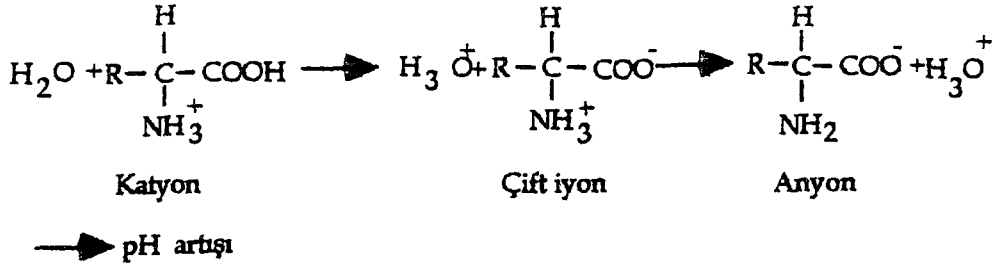
Bu hipotezin daha iyi anlaşılabilmesi için proteinlerin elektrokimyasal özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Proteinlerin en küçük molekül birimleri aminoasitlerdir. Aminoasitler birleşerek daha büyük yapıda peptid ve proteinleri oluştururlar.

Aminoasit moleküllerinde değişen grup R ile gösterilirse, genel formülleri aşağıdaki gibidir:



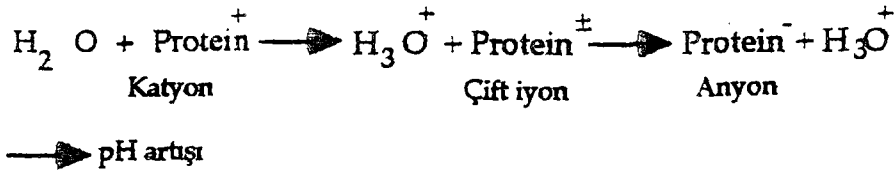
Aminoasit moleküllerinde asidik karboksil grubundan bazik amino grubuna bir göçü olmakta ve molekül içerisinde karboksilat ile amonyum iyonları oluşmaktadır. Aminoasitlerin bu haline çift-iyon adı verilir. Çift-iyon durumundaki bu aminoasit molekülü asidik çözeltiden proton alarak katyon, bazik çözeltide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

nedenle aminoasitler hem asit hem de baz özelliği gösteren amfoterik maddeler sınıfına girer.



Her bir aminoasit çözeltisi için asit ve baz etkilerinin birbirine eşit olacağı belirli değeri vardır. Bu pH'da çift iyon derişimi maksimum, anyon ve katyon derişimleri ise minimumdur. Çift iyon derişiminin en yüksek olduğu bu pH' a izoelektrik nokta adı verilir.

Aminoasit moleküllerinin hepsinde amino ve karboksil grupları bulunduğundan bir molekülün amino grubu ötekinin karboksil grubu ile birleşerek moleküller arası peptid bağlarını oluştururlar. Aminoasitlerin kondenzasyonu sonunda oluşan proteinler de aminoasitler ve peptidler gibi elektrokimyasal özellik gösterirler. Başka bir deyimle amfolit karakterde olan protein çözeltilerinde, molekül türüne göre belirli bir izoelektrik pH'ı vardır. Aşağıda herhangi bir proteinin çözeltinin pH' ına göre aldığı farklı durumlar şematik olarak gösterilmektedir.



Mikroorganizmanın metal adsorpsiyonunu bu üç hipotezden hangisine uyduğu kadar tam olarak anlaşılamamıştır. Önerilen birinci ve üçüncü hipotezin mikroorganizmanın adsorpsiyonunda birbirini takip eden ya da çift iyon durumunda birlikte oluşan iki adsorplama mekanizması olması mümkündür. Pozitif yüklü metal iyonlarının izoelektrik noktanın altında katyonik bir karakter taşıyan protein moleküllerinin içerdiği grupların aynı yüklü iyonlarıyla yer değiştirdikleri izoelektrik noktanın üstündeki pH' larda ise negatif yüklü reaksiyon alanları ile kompleks oluşturarak adsorplandıkları düşünülebilir.

Metallerin biyosorpsiyonlarında kullanılan organizmaların yüzey alanı büyük ve negatif yüklü olmalıdır. Bazı durumlarda mikroorganizmalar, adsorplama kapasitesi yönünden aktif karbon/iyon değiştiricilerden daha etkilidirler. Metal adsorpsiyonunda kullanılan bazı mikroorganizmalar ve adsorpladıkları metaller, Tablo 2.5' de gösterilmektedir.

Tablo 2. 5. Biyosorpsiyonda Kullanılan Bazı Mikroorganizmalar ve Adsorpladıkları Metaller

Mikroorganizma	Metal İyonu	Biyolojik Verim (%)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Maya)	UO ₂	70
<i>Zooglea ramigera</i> (Bakteri)	Cu ²⁺ , Cd ²⁺ , UO ₂ ²⁺ , Cr ⁶⁺	50, 50, 60, 65
<i>Chlorella vulgaris</i> (Alg)	Cu ²⁺ , Cr ⁶⁺	45, 50
<i>Rhizopus arrhizus</i> (Fungus)	Cu ²⁺ , Cd ²⁺ , Pb ²⁺ , Cr ⁶⁺	70, 75, 80, 60

Adsorpsiyon, pH = 7-9 arasında gerçekleşmekte ve asidite arttıkça, H⁺ iyonları selektif olarak organizma yüzeyine adsorbe olduğundan metal iyonları desorbe olmaktadır. Sıcaklık ise, 20 - 30 °C civarında olup, sıcaklık arttıkça adsorpsiyon verimi düşmektedir.

Ağır metallerin biyosorpsiyonunda ya canlı ya da ölü mikroorganizmalar kullanılmaktadır (Gadd, 1988). Genellikle biyolojik proseslerde toksik maddelerin gideriminde canlı mikroorganizmalar kullanılmaktadır. Bu proseslerin etkisi, besin maddelerinin mevcudiyeti, oksijen seviyesi, toksisite ve sıcaklık gibi şartlara bağlıdır. Fakat proseslerde kullanılan canlı mikroorganizmaları, yeterli performansda tutmak oldukça pahalıdır (Chang and Hong, 1994).

Mikroorganizmaların üreme ve metali bağlamada ortam şartlarının aynı olmaması ayrıca metal iyon derişiminin çok yüksek olduğu veya metal iyonlarının önemli miktarının mikroorganizma tarafından absorbe edildiği zaman, mikroorganizma üremesinin inhibe oluşu, canlı sistemlerde çalışmada önemli kısıtlamalar getirmektedir. Bu sebeple de canlı mikroorganizma yerine ölü mikroorganizmaların metal adsorpsiyonunda kullanımı düşünülmüş ve ölü biyokütlenin, canlı hücrelere göre daha fazla miktarda metali adsorpladığı gözlenmiştir. (Chang and Hong, 1994; Özer, 1994).

Bir çözültiden ölü mikrobiyal biyokütle ile metalin kazanımı biyosorpsiyon olarak adlandırılır. Hücre duvarı bileşenleri ve metal arasındaki etkileşim biyosorpsiyon yolu ile metallerin ayrılmasına sebep olurlar.

Yaşayan mikroorganizmalarla metal kazanımı ise, ya yüzey adsorpsiyonu ya da hücre içine birikme ile gerçekleşir.

Metallerin uzaklaştırılması için ölü hücrelerin kullanılması hem ucuz hem de daha fazla metali adsorplayabildiği için büyük bir avantaj olup, metallerin geri kazanılması ve biomasın rejenerasyonu için uygundur (Chang and Hong, 1994; Özer, 1994).



3. MATERYAL VE METOD

3. 1. Genel

Mikroorganizmaların bulundukları ortamdan ağır metalleri seçici olarak biriktirebilme özelliklerinden faydalanarak, atıksu arıtımında kullanılması düşünülmüş; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine etkisi ve üreme kinetikleri araştırılmıştır. Hem laboratuvarda üretilmeye hem de yüzeyde üremeye yatkınlığı nedeniyle mikroorganizma olarak *R. arrhizus* seçilmiştir. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının seçiminde ise mikroorganizmanın seçicilik özelliğinden yararlanılmıştır.

Bu çalışmada; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II)'nin tek tek ve birlikte eşit derişimlerde bulundukları üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi kesikli karıştırmalı reaktörde gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) 'nin kuru *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonu kesikli karıştırmalı reaktörde gerçekleştirilmiştir.

3. 2. *R. arrhizus* ' un Üretilmesi

Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden sağlanan *R. arrhizus*, çalışmalarda kullanılmak üzere laboratuvarda üretilmiştir. *R. arrhizus* ' un üretilmesinde kullanılan sıvı besiyerinin bileşimi Tablo 3. 1' de verilmiştir. Tablodaki bileşime sahip besiyerinden 250 mL' lik erlenlere 100 mL ilave edilerek, erlenlerin ağızları pamuk tıkaç ve alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Bu şekilde hazırlanan besiyeri 121 °C' de 45 dakika süre ile otoklavda sterillemiştir. Sterillenerek üretime hazırlanan besiyerine *R. arrhizus* ekimi yapılmıştır. Daha sonra 30 °C sıcaklık ve 150 rpm karıştırma hızında çalışan orbital inkübatörde 72 saat süre ile bekletilerek, *R. arrhizus* ' un üremesi gerçekleştirilmiştir.

Metal içeren üreme ortamı hazırlanırken; hacim 100 mL olacak şekilde besiyeri, metal çözeltisi ve saf su ilave edilerek, erlenlerin ağzı alüminyum folyo ile kapatılıp, otoklavda sterillenmiştir. Sterilizasyon işleminden sonra; üreme ortamına steril koşullarda *R. arrhizus* da ilave edilerek, orbital inkübatörde, 150 rpm karıştırma hızında 72 saat süreyle bekletilmiştir. Fotoğraf 3. 1a, b c, ve d' de sırasıyla katı ortamda üretilen *R. arrhizus*, metal içermeyen üreme ortamında üreyen *R. arrhizus* , metal içeren üreme ortamında üreyen *R. arrhizus* görülmektedir.

Tablo 3. 1. *R. arrhizus* 'un Üretilmesinde Kullanılan Sıvı Besiyerinin Bileşimi (Özer, 1994).

Madde	Derişim g/L
Sakkaroz	30,00
Maya Özütü	2,00
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,20
K ₂ HPO ₄	0,50
KH ₂ PO ₄	0,50



Fotoğraf 3. 1. Katı ve Sıvı Ortamlarda Üretilen *R. arrhizus*.

- a- Katı ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un sporları,
- b- Metal iyonları içermeyen üreme ortamında üretilen *R. arrhizus* ,
- c- Metal iyonları içeren üreme ortamında üretilen *R. arrhizus*,
- d- Sıvı ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un sporları

3. 3. Adsorpsiyonda Kullanılan Mikroorganizma ve Metal Çözeltilerinin Hazırlanması

3. 3. 1. *R. arrhizus* çözeltisinin hazırlanması

Laboratuvarda serbest halde üretilen mikroorganizma sıvı kısımdan ayrıldıktan sonra birkaç kez saf su ile yıkanmış; daha sonra 60 °C sıcaklıktaki etüvde 16 saat süreyle kurutulmuştur. Kurutulan *R. arrhizus* , bir miktar saf suda bekletilip, blenderde parçalanarak 10 g/L derişiminde stok çözeltisi hazırlanmıştır. Ayrıca 50 mg/L metal çözeltisi içeren üreme ortamında serbest olarak üretilen *R. arrhizus* da aynı işlemlere tabii tutulmuştur.

3. 3. 2. Metal çözeltilerinin hazırlanması

Deneylerde kullanılan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının 1g/ L'lik stok çözeltileri sırasıyla $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ve $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 'dan belli miktar tartılıp sulu asidik ortamda hazırlanmıştır.

3. 4. Kesikli Düzendeki Çalışan Karıştırmalı Kapta Üreme Çalışmaları

Kesikli düzendeki üreme çalışmaları 100 mL hacmindeki 250 mL'lik erlenlerin kullanıldığı sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışabilen orbital inkübatörde gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 3. 2).



Fotoğraf 3. 2. Orbital İnkübatörün Üstten Görünüşü

Kesikli düzendeki üreme çalışmalarında; 50 mL besiyeri, 10 mL mikroorganizma derişimi ve belli derişimlerde metal çözeltisi esas alınarak, çalışma hacmi 100 mL' ye tamamlanmıştır. Mikroorganizma derişimi hariç, hazırlanan deney düzeneğinin pH' sı ayrı ayrı ayarlanarak, başlangıç metal iyon derişimi tayini için örnek alınıp, buzdolabında saklanmıştır. pH' sı ayarlanan hem metal içeren hem de metal içermeyen üreme ortamı otoklavda 121 °C' de 45 dakika süre ile sterillenmiştir. Sterillenecek üretime hazırlanan metalli ve metalsiz besiyerine 10 mL aşı *R. arrhizus* eklenerek sabit sıcaklık ve karıştırma hızında orbital inkübatörde 72 saat süre ile bekletilmiştir. Üreme tamamlandıktan sonra sıvıdan ayrılan *R. arrhizus* , üç kez saf su ile yıkandıktan sonra mikroorganizmanın üremesi sırasında üzerine adsorpladığı metal iyonlarının desorbe olması için bir saat süreyle 0,5 M' lik asit çözeltisiyle orbital inkübatörde bekletilmiştir. Bu süre sonunda asitli ortamdan ayrılan *R. arrhizus* , birkaç kez saf su ile yıkandıktan sonra 60 °C' de 16 saat süre ile etüvde, darası alınmış alüminyum folyo üzerinde bekletilerek kuru mikroorganizma derişimi belirlenmiştir. Sıvı kısım ise, desorplanan metal derişiminin tayini için buzdolabında saklanmıştır. Üreme sırasında önceden belirlenen zaman aralıklarında (0, 12, 16, 20 saat ...) örnekler alınarak sıvı kısımlarına birkaç damla asit ilave edilerek analiz için buzdolabında saklanmıştır.

3.5. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde Metal İyonları İçeren ve Metal İyonları İçermeyen Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* İle Adsorpsiyon Çalışmaları

Kesikli sistemdeki adsorpsiyon çalışmaları 100 mL çalışma hacmindeki 250 mL' lik erlenlerin kullanıldığı sabit sıcaklık ve karıştırma hızında çalışabilen orbital inkübatörde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon çözeltisinin buharlaşmaması için erlenlerin ağızları pamuk tıkaçla kapatılmıştır.

Kesikli düzendeki adsorpsiyon çalışmalarında mikroorganizma derişiminin değişimi dışında adsorpsiyon çözeltisindeki kuru mikroorganizma derişimi 0,5 g/L olacak şekilde ayarlanmıştır. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda 10 g/L kuru *R. arrhizus* derişimli stok çözeltiden 5 mL, belli derişimde metal çözeltisinden 95 mL alınarak çalışma hacmi 100 mL' ye tamamlanmıştır.

Adsorpsiyon çalışmalarına başlamadan önce hem metal hem de mikroorganizma çözeltilerinin pH' sı ayrı ayrı ayarlanarak, başlangıç metal iyon derişimi tayin edilmiştir. Daha sonra mikroorganizma çözeltisi metal içeren çözeltiye ilave edilerek, karışma anı $t = 0$ olarak alınmıştır. *R. arrhizus* ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) çözeltilerinden mikroorganizmayı ayırmak için siyah bant süzgeç kağıdı kullanılmıştır. Adsorpsiyon sırasında önceden belirlenen zaman aralıklarında (0, 0,5, 2, 5, ... 120 dak.) örnekler alınarak sıvı kısımlarına birkaç damla asit ilave edilerek analiz için buzdolabında saklanmıştır.

50 mg/L metal içeren üreme ortamında üretilip kurutulan *R. arrhizus* ' un kullanıldığı adsorpsiyon çalışmalarının işlem basamakları, metalsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ile yapılan adsorpsiyon çalışmaları ile aynıdır.

3. 6. Analiz Yöntemleri

3. 6. 1. Metal iyon derişiminin tayini

Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde absorbans okunarak tayin edilmiştir (EK - 1).

3. 6. 2. Mikroorganizma derişiminin tayini

Laboratuvarda serbest olarak üretilen *R. arrhizus* sıvı kısımdan ayrıldıktan sonra üç kez saf su ile yıkanmış, 60 °C sıcaklıkta 16 saat süre ile kurutularak, mikroorganizma derişimi g/L olarak tayin edilmiştir (EK -2).

3. 6. 3. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı tayinini dikromat metodu ile gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla alınan belli miktarda örnek $K_2Cr_2O_7$ ve H_2SO_4 ile geri soğutucu altında iki saat süreyle reaksiyona sokuldu. Reaksiyon sonunda tepkimeye girmeyen $K_2Cr_2O_7$, $Fe (NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ çözeltisi ile titre edilmiştir. Ayrıca ortamda girişime neden olan faktörleri ortadan kaldırmak için Ag_2SO_4 ve $HgSO_4$ kullanılmıştır.

4. 7. Kullanılan Aletler ve Kimyasal Maddeler

3. 7. 1. Kullanılan aletler

- | | |
|--|--|
| 1. Orbital İnkübatör | : Gallankamp Marka, termostat ve shaker ayarlı |
| 2. Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi | : UNICAM 929 Atomic Absorbsion Spectrometers |
| 3. Blender | : Waring marka, düşük ve yüksek devir ayarlı |
| 4. Otoklav | : 40X60 DİK Tip BK-75 Model otoklav |
| 5. pH Metre | : CG 840 Schott Marka pH Meter |
| 6. Etüv | : Oven 251 Marka, sıcaklık kontrollü etüv |
| 7. Kuru Hava Str. | : WTE Binder Marka Sterilizatör |
| 8. Arş. Mikroskobu | : H 500 Wilo Prax |
| 9. Buzdolabı | : 351 LUX Arçelik |

3. 7. 2. Kullanılan kimyasal maddeler

- | | |
|--|-------------------|
| 1. Sodyum hidroksit (NaOH) | : Merck |
| 2. Nitrik Asit (HNO ₃) | : Merck, % 65'lik |
| 3. Sülfirik asit (H ₂ SO ₄) | : Merck, % 98'lik |
| 4. Hidro klorik asit (HCl) | : Merck, % 37'lik |
| 5. Kurşun nitrat (Pb(NO ₃) ₂) | : Merck |
| 6. Kadmiyum klorür (CdCl ₂ . H ₂ O) | : Merck |
| 7. Bakır nitrat (Cu(NO ₃) ₂ .H ₂ O) | : Merck |
| 8. Sakkaroz | : Difco |
| 9. Maya özütü | : Difco |
| 10. Magnezyum sülfat (Mg(SO ₄) ₂ . 7H ₂ O) | : Panreac |
| 11. Dipotasyum hidrojen fosfat (K ₂ HPO ₄) | : Merck |
| 12. Potasyum dihidrojen fosfat (KH ₂ PO ₄) | : Merck |
| 13. Potasyum dikromat (K ₂ Cr ₂ O ₇) | : Merck |
| 14. Gümüş sülfat (Ag ₂ SO ₄) | : Merck |
| 15. 1,10 Fennantrolin | : İndikatör |
| 16. Demir (II) Amonyum sülfat (Fe (NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ . 6H ₂ O) | : Merck |
| 17. Civa sülfat (HgSO ₄) | : Merck |

4. DENEYSEL BULGULAR

Bu çalışmada; ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus*' un üremesi üzerine tek tek ve birleştirilmiş etkisi ile üremeleri sırasında ortamdaki ağır metallerin *R. arrhizus*' a adsorbsiyonu başlangıç pH'sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve başlangıç sakkaroz derişiminin fonksiyonu olarak kesikli karıştırmalı reaktörde araştırılmıştır.

Ayrıca ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II)' nin *R. arrhizus*' a adsorbsiyonu çalışmaları ayrı ayrı ele alınarak her bir metal iyonunun hem metal iyonları bulunan ortama alıştırılmadan (sıfır metal iyonlu ortam) hem de metal iyonları bulunan ortama alıştırılarak (50 mg/L metal iyonu içeren ortam) üretilip kurutulmuş mikroorganizmaya adsorbsiyonu kesikli düzende çalışan karıştırmalı bir tepkime kabında araştırılmıştır. Bu adsorbsiyon çalışmalarında; ilk adsorbsiyon hızı ve mikroorganizmanın metal alma etkinliğini etkileyen parametreler olarak; başlangıç pH' ısı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişimi seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar "Deneysel Bulguların Karşılaştırılması Bölümü" nde tartışılmıştır.

4. 1. Kesikli Karıştırmalı Reaktörde *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Etkisi

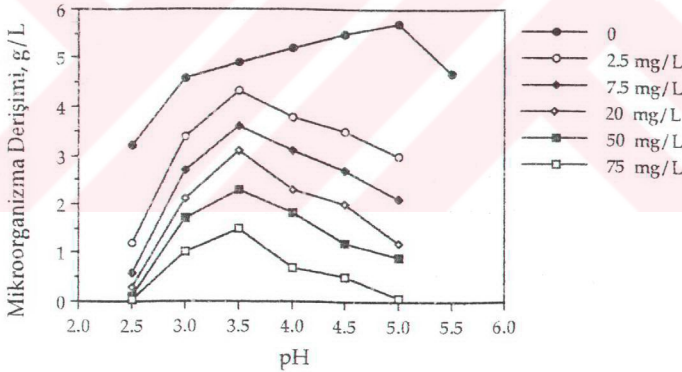
4. 1. 1. Kadmiyum (II) iyonunun etkisi

4. 1. 1. 1. Başlangıç pH' ının etkisi

Kadmiyum (II) içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi üzerine başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Hidrojen iyon derişimi mikroorganizmaların aktivitelelerini ve büyümelerini önemli ölçüde etkiler. Her mikroorganizmanın maksimum aktivite gösterdiği optimum bir pH aralığı vardır. Organizmaların aktivitelelerini maksimize edebilmek için ortamın pH' ının optimum değerde kontrol edilmesi gerekmektedir.

Karıştırma hızı, sıcaklık ve metal derişimi sabit tutularak farklı başlangıç pH değerlerinde (pH= 2,5-5) mikroorganizma derişiminin değışimi Şekil 4. 1' de görölmektedir. Metalsiz ortamda ise pH aralığı 2,5-5,5 olarak seçilmiştir. Maksimum üreme, metalsiz ortamda pH = 5' de, farklı başlangıç metal iyon derişimleri içeren ortamda ise, pH = 3,5' da elde edilmiştir. Metalsiz ortamda pH= 5 değerinden, farklı başlangıç metal iyon derişimi bulunan ortamda ise, pH= 3,5 değerinden daha yüksek pH değerlerinde üremede azalma gözlenmiştir. Ayrıca hem metal iyonu bulunan hem de iyonu bulunmayan ortamlarda düşük pH değerlerinin, *R. arrhizus*' un üremesi üzerinde inhibe edici etki gösterdiği ve bu etkinin yüksek pH değerlerinde de (pH = 5,5) geçerli olduğu gözlenmiştir. *R. arrhizus*, ilk 52 saatte logaritmik fazda ürerken, daha sonra da sabit faza geçtiği gözlenmiştir.

Farklı başlangıç kadmiyum (II) derişimlerinde pH= 5 değerinden daha yüksek pH değerlerinde kadmiyum (II) iyonları çöktüğü için üreme çalışmaları yapılamamıştır.

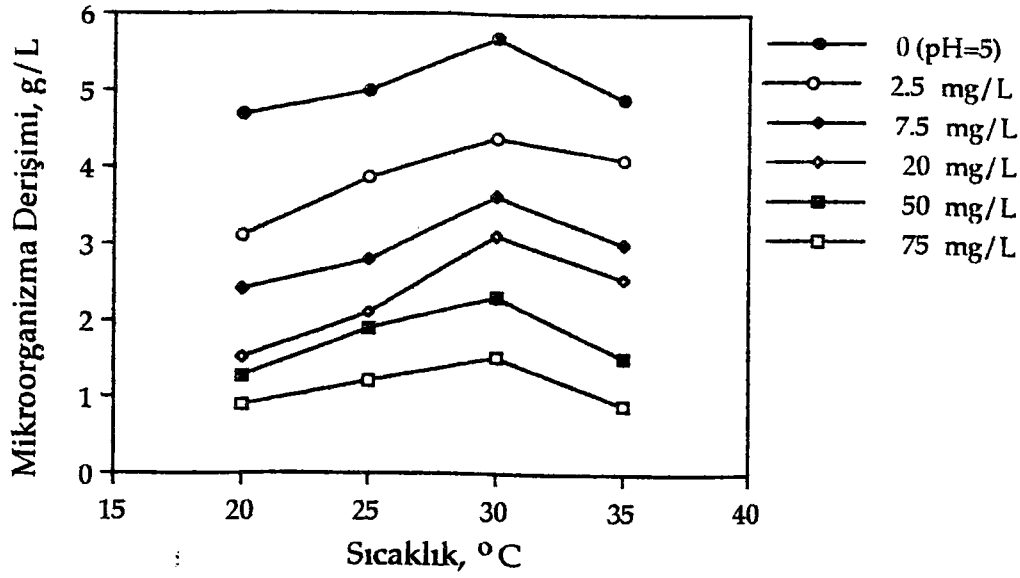


Şekil 4. 1. Kadmiyum (II) İyonun Farklı Başlangıç Derişiminde Bulunan Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin pH İle Değışimi (T= 30 °C; S₀ = 30 g/L; V_R = 100 mL; KH= 150 rpm)

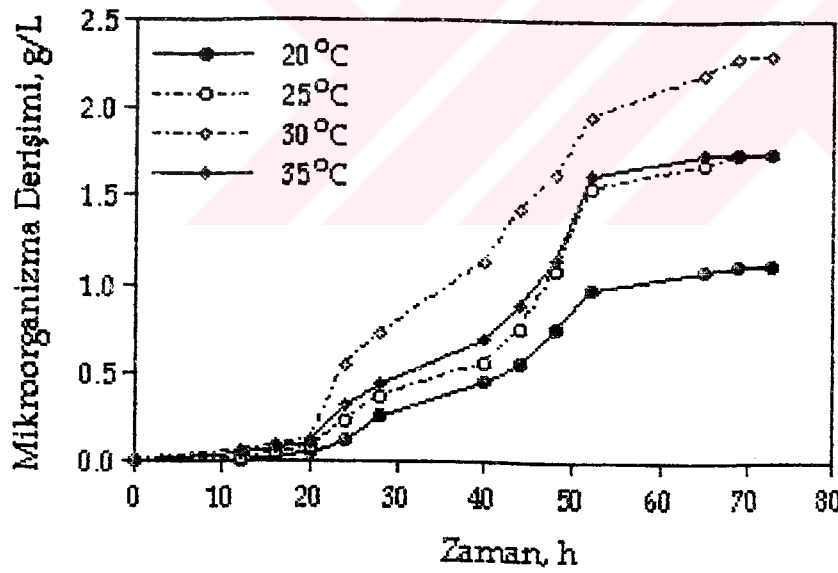
4. 1. 1. 2. Sıcaklığın etkisi

Kadmiyum (II) iyonu içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-40 °C aralığında araştırılmıştır. Mikroorganizma derişiminin sıcaklığa bağılı olarak değişimi Şekil 4. 2' de görölmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklığın *R. arrhizus* ' un üremesi üzerindeki etkisi önemlidir. *R. arrhizus* , kadmiyum (II) iyonu içeren ortamda optimum 30 °C' de üremektedir. Sıcaklık, özellikle mikroorganizmaların enzim sistemleri üzerinde etkilidir. Düşük sıcaklıklar *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine inhibisyon etkisi yaparken, yüksek sıcaklıklar ise, mikroorganizmanın enzim sistemini bozmaktadır. Optimum sıcaklığın üzerinde büyüme, sıcaklığın artışıyla birlikte düşer ve ölüm görülür. Böylece *R. arrhizus*' un üremesi sırasında kadmiyum (II) iyonlarını adsorplama yeteneğı de düşer.

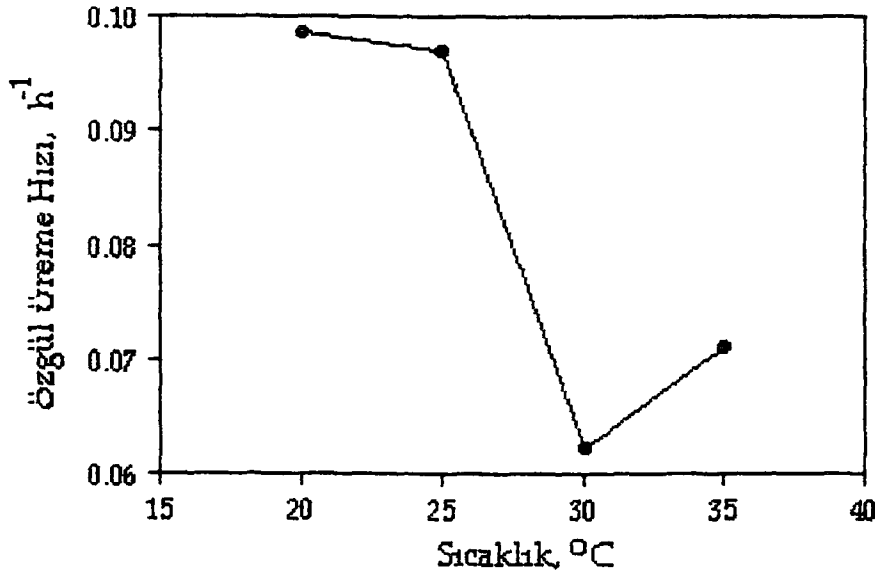
R. arrhizus' un farklı derişimlerde kadmiyum (II) iyonu içeren üreme ortamında, farklı sıcaklıklarda ilk 52 saatte logaritmik fazda üredığı daha sonra ise mikroorganizma derişiminin sabit kaldığı Şekil 4. 3' de görölmektedir. *R. arrhizus*' un ilk 52 saatlik logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Ancak sıcaklık arttıkça mikroorganizma derişimi artarken, özgül üreme hızı ise azalmaktadır (Şekil 4. 4.) *R. arrhizus*, optimum sıcaklıkta ortam şartlarını en ideal şekilde kullanıp, hücre derişimini artırmak için aktivite göstermektedir. Oysa bu sıcaklığın dışında, mikroorganizmanın üzerinde oluşan bir takım metabolik değişimler sonucu *R. arrhizus* hücre derişimini artırmak yerine tüm aktivitesini logaritmik evreyi hızlı bir şekilde tamamlamak için kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak da optimum sıcaklıkta mikroorganizma derişimi maksimum olurken, üreme hızı diğer sıcaklıklara göre daha yavaş olmaktadır. Ayrıca *R. arrhizus* 30 °C sıcaklıkta substratı daha ekonomik kullanıp, logaritmik evreyi daha yavaş tamamlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda yüksek özgül üreme hızının bulunması metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorbsiyonunun fiziksel adsorbsiyon özellikleri göstermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 2. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH = 3.5; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 3. Farklı Sıcaklıklarda *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 3.5; $C_0 = 50$ mg/L; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 4. Sıcaklık Değişiminin Özgül Üreme Hızına Etkisi (pH= 3.5; $S_0= 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $KH= 150$ rpm)

4. 1. 1. 3. Kadmiyum (II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi

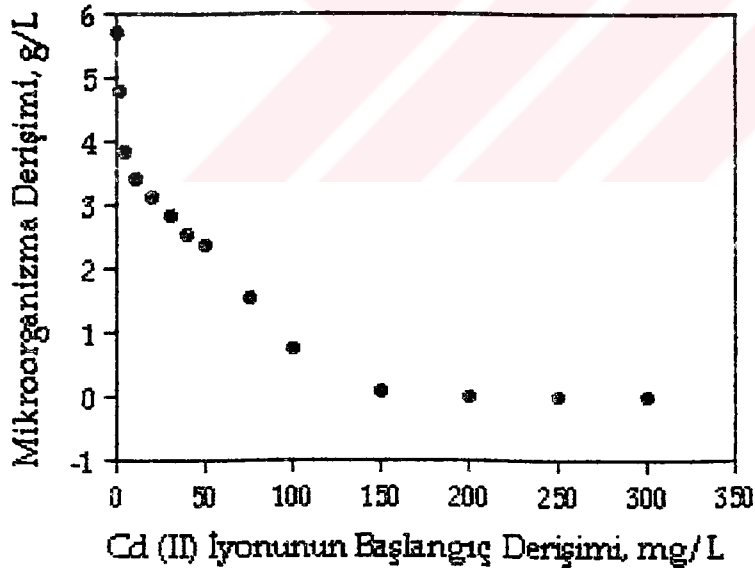
Başlangıç metal iyon derişimi, *R. arrhizus*' un üremesini etkileyen önemli bir parametredir. Daha önce verilen optimum pH ve sıcaklık değerlerinde; farklı başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimlerinde bir seri deney yapılarak *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine metal iyon derişiminin etkisi araştırılmıştır.

Kadmiyum (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde, üreme ortamında bulunan kadmiyum (II) derişiminin artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarının azaldığı saptanmıştır. Düşük başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimlerinden başlayarak kadmiyum miktarının 100 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise üremenin çok az olduğu Şekil 4. 5' den görülmektedir. Çünkü, kadmiyum (II) iyon derişimleri arttığı zaman mikroorganizmayı inhibe etmektedir ve hücre yüzeyi metal iyonlarınca doygunluğa ulaşmaktadır.

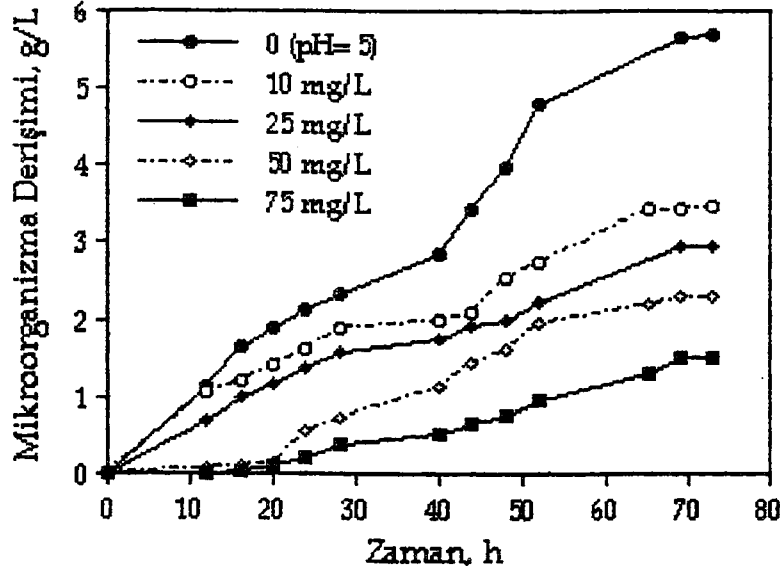
R. arrhizus' un metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği; kadmiyum (II) iyonu içeren üreme ortamında ise ilk 20 saat adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği Şekil 4. 6 ' da görülmektedir. Adaptasyon fazının

metal iyonları bulunan ortamda daha uzun sürmesi ise mikroorganizmanın metal iyonlarının bulunduğu ortama uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir. Üremenin kadmiyum (II) iyon derişiminin artışı ile azalması kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine inhibisyon etki yapmasından kaynaklanmaktadır.

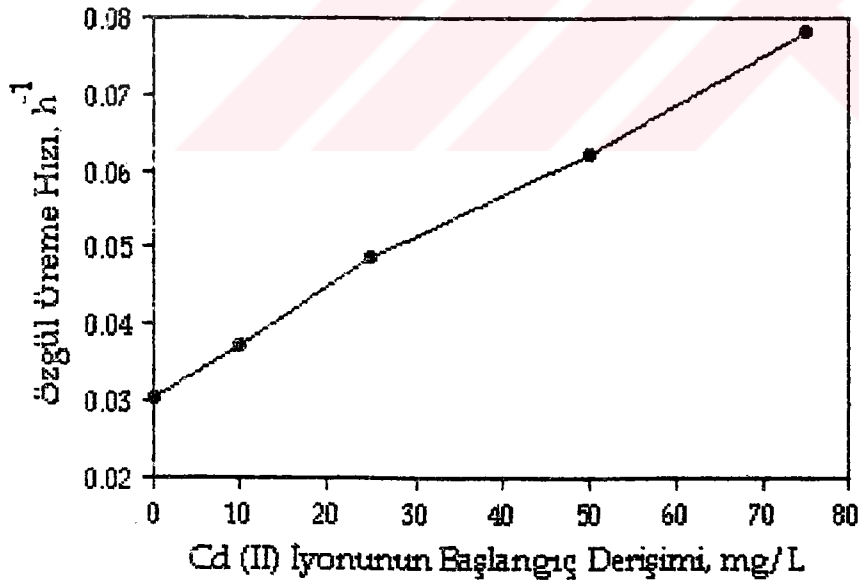
Üreme ortamında bulunan kadmiyum (II) iyon derişimleri arttıkça özgül üreme hızı da artmaktadır (Şekil 4. 7). Kadmiyum (II) iyon derişimleri *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine inhibisyon etkisi yapmaktadır. Ortamda metal iyon derişimi arttıkça *R. arrhizus* üzerinde bir takım metabolik değişimler gerçekleşmektedir. Böylece mikroorganizma; yüksek metal iyon derişimlerinde, kütlesini artırmak yerine, tüm aktivitesini logaritmik evreyi hızlı bir şekilde tamamlamak için kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak da düşük metal iyon derişimlerinde mikroorganizma derişimi daha fazla olurken, metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmakta, bu arada özgül üreme hızı ise artmaktadır.



Şekil 4. 5. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi (pH= 3.5; T= 30 °C; S₀= 30 g/L; V_R= 100 mL; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 6. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 3,5; T= 30 °C; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH = 150 rpm)

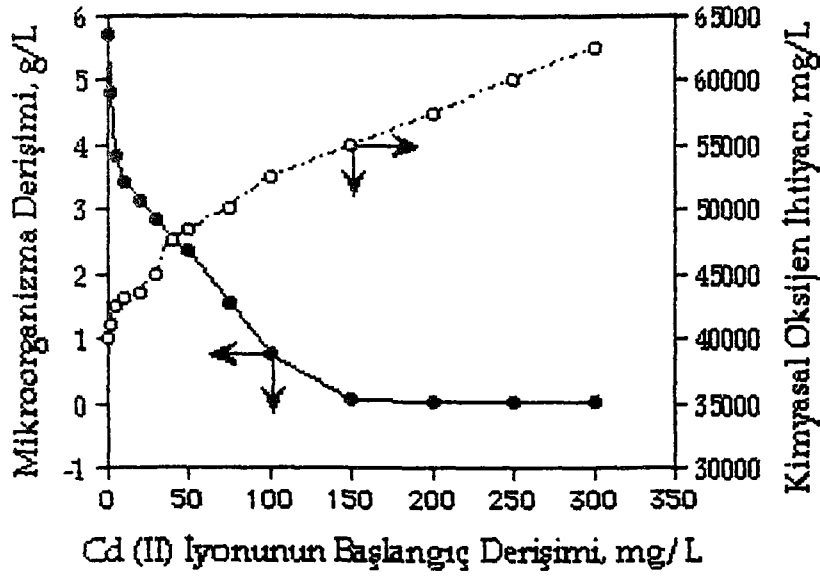


Şekil 4. 7. Kadmiyum (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgül Üreme Hızına Etkisi (pH= 3.5; T = 30 °C; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH= 150rpm)

Mikroorganizmaların metabolik süreçlerinde yer alan organik maddelerin ayrıştırılması, sulardaki oksijen miktarını etkilemektedir ve sularda bulunan organik maddeleri mikroorganizmalar ayrıştırmaktadır. Ortamda toksik maddelerin bulunması durumunda ise mikroorganizmaların aktiviteleri yavaşlamakta ve dolayısıyla da organik maddelerin ayrıştırılması engellenmektedir. Organik maddelerin ayrıştırılması sırasında suda mevcut olan aktif mikroorganizmalar ile parçalanabilir organik madde arasında dinamik bir denge oluşur. Suda bulunan organik madde derişimine bağı olarak mikroorganizma derişimi ile orantılı bir oksijen tüketimi ortaya çıkar. Bu durumda sularda oksijen ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal oksijen ihtiyacı, sudaki organik maddenin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici tarafından oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarını gösterir. Kimyasal oksijen ihtiyacı ile elde edilen oksijen ihtiyacı, genellikle suda bulunan mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sırasında sentez ve solunum için ihtiyaç duydukları miktardan daha fazladır.

Kadmiyum (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağı olarak, kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı saptanmıştır. (Şekil 4. 8).

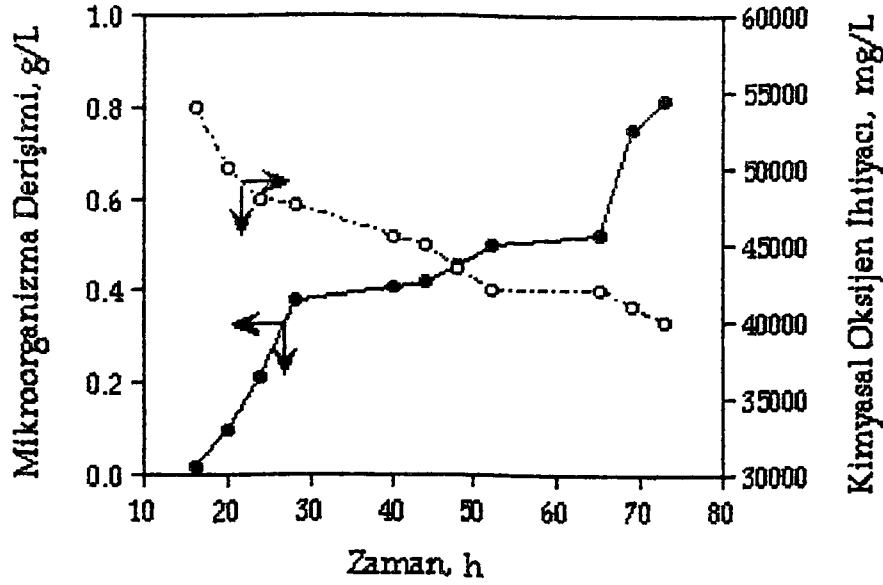
Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus*, besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimlerinin olduğu ortamda, kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Ortamda organik madde bulunmadığı için oksidasyon olayı gerçekleşmemektedir. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacının değiştiği saptanmıştır. (EK -3).



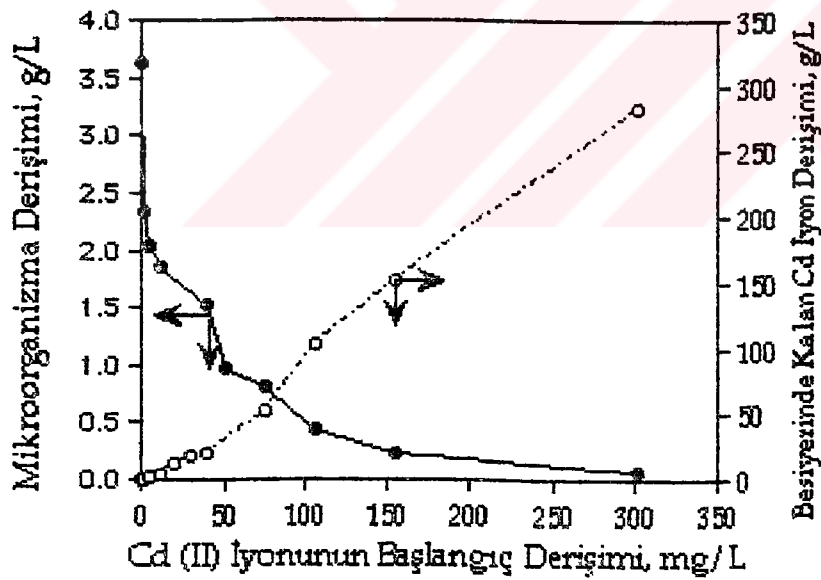
Şekil 4. 8. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Kadmiyum (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi (pH= 3,5; T= 30 °C; $S_0=30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $C_0 = 50$ mg/L; KH = 150 rpm)

Zamanla üreyen *R. arrhizus* miktarı artarken, kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 9' dan görülmektedir. Ortamda bulunan organik madde *R. arrhizus* tarafından enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketilmektedir. Ayrıca üreme ortamında bulunan organik madde aerobik olarak ayrıştırılmaktadır.

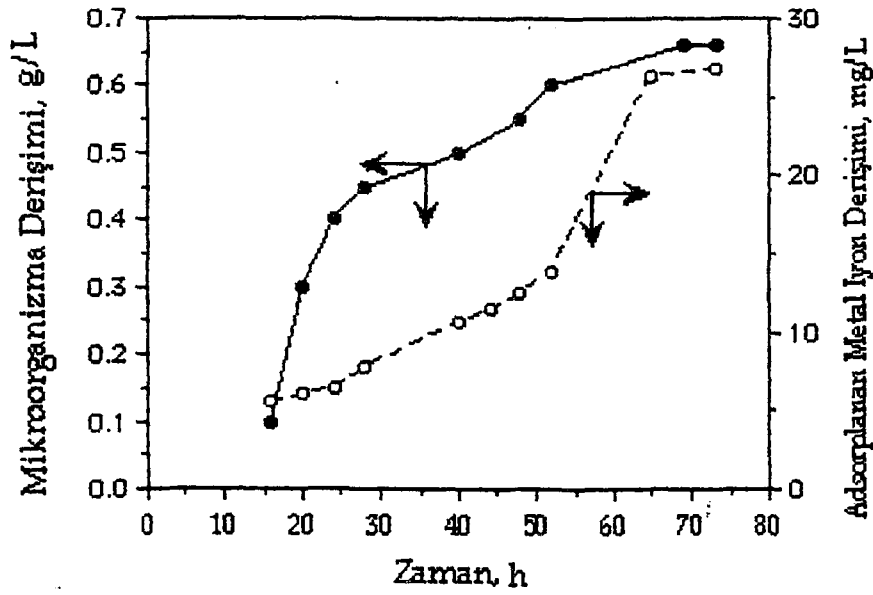
Kadmiyum (II)'nin farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* üremesi tamamlandıktan sonra, üreme ortamında kalan kadmiyum (II) derişimi ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 10' dan görülmektedir. Kadmiyum (II)' nin farklı başlangıç derişimlerinde; metal iyon derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal iyon miktarı artmaktadır. Çünkü *R. arrhizus*, üremesi sırasında ortamda bulunan metal iyonunu ya adsorblayarak uzaklaştırmakta ya da üremesi sırasında kullanmaktadır. Metal iyonları bulunan ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Oysa metal iyon derişiminin yüksek olduğu ortamlarda mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorblanan kadmiyum iyon miktarı azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kadmiyum (II) derişimi mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.10). Zamanla mikroorganizma derişimi artarken, mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı artmaktadır (Şekil 4. 11).



Şekil 4. 9. Mikroorganizma Derişimi ile Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi ($pH= 3,5$; $T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $S_0= 30\text{ g/L}$; $V_R= 100\text{ mL}$; $C_0= 50\text{ mg/L}$; $KH= 150\text{ rpm}$)

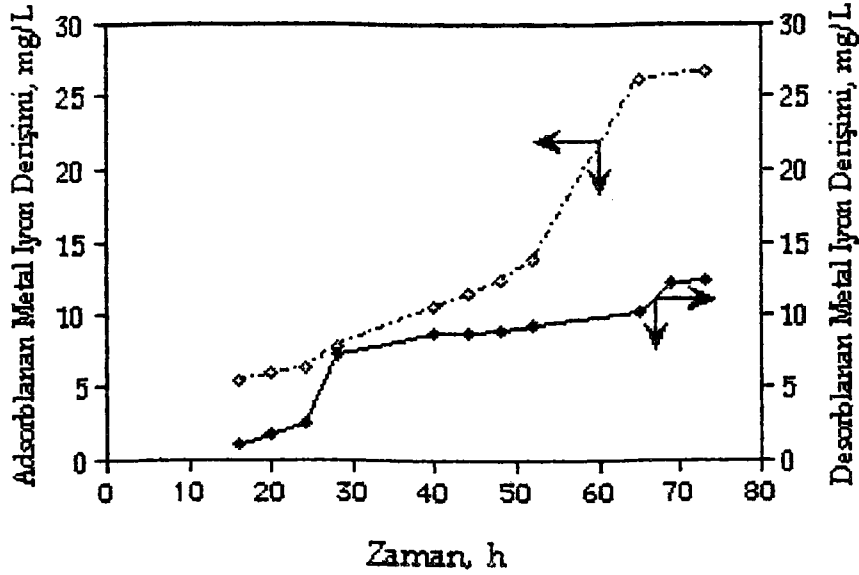


Şekil 4. 10. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi ile Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki ($T= 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $pH=3,5$; $S_0= 30\text{ g/L}$; $V_R= 100\text{ mL}$; $KH= 150\text{ rpm}$)



Şekil 4. 11. Mikroorganizma Derişimi ve Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan Metal İyonu Derişiminin Zamanla Değişimi (pH=3,5; T= 30 °C; S₀= 30 g/L; V_R= 100 mL; C₀ = 50 mg/L; KH = 150 rpm)

R. arrhizus' un üremesi sırasında, üreme ortamında bulunan kadmiyum (II) iyonlarını adsorbladığı saptanmıştır. Ortamın asidik olması durumunda ise, adsorplanan metal iyonları desorplanmaktadır (Şekil 4. 12). Şekilden de görüldüğü gibi; adsorplanan metal iyonları miktarı arttıkça, asidik koşullarda desorplanan metal miktarı da artmaktadır. Fakat, mikroorganizmanın üremesi sırasında adsorplanan metalin tamamı daha sonra desorplanamamaktadır. Çünkü *R. arrhizus*, üremesi sırasında metal iyonlarının bir kısmını adsorplarken, bir kısmını da metabolik aktiviteleri için kullanmaktadır. Metabolik aktiviteleri için kullanılan metal iyonları ortam asidik koşullarda dahi olsa desorplanamamaktadır. Desorplanan metal miktarı sadece mikroorganizmanın üremesi sırasında yüzeyine adsorpladığı metal miktarı kadardır.



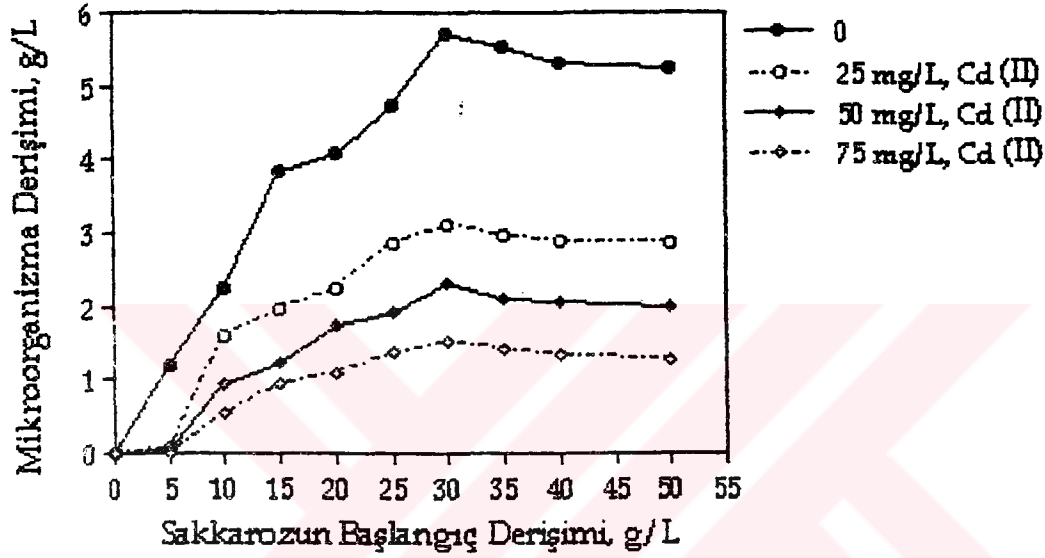
Şekil 4. 12. Mikroorganizma Tarafından Adsorblanan ve Desorplanan Metal İyon Miktarının Zamanla Değişimi ($\text{pH}=3,5$; $T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $S_0=30\text{ g/L}$; $V_R=100\text{ mL}$; $C_0=50\text{ mg/L}$; $KH=150\text{ rpm}$)

4. 1. 1. 4. Sakkarozun başlangıç derişiminin etkisi

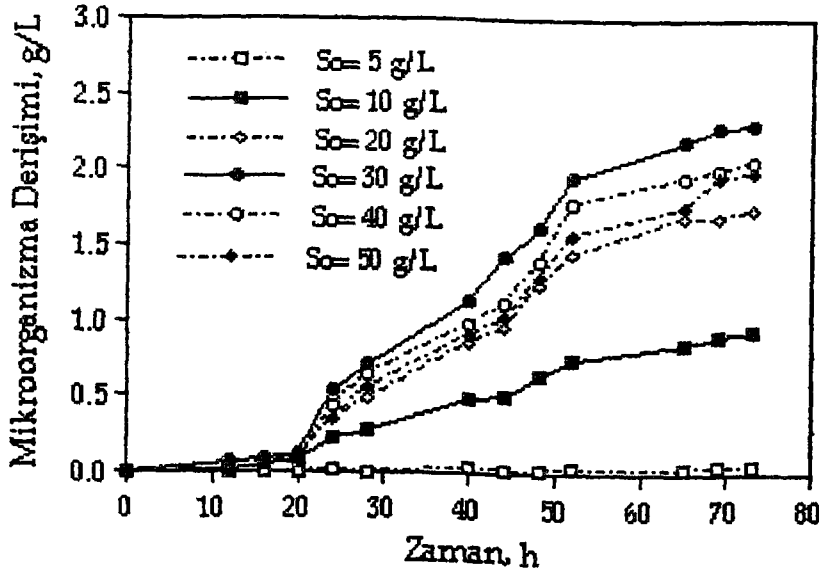
Besi maddesi derişimi mikroorganizmaların büyümelerini en az sıcaklık, pH ve başlangıç metal iyon derişimi kadar etkilemektedir. Üreme ortamında besi maddesi derişimlerinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük derişimler sınırlama, yüksek derişimler ise inhibisyon etkisi yapmaktadır. Bu tip inhibisyon genellikle rekabetsiz inhibisyonudur. Farklı sakkaroz derişimlerinde; sakkaroz miktarı arttıkça *R. arrhizus* derişimi artmaktadır. 30 g/L ' ye kadar sakkaroz derişiminde mikroorganizma derişimi artmakta, 30 g/L ' den daha büyük sakkaroz derişimlerinde ise, mikroorganizma derişimi azalmaktadır. Sakkaroz miktarının aynı olmadığı koşullarda ise; hem metalli ortama alıştırılmadan hem de metalli ortama alıştırılarak üretilen ve 72 saatte üreme tamamlandıktan sonraki *R. arrhizus* derişimi, metal derişiminin artışına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 4. 13).

Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişiminin ilk 52 saatte lineer değiştiği daha sonraki zamanlarda ise, yaklaşık sabitleştiği gözlenmiştir (Şekil 4. 14). Lineer bölgede elde edilen özgül üreme hızlarının başlangıç sakkaroz derişimi ile değişiminde; ortamda bulunan sakkarozun düşük derişimlerinde hızlarının düşük olduğu, sakkaroz derişiminin

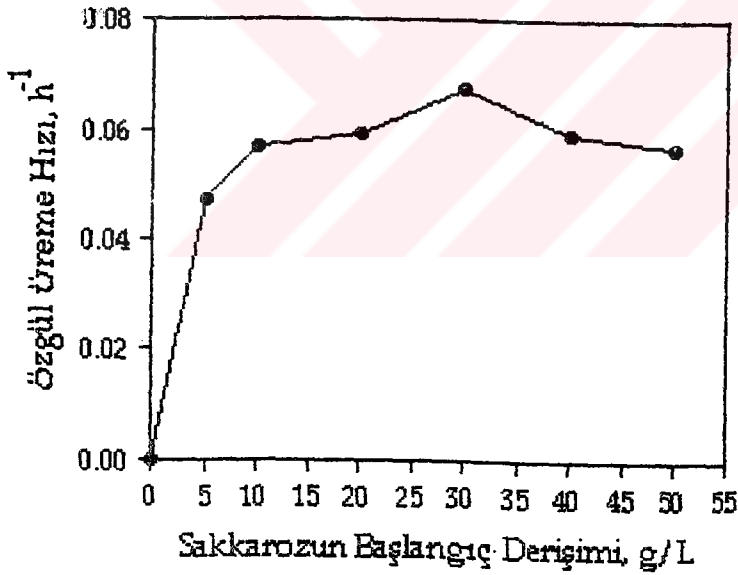
arttırılması ile hızların arttığı ve 30 g/L sakkaroz derişiminden sonra hızların azalmaya başladığı Şekil 4. 15' den görülmektedir. *R. arrhizus*'un maksimum özgül üreme hızı (μ_m) ve substrat doygunluk derişimi (K_s) değerleri, Monod Eşitliği'nin tersi alınıp, $1/\mu'$ ye karşı $1/S_0$ grafiğe geçirilerek bulunmuştur. Bu grafikten $\mu_m = 0,0623 \text{ h}^{-1}$ ve substrat doygunluk derişimi $K_s = 1,445 \text{ g/L}$ olarak hesaplanmıştır..



Şekil 4. 13. Kadmiyum (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi ($T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 3,5$; $V_R = 100 \text{ mL}$; $\text{KH} = 150 \text{ rpm}$)



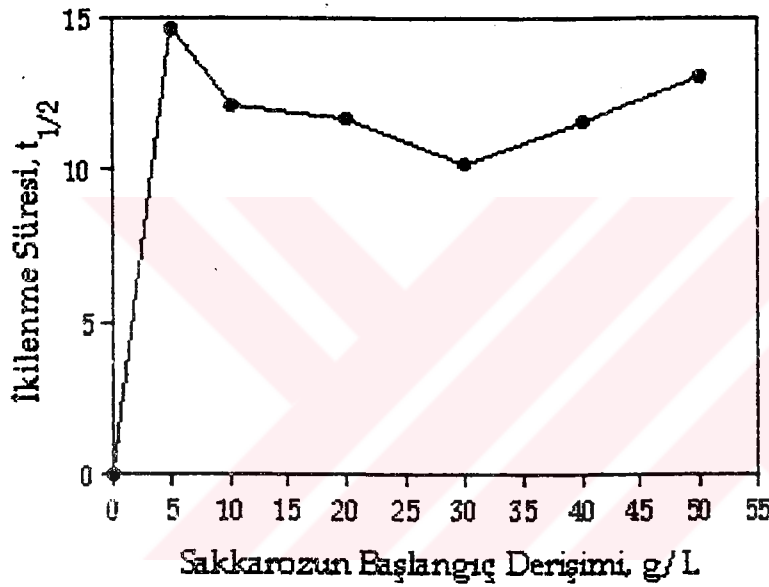
Şekil 4. 14. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 3,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$ Cd (II); $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)



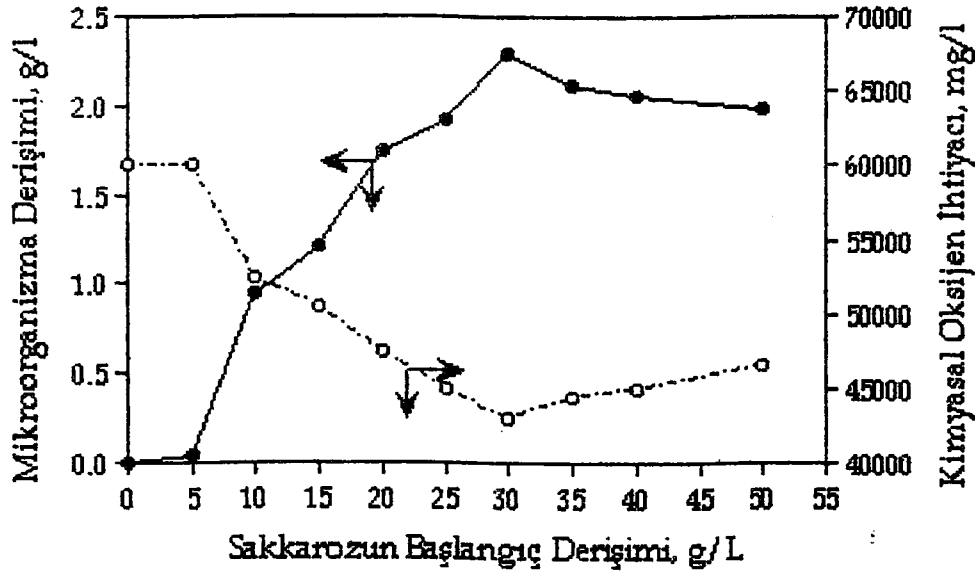
Şekil 4. 15. *R. arrhizus* 'un Özgöl Üreme Hızının Sakkaroz Başlangıç Derişimi İle Değişimi ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 3,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$ Cd (II); $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)

Sakkarozun başlangıç derişimine bağı olarak, ikilenme süresinin ($t_{1/2}$) değışimi Şekil 4. 16' dan görölmektedir. Özgöl üreme hızının tersine; ikilenme süresi; $S_0 = 30$ g/L değıerine kadar azalmakta, daha sonra ise tekrar artmaya başlamaktadır.

Sakkaroz derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi artmakta buna bağı olarak da kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4. 17). Bu azalma ise, kimyasal oksijen ihtiyacının mikroorganizma derişimi ile değışmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 16. *R. arrhizus*' un İkilenme Süresinin Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değışimi ($T = 30$ °C; $pH = 3,5$; $V_R = 100$ mL; $C_0 = 50$ mg/L Cd (II); $KH = 150$ rpm)



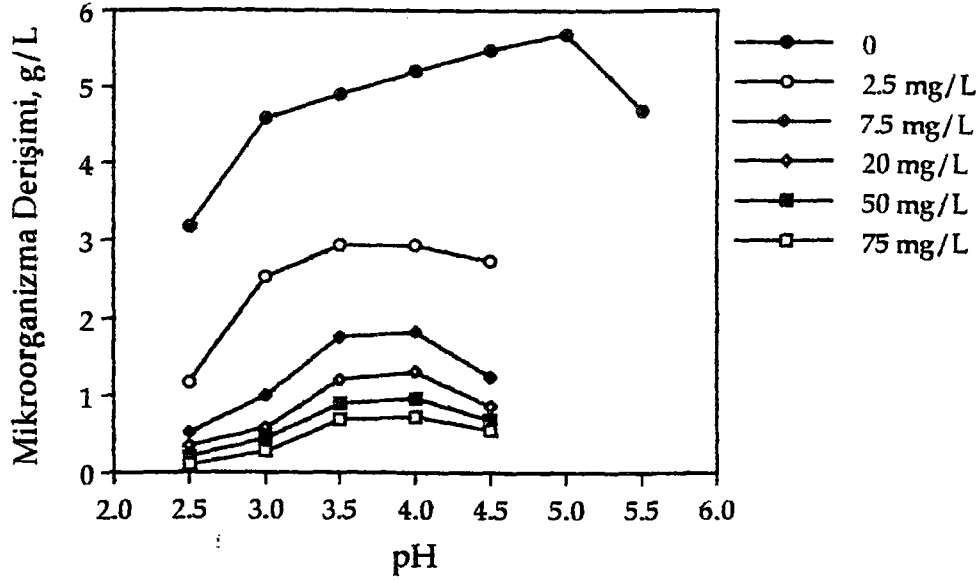
Şekil 4. 17. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH}=3,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$; $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)

4. 1. 2. Kurşun (II) iyonunun etkisi

4. 1. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi

Kurşun (II) iyonu bulunan ortamda *R. arrhizus*' un üremesi üzerine başlangıç pH'ının etkisi büyüktür. Karıştırma hızı, sıcaklık, sakkaroz derişimi ve metal derişimi sabit tutularak farklı başlangıç pH değerlerinde ($\text{pH} = 2,5-4,5$) *R. arrhizus* derişiminin değişimi Şekil 4. 18' de görülmektedir. Metalsiz ortamda ise pH aralığı 2,5-5,5 olarak seçilmiştir. Maksimum üreme, metalsiz ortamda $\text{pH}=5,0$ ' de, farklı başlangıç metal iyon derişimleri içeren ortamda ise, $\text{pH}=3,5-4,0$ ' de elde edilmiştir. Metalsiz ortamda $\text{pH}=5,0$ değerinden, farklı başlangıç metal iyonu bulunan ortamda ise, $\text{pH}=3,5-4,0$ değerinden daha yüksek pH değerlerinde üremede azalma gözlenmiştir. Ayrıca hem metalli hem de metalsiz ortamlarda düşük pH değerlerinin, *R. arrhizus* ' un üremesi üzerinde inhübe edici etki gösterdiği ve bu etkinin yüksek pH değerlerinde de ($\text{pH}=4,5$) geçerli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca *R. arrhizus*, ilk 52 saatte logaritmik fazda ürerken, daha sonra ise sabit faza geçmiştir

Başlangıç $\text{pH}=4,5$ değerinden daha yüksek pH değerlerinde kurşun (II) iyonları çıktığı için üreme çalışmaları yapılamamıştır.



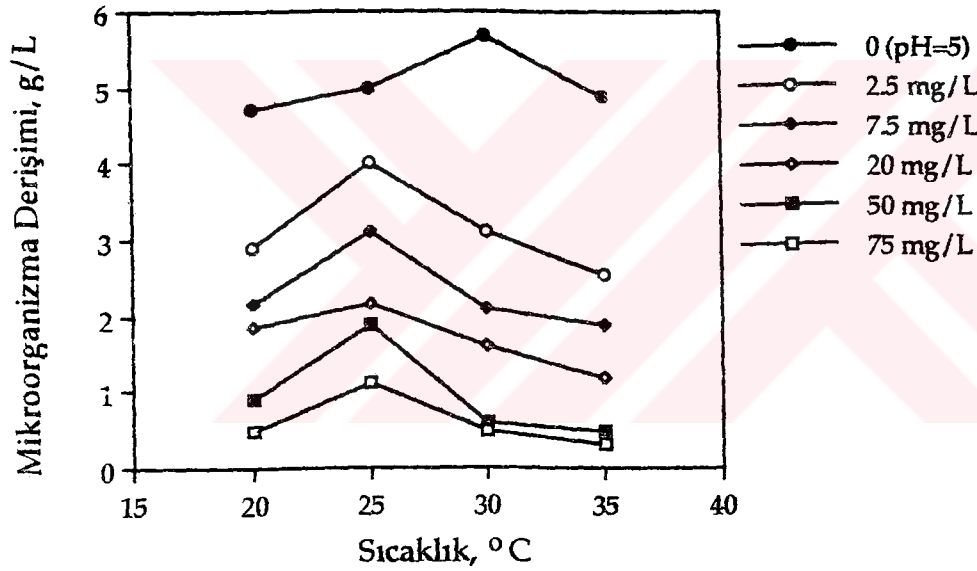
Şekil 4. 18. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin pH İle Değişimi (T=25 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

4. 1. 2. 2 Sıcaklığın etkisi

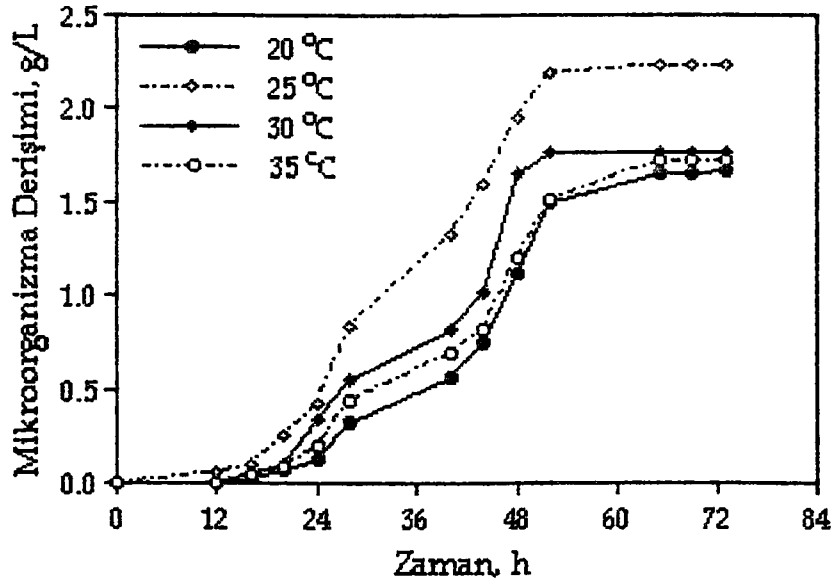
Kurşun (II) iyonu içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-40 °C aralığında araştırılmıştır. Mikroorganizma derişiminin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4. 19' da görülmektedir. *R. arrhizus*, kurşun (II) içeren ortamda optimum 25-30 °C' de üremektedir. Optimum sıcaklığın üzerinde; büyüme sıcaklığın artışıyla birlikte düşer ve daha sonra ölüm görülür. Sıcaklığın artışı *R. arrhizus*' un enzimatik yapısını bozduğu için; aktivitesini de durdurmaktadır. Bu durum; *R. arrhizus*' un üremesi sırasında kurşun (II) iyonlarını adsorplama yeteneğini de düşürmektedir.

R. arrhizus' un farklı derişimlerde kurşun (II) iyonu içeren üreme ortamında, farklı sıcaklıklarda ilk 52 saatte logaritmik fazda ürediği daha sonra ise mikroorganizma derişiminin sabit kaldığı Şekil 4. 20' den görülmektedir. *R. arrhizus*' un ilk 52 saatlik logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Ancak sıcaklık arttıkça mikroorganizma derişimi artarken özgül üreme hızı ise azalmaktadır (Şekil 4. 21.). *R. arrhizus*, optimum sıcaklıkta ortam şartlarını en

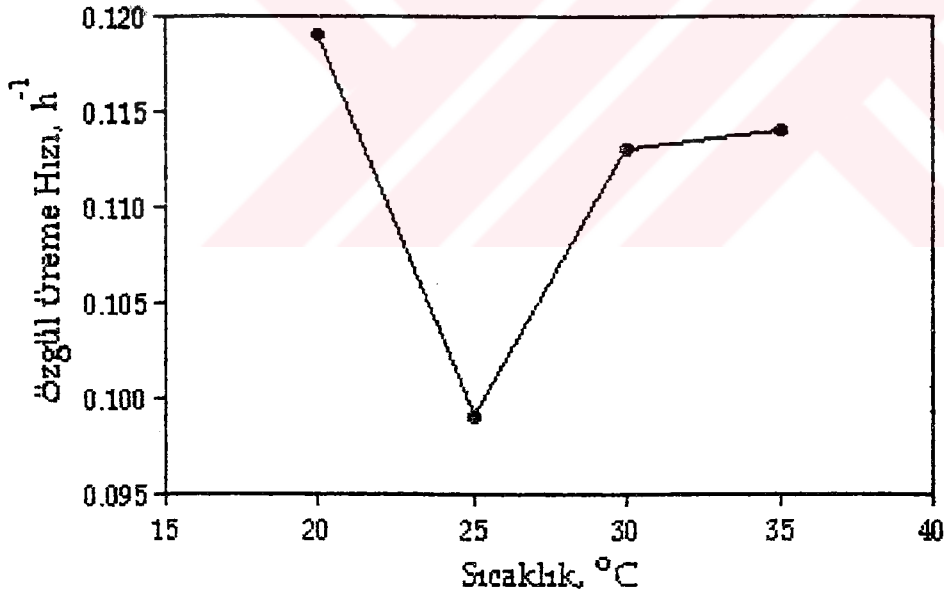
ideal şekilde kullanarak, hücre derişimini maksimuma çıkarmaktadır. Optimum sıcaklığın dışındaki sıcaklıklarda,, mikroorganizmanın üzerinde oluşan bir takım metabolik değişimler sonucu *R. arrhizus* hücre derişimini artırmaktan ziyade tüm aktivitesini logaritmik evreyi hızlı bir şekilde tamamlamak için kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak da optimum sıcaklıkta mikroorganizma derişimi maksimum olurken, üreme hızı diğer sıcaklıklara göre daha yavaş olmaktadır. Ayrıca *R. arrhizus* 30 °C sıcaklıkta substratı daha ekonomik kullanıp, logaritmik evreyi daha yavaş tamamlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda yüksek özgül üreme hızının bulunması metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorbsiyonunun fiziksel adsorbsiyon özellikleri göstermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 19. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH = 4; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 20 Farklı Sıcaklıklarda *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; KH = 150 rpm)



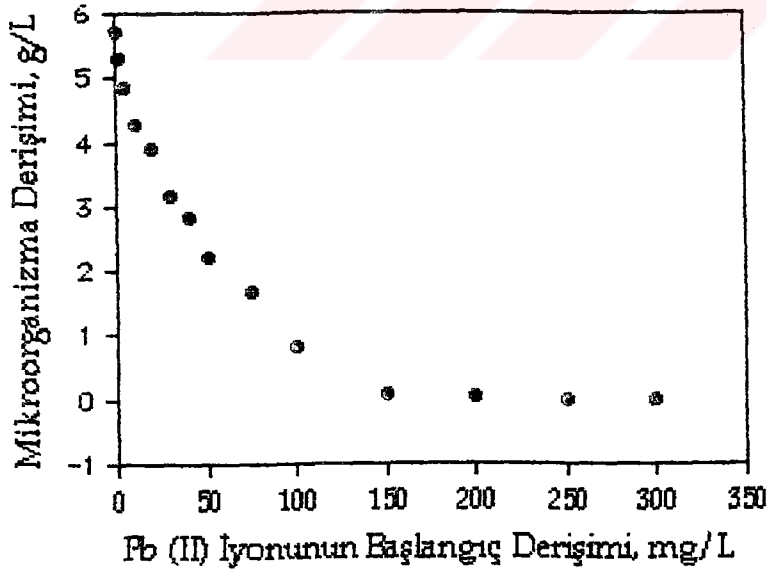
Şekil 4. 21. Sıcaklık Değişiminin Özgül Üreme Hızına Etkisi (pH = 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH = 150 rpm)

4. 1. 2. 3. Kurşun (II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi

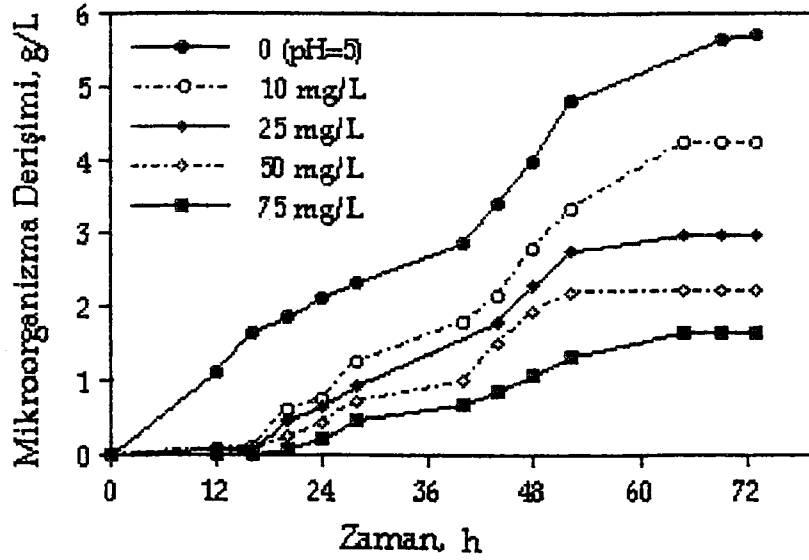
Başlangıç metal iyon derişimi, *R. arrhizus*' un üremesini etkileyen önemli bir parametredir. Daha önce verilen optimum pH ve sıcaklık değerlerinde; farklı başlangıç kurşun (II) derişimlerinde bir seri deney yapılarak *R. arrhizus*' un üremesi üzerine kurşun (II) iyon derişiminin etkisi araştırılmıştır.

Kurşun (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde, üreme ortamında bulunan kurşun miktarının artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç kurşun (II) iyon derişimlerinden başlayarak kurşun derişiminin 150 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise, üremenin çok az olduğu Şekil 4. 22' den görülmektedir.

R. arrhizus' un metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği; kurşun (II) iyonu içeren üreme ortamında ise ilk 20 saat adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği Şekil 4. 23 ' de görülmektedir. Adaptasyon fazının metalli ortamda daha uzun sürmesi ise mikroorganizmanın metal iyonlarının bulunduğu ortama uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir. Üremenin kurşun (II) iyon derişiminin artışı ile azalması kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus*' un üremesi üzerine inhibisyon etki yapmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. 22. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi (pH = 4; T= 25 °C; S₀ = 30 g/L; V_R = 100 mL; KH = 150rpm)



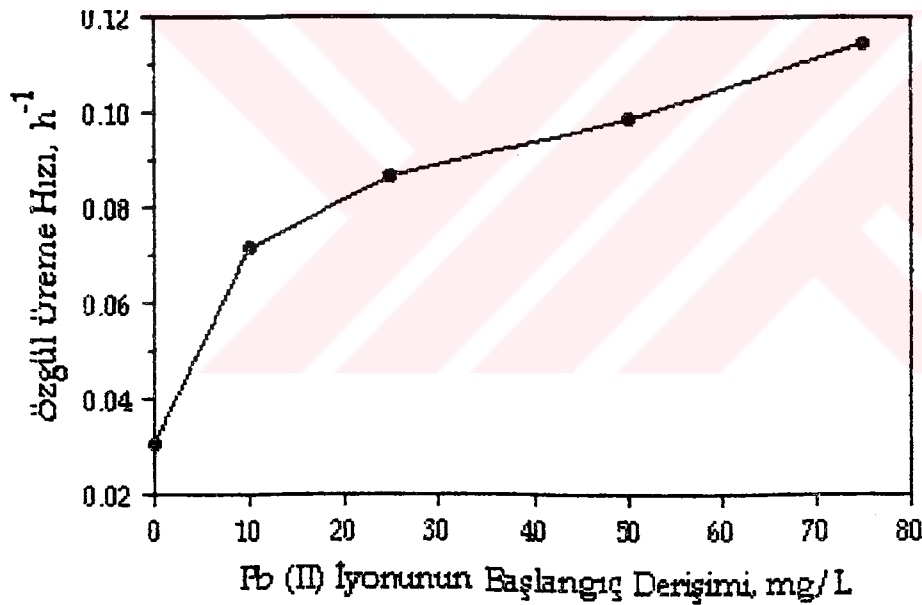
Şekil 4. 23. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4; T = 25 °C; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH= 150 rpm)

Üreme ortamında bulunan kurşun (II) iyon derişimleri arttıkça özgül üreme hızı azalmaktadır (Şekil 4. 24). Çünkü; ortamda metal iyon derişimi arttıkça *R. arrhizus* üzerinde bir takım metabolik değişimler gerçekleşmektedir. Böylece mikroorganizma; yüksek metal derişimlerinde, ağırlığını artırmak yerine, tüm aktivitesini logaritmik evreyi hızlı bir şekilde tamamlamak için kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak da düşük metal iyon derişimlerinde mikroorganizma derişimi daha fazla olurken, metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmakta, bu arada özgül üreme hızı ise artmaktadır.

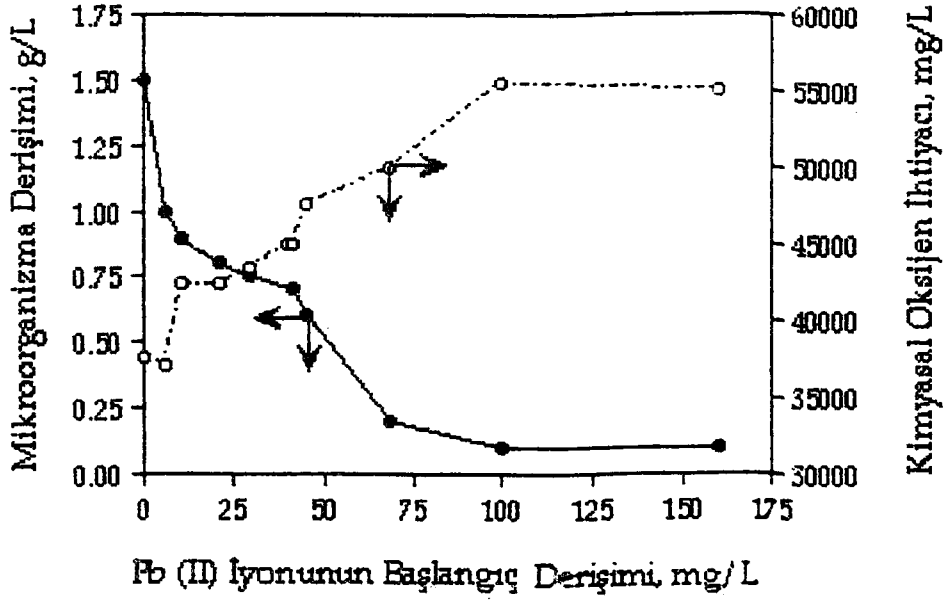
Sularda bulunan organik madde derişimine bağlı olarak mikroorganizma derişimi ile orantılı bir oksijen tüketimi ortaya çıkar. Bu durumda sularda oksijen ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal oksijen ihtiyacı, sudaki organik maddenin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici tarafından oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarını gösterir. Kimyasal oksijen ihtiyacı ile elde edilen oksijen ihtiyacı, genellikle suda bulunan mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sırasında sentez ve solunum için ihtiyaç duydukları miktardan daha fazladır.

Kurşun (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağı olarak kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4. 25). Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus* , besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kurşun (II) iyon derişimlerinin olduğu ortamda, kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Ortamda organik madde bulunmadığı için oksidasyon olayı gerçekleşmemektedir. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değişmektedir.

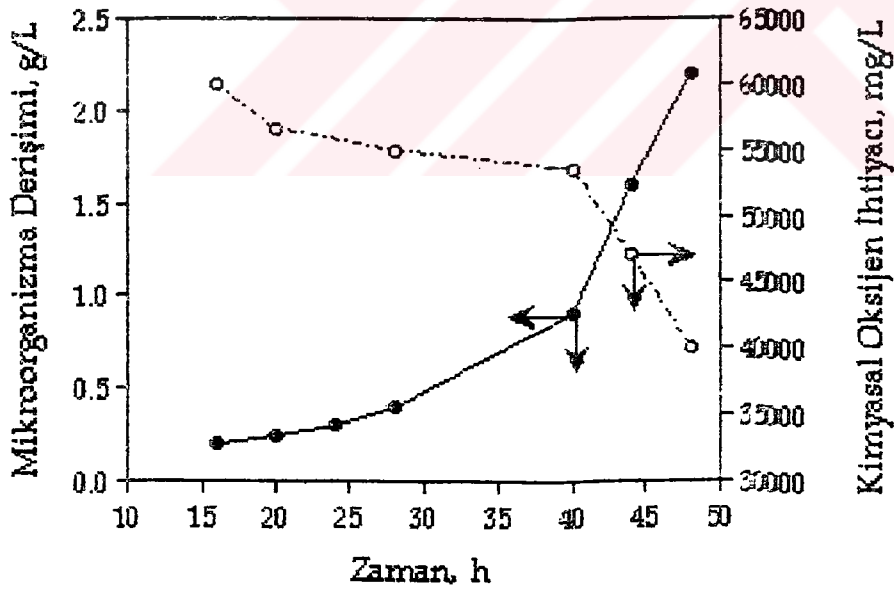
Zamanla üreyen *R. arrhizus* miktarı artarken, kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 26' dan görülmektedir. Ortamda bulunan organik madde *R. arrhizus* tarafından enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketilmektedir.



Şekil 4. 24. Kurşun (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgöl Üreme Hızına Etkisi (pH = 4; T = 25 °C; S₀ = 30 g/L; V_R = 100 mL; KH = 150 rpm)

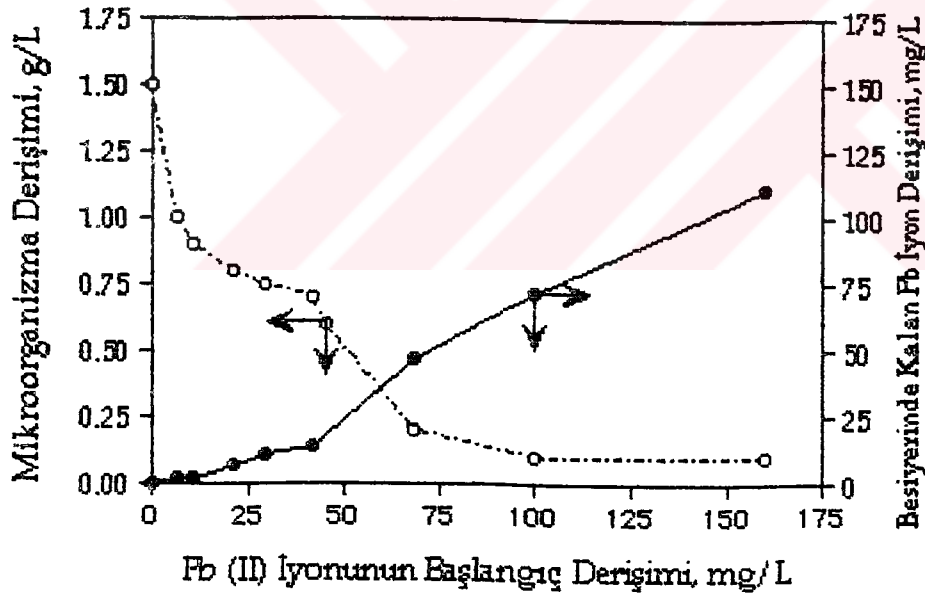


Şekil 4. 25. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Kurşun (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi (pH= 4; T= 25 °C; S_0 = 30 g/L; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L; KH= 150 rpm)

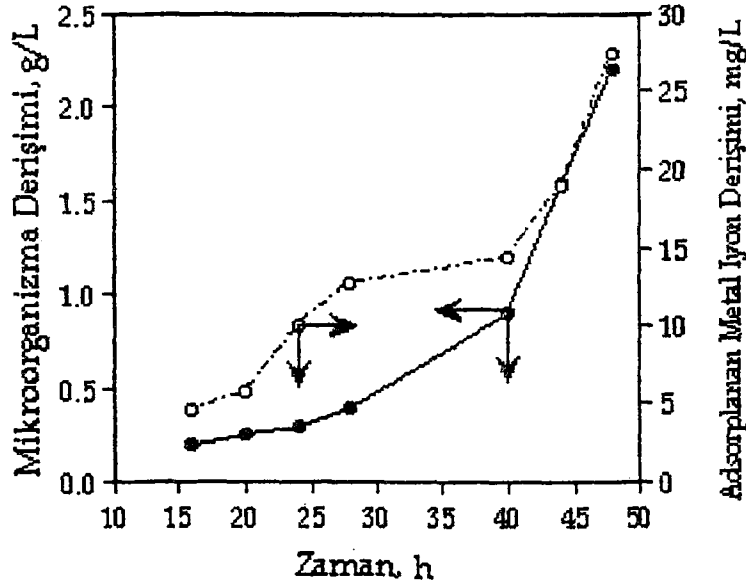


Şekil 4. 26. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi (pH= 4; T= 25 °C; S_0 = 30 g/L; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L; KH = 150 rpm)

Kurşun (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* üremesi tamamlandıktan sonra, üreme ortamında kalan kurşun (II) iyon derişimi ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 27' den görölmektedir. Kurşun (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal miktarı artmaktadır. Bunun nedeni ise, *R. arrhizus*, üremesi sırasında ortamda bulunan metali ya adsorplayarak uzaklaştırmakta ya da üremesi sırasında metabolik faaliyetleri için kullanmaktadır. Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Oysa metal derişiminin yüksek olduğu ortamlarda mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorplanan kurşun miktarı azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kurşun (II) iyon derişimi mikroorganizma derişimine bağılı olarak değişmektedir (Şekil 4. 27). Zamanla mikroorganizma derişimi artarken, mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da artmaktadır (Şekil 4. 28).

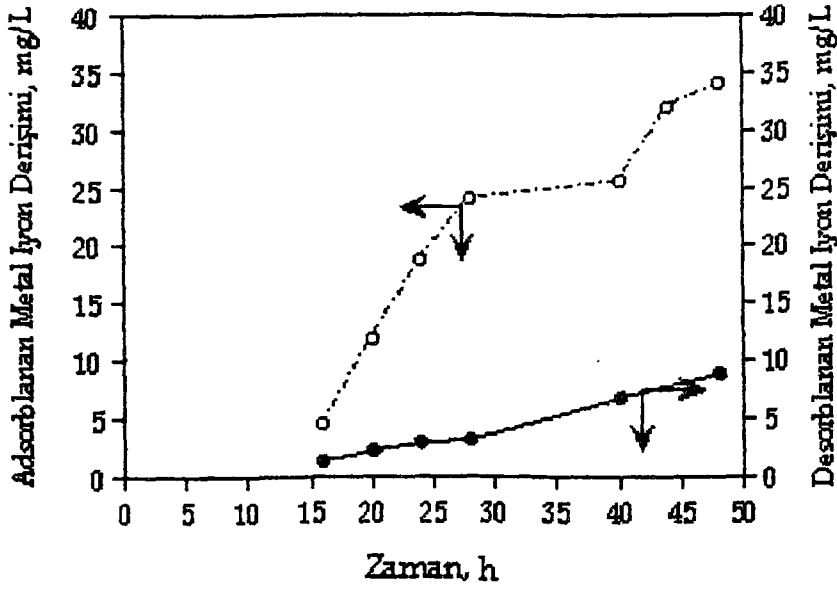


Şekil 4. 27. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (T = 25 °C; pH= 4; S₀= 30 g/L; V_R = 100 mL; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 28. Mikroorganizma Derişimi ve Mikroorganizma Tarafından Adsorblanan Metal İyon Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4; T= 25°C $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $C_0 = 50$ mg/L; KH = 150 rpm)

R. arrhizus üremesi sırasında, üreme ortamında bulunan kurşun (II) iyonlarını adsorplamaktadır. Ortamın asidik olması durumunda ise mikroorganizma tarafından adsorblanan metal iyonları desorblanmaktadır (Şekil 4. 29). Şekilden de görüldüğü gibi adsorblanan metal iyonları derişimi arttıkça asidik koşullarda desorplanan metal iyonları derişimi de artmaktadır. Fakat; mikroorganizmanın üremesi sırasında adsorblanan metal iyonlarının tamamı daha sonra desorblanamamaktadır. Çünkü *R. arrhizus*, üremesi sırasında metal iyonlarının bir kısmını adsorblarken, bir kısmını da metabolik aktiviteleri için kullanmaktadır. Metabolik aktiviteleri için kullanılan metal iyonları ortam asidik koşullarda dahi olsa desorblanamamaktadır. Desorblanan metal iyonları derişimi sadece mikroorganizmanın üremesi sırasında yüzeyine adsorbladığı metal miktarı kadardır.



Şekil 4. 29 Mikroorganizma Tarafından Adsorblanan ve Desorblanan Metal İyon Derişiminin Zamanla Değişimi ($pH=4$; $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $S_0=30\text{ g/L}$; $V_R=100\text{ mL}$; $C_0=50\text{ mg/L}$; $KH=150\text{ rpm}$)

4. 1. 2. 4. Başlangıç sakkaroz derişiminin değişimi

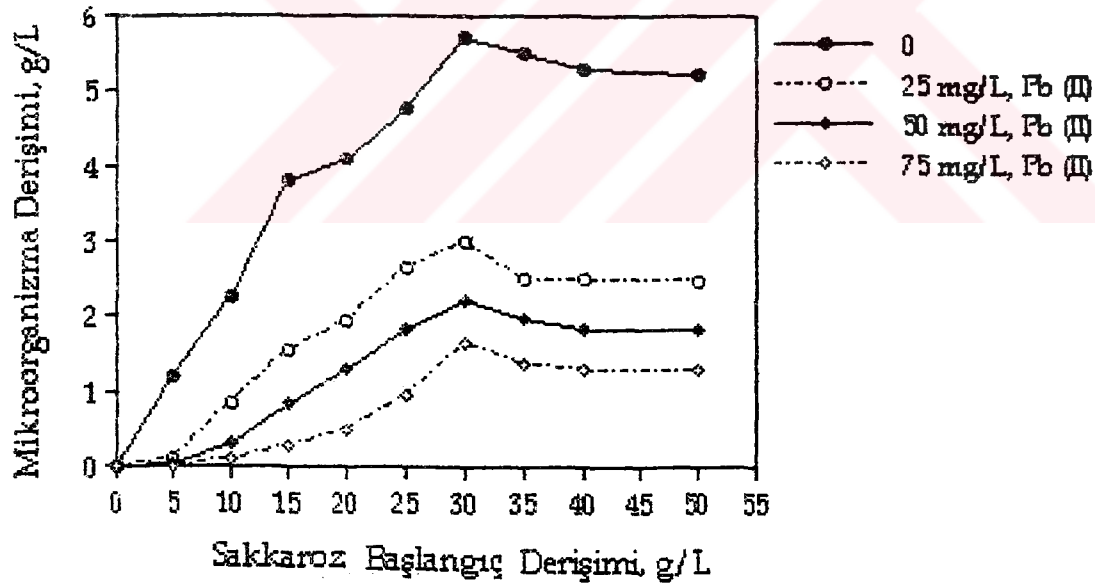
Besi maddesi derişimi mikroorganizmaların büyümelerini en az sıcaklık, pH ve başlangıç metal iyon derişimi kadar etkilemektedir. Üreme ortamında besi maddesi derişimlerinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük derişimler, mikroorganizmaların üremeleri üzerine sınırlama, yüksek derişimler ise, inhibisyon etkisi yapmaktadır. Bu tip inhibisyon genellikle rekabetsiz inhibisyonudur. Farklı sakkaroz derişimlerinde; sakkaroz miktarı arttıkça *R. arrhizus* derişimi artmaktadır. 30 g/L' ye kadar sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişimi artarken, 30 g/L' den daha büyük sakkaroz derişimlerinde ise mikroorganizma derişimi azalmaktadır. Sakkaroz miktarının aynı olmadığı koşullarda ise; metalli ortama alıştırılmadan ve metalli ortama alıştırılarak üretilen ve 72 saatte üreme tamamlandıktan sonraki *R. arrhizus* derişimi, metal derişiminin artışına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 4. 30).

Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişiminin ilk 52 saatte lineer değiştiği daha sonraki zamanlarda ise, yaklaşık sabitleştiği gözlenmiştir (Şekil 4. 31). Lineer bölgede elde edilen özgül üreme hızlarının

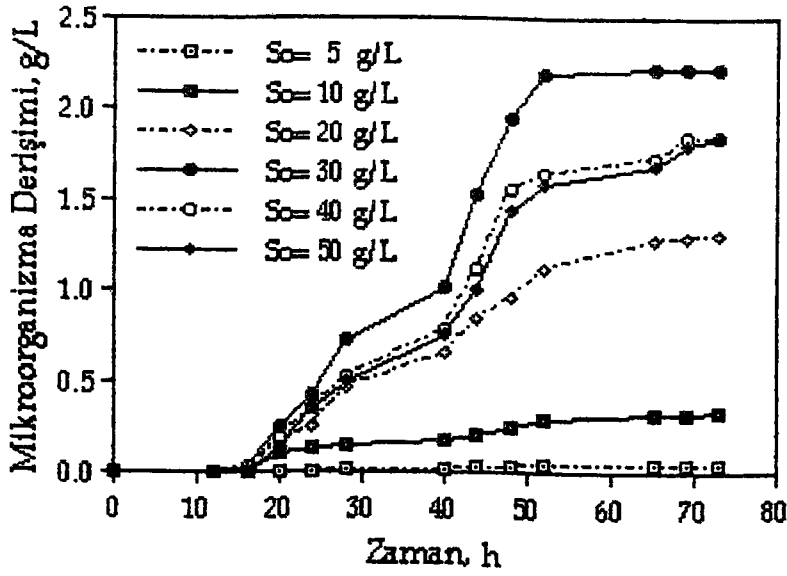
başlangıç sakkaroz derişimi ile değişiminde; ortamda bulunan sakkarozun düşük derişimlerinde hızlarının düşük olduğu, sakkaroz derişiminin artırılması ile hızların arttığı ve 30 g/L sakkaroz derişiminden sonra hızların azalmaya başladığı Şekil 4. 32' den görölmektedir. *R. arrhizus* 'un maksimum özgül üreme hızı (μ_m) ve substrat doygunluk derişimi (K_s) değerleri, Monod Eşitliği'nin tersi alınıp, $1/\mu'$ ye karşı $1/S_0$ grafiğe geçirilerek bulunmuştur. Bu grafikten $\mu_m = 0,0553 \text{ h}^{-1}$ ve substrat doygunluk derişimi $K_s = 4,917 \text{ g/L}$ olarak hesaplanmıştır..

Sakkarozun başlangıç derişimine bağlı olarak, ikilenme süresinin ($t_{1/2}$) değişimi Şekil 4. 33' den görölmektedir. Özgül üreme hızının tersine; ikilenme süresi; $S_0 = 30 \text{ g/L}$ değerine kadar azalmakta, daha sonra ise tekrar artmaya başlamaktadır.

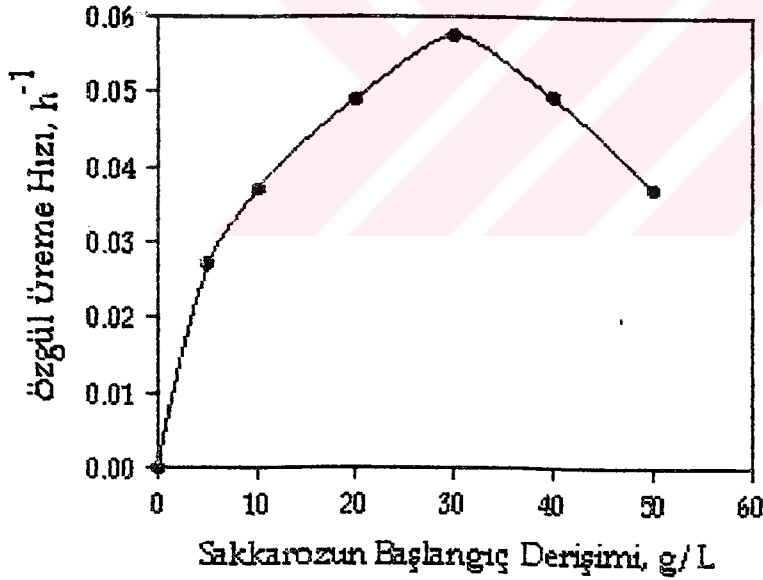
Sakkaroz derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi artmakta buna bağlı olarak da kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4. 34). Çünkü kimyasal oksijen ihtiyacı mikroorganizma derişimi ile değişmektedir.



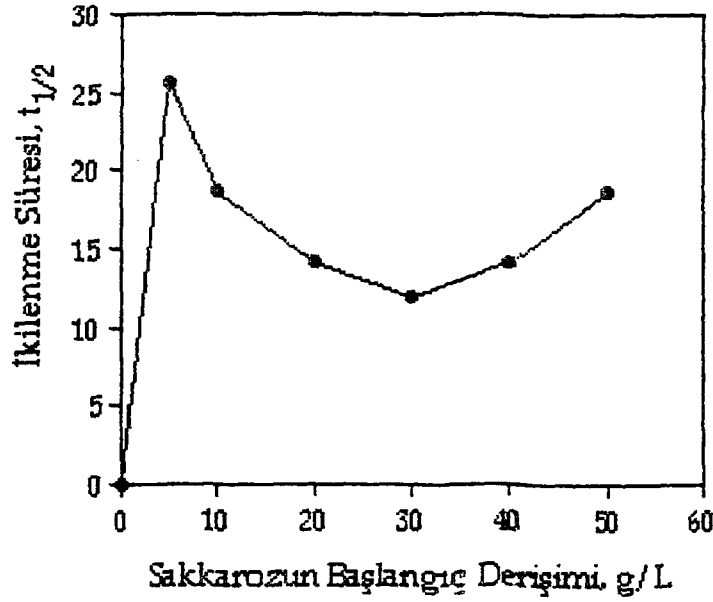
Şekil 4. 30. Kurşun (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunan Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi (pH= 4; T= 25 °C; V_R = 100 mL; KH=150rpm)



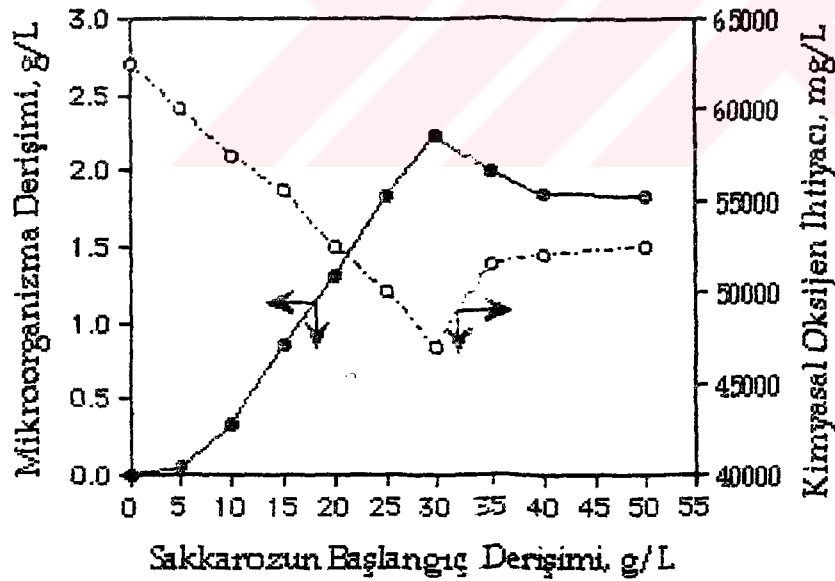
Şekil 4. 31. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 4; T = 25 °C; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L Pb (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 32. *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızının Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi (pH = 4; T = 25 °C; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L Pb (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 33. *R. arrhizus*'un İkilenme Süresinin Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi (pH= 4; T = 25 °C; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L Pb (II); KH = 150 rpm)



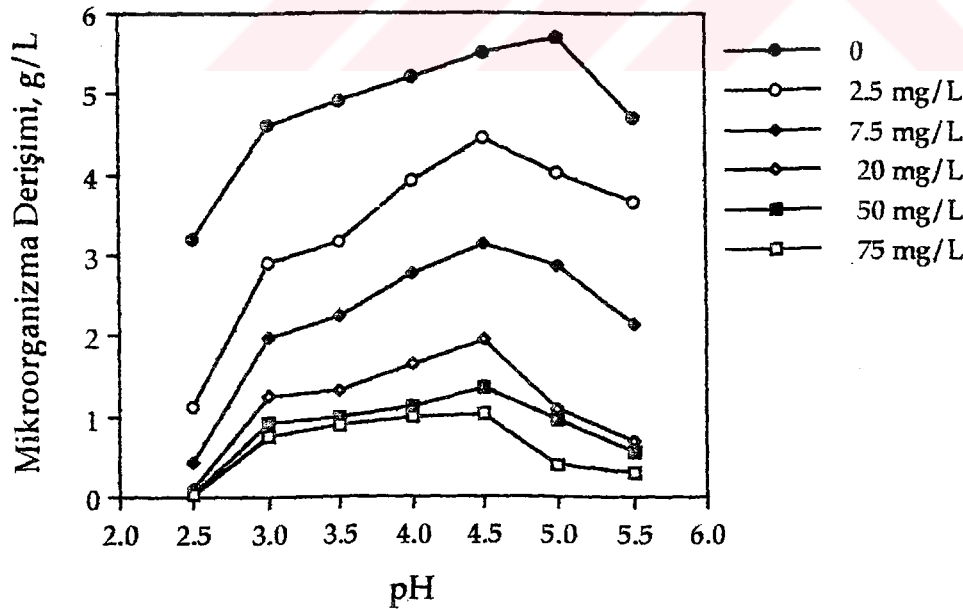
Şekil 4. 34. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 25 °C; V_R = 100 mL; C_0 = 50 mg/L, Pb (II); KH = 150 rpm)

4. 1. 3. Bakır (II) iyonunun etkisi

4. 1. 3. 1. Başlangıç pH' sının etkisi

Bakır (II) bulunan ortamda *R. arrhizus*' un üremesi üzerine başlangıç pH' sının etkisi büyüktür. Karıştırma hızı, sıcaklık, sakkaroz derişimi ve metal iyon derişimi sabit tutularak farklı başlangıç pH değerlerinde (pH= 2,5-5,5) mikroorganizma derişiminin değışimi Şekil 4. 35' de görölmektedir. Metal iyonu bulunmayan ortamda ise pH aralığı 2,5-5,5 olarak seçilmiştir. Maksimum üreme, metal iyonu bulunmayan ortamda pH= 5' de, metal iyonlarını farklı başlangıç derişimlerinde içeren ortamda ise, pH= 4,5' da elde edilmiştir. Metal iyonu bulunmayan ortamda pH= 5 değerinden, farklı başlangıç metal iyonu bulunan ortamda ise, pH= 4,5 değerinden daha yüksek pH değerlerinde üremede azalma gözlenmiştir. Ayrıca hem metal iyonu bulunan hem de metal iyonu bulunmayan ortamlarda düşük pH değerlerinin, *R. arrhizus*' un üremesi üzerinde inhibe edici etki gösterdiği ve bu etkinin yüksek pH değerlerinde de (pH= 5,5) geçerli olduğu gözlenmiştir. Ayrıca *R. arrhizus*, ilk 52 saatte logaritmik fazda, daha sonra ise sabit fazda üremiştir.

Başlangıç pH= 5,5 değerinden daha yüksek pH değerlerinde bakır (II) iyonları çöktüğü için üreme çalışmaları yapılamamıştır.

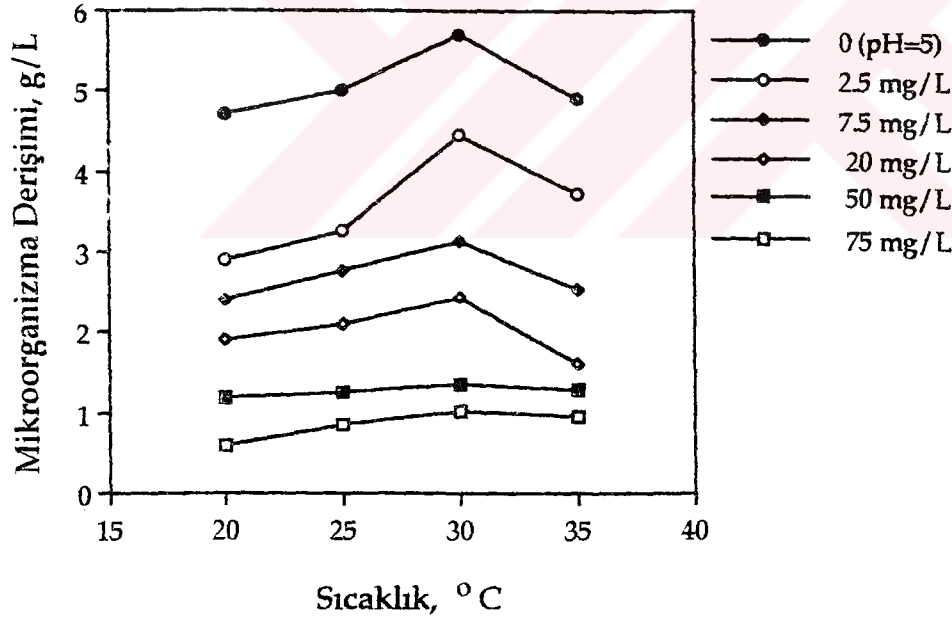


Şekil 4. 35. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunan Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin pH İle Değışimi (T=30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH= 150 rpm)

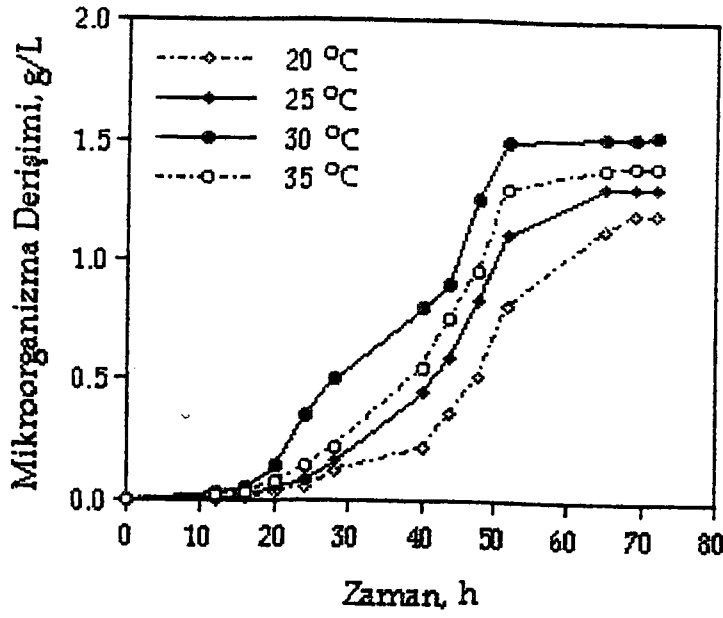
4. 1. 3. 2. Sıcaklığın etkisi

Bakır (II) iyonu içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-40 °C aralığında araştırılmıştır. Mikroorganizma derişiminin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 4. 36' da görülmektedir. *R. arrhizus*, bakır (II) iyonu içeren ortamda optimum 30 °C' de üremektedir. Optimum sıcaklığın üzerinde; büyüme sıcaklığın artışıyla birlikte düşer ve daha sonra ölüm görülür. Böylece *R. arrhizus*' un üremesi sırasında bakır (II) iyonlarını adsorplama yeteneği de düşer.

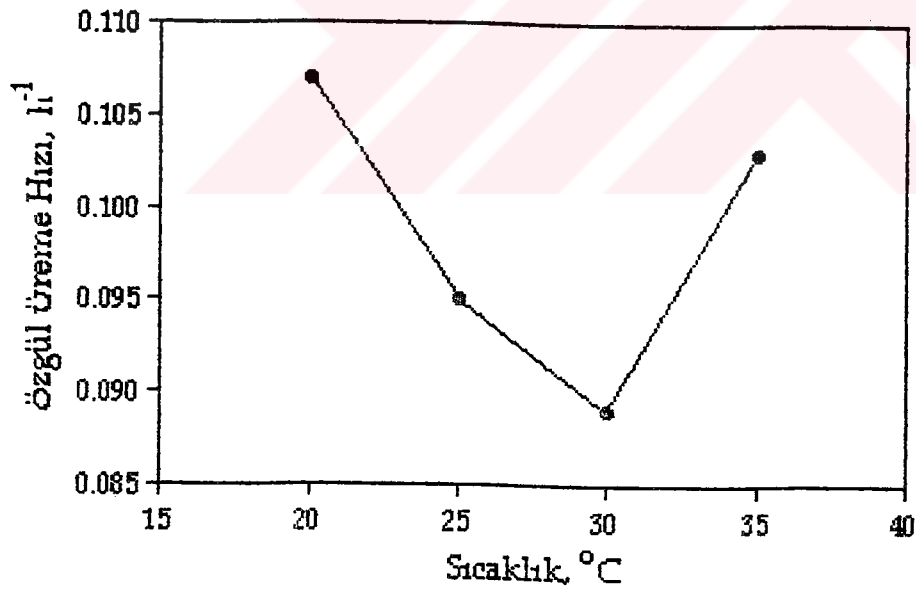
R. arrhizus' un farklı derişimlerde bakır (II) iyonu içeren üreme ortamında, farklı sıcaklıklarda ilk 52 saatte logaritmik fazda ürediği daha sonra ise mikroorganizma derişiminin sabit kaldığı Şekil 4. 37' den görülmektedir. *R. arrhizus*' un ilk 52 saatlik logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Ancak sıcaklık arttıkça mikroorganizma derişimi artarken özgül üreme hızı ise azalmaktadır (Şekil 4. 38.)



Şekil 4. 36. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerde Bulunduğu Ortamda Üreyen Mikroorganizma Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH = 4,5; $S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 37. Farklı Sıcaklıklarda *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4,5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; C_0 = 50 mg/L; KH=150 rpm)



Şekil 4. 38. Sıcaklık Değişiminin Özgöl Üreme Hızına Etkisi (pH = 4,5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH = 150 rpm)

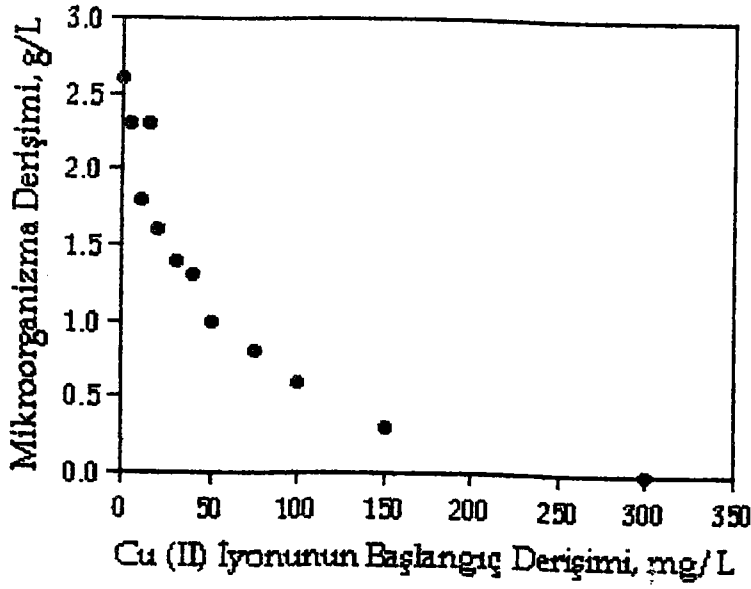
4. 1. 3. 3. Bakır (II) iyonunun başlangıç derişiminin üremeye etkisi

Metal iyonunun başlangıç derişimi, *R. arrhizus*' un üremesini etkileyen önemli bir parametredir. Daha önce verilen optimum pH ve sıcaklık değerlerinde; farklı başlangıç bakır (II) iyon derişimlerinde bir seri deney yapılarak *R. arrhizus*' un üremesi üzerine bakır (II) iyon derişiminin etkisi araştırılmıştır.

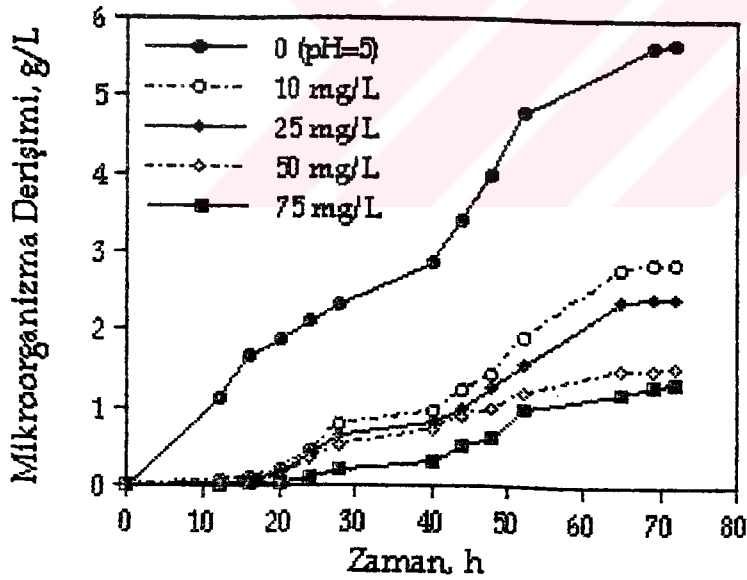
Bakır (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde, üreme ortamında bulunan bakır iyon derişiminin artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* derişimi azalmaktadır. Düşük başlangıç bakır (II) iyon derişimlerinden başlayarak bakır iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise üremenin çok az olduğu Şekil 4. 39' dan görülmektedir.

R. arrhizus' un metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği; bakır (II) iyonu içeren üreme ortamında ise, ilk 20 saat adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği Şekil 4. 40 ' da görülmektedir. Adaptasyon fazının metal iyonları bulunan ortamda daha uzun sürmesi ise mikroorganizmanın metal iyonlarının bulunduğu ortama uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir. Üremenin bakır (II) iyon derişiminin artışı ile azalması bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus*' un üremesi üzerine inhibisyon etki yapmasından kaynaklanmaktadır.

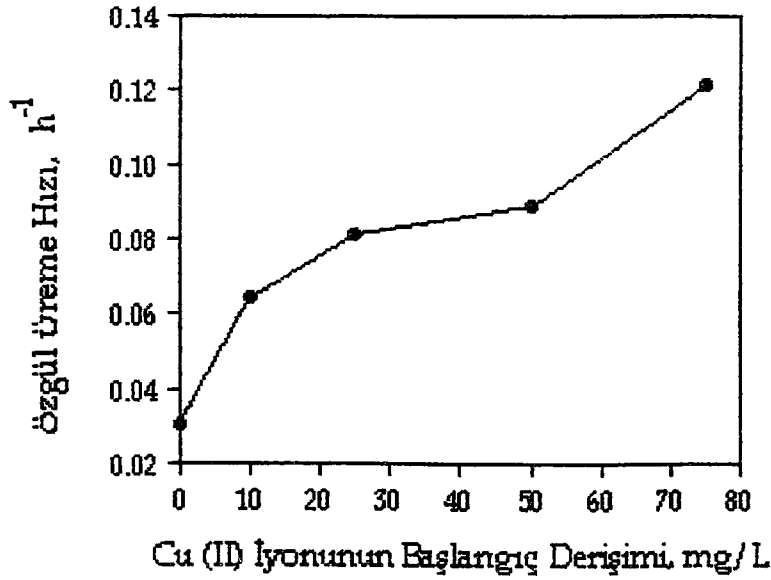
Üreme ortamında bulunan bakır (II) iyon derişimleri arttıkça özgül üreme hızı azalmaktadır (Şekil 4. 41). Çünkü; ortamda metal iyon derişimi arttıkça *R. arrhizus* üzerinde bir takım metabolik değişimler gerçekleşmektedir. Böylece mikroorganizma; yüksek metal iyon derişimlerinde, kütlesini artırmak yerine, tüm aktivitesini logaritmik evreyi hızlı bir şekilde tamamlamak için kullanmaktadır. Bunun sonucu olarak da düşük metal iyon derişimlerinde mikroorganizma derişimi daha fazla olurken, metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmakta, bu arada özgül üreme hızı ise artmaktadır.



Şekil 4. 39. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi ($pH=4,5$; $V_R=100$ mL; $S_0=30$ g/L; $T=30^\circ C$; $KH=150$ rpm)



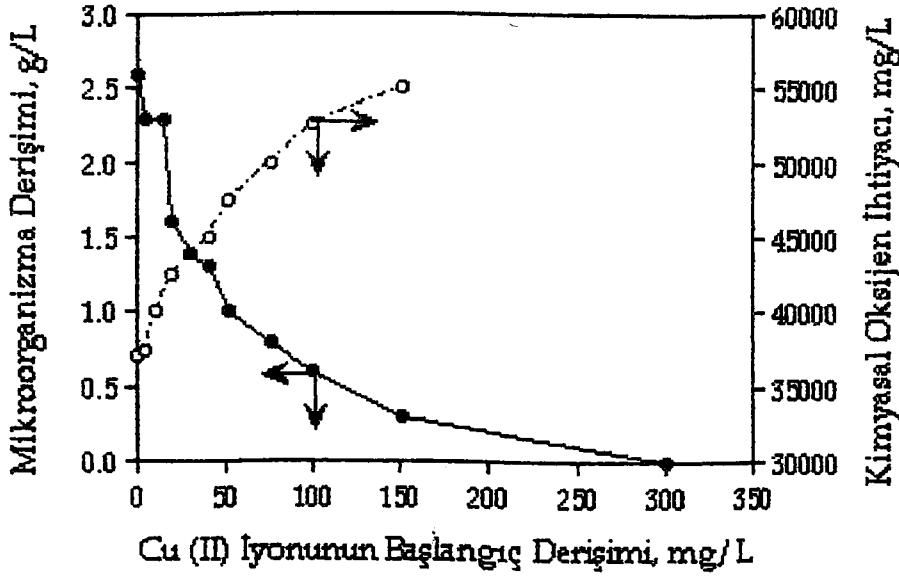
Şekil 4. 40. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($pH=4,5$; $T=30^\circ C$; $V_R=100$ mL; $S_0=30$ g/L; $KH=150$ rpm)



Şekil 4. 41. Bakır (II) İyonunun Başlangıç Derişimlerinin Özgül Üreme Hızına Etkisi (pH= 4,5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; T = 30 °C; KH= 150 rpm)

Sularda oksijen ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal oksijen ihtiyacı, sudaki organik maddenin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici tarafından oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarıdır. Kimyasal oksijen ihtiyacı ile elde edilen oksijen ihtiyacı, genellikle suda bulunan mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sırasında sentez ve solunum için ihtiyaç duydukları miktardan daha fazladır.

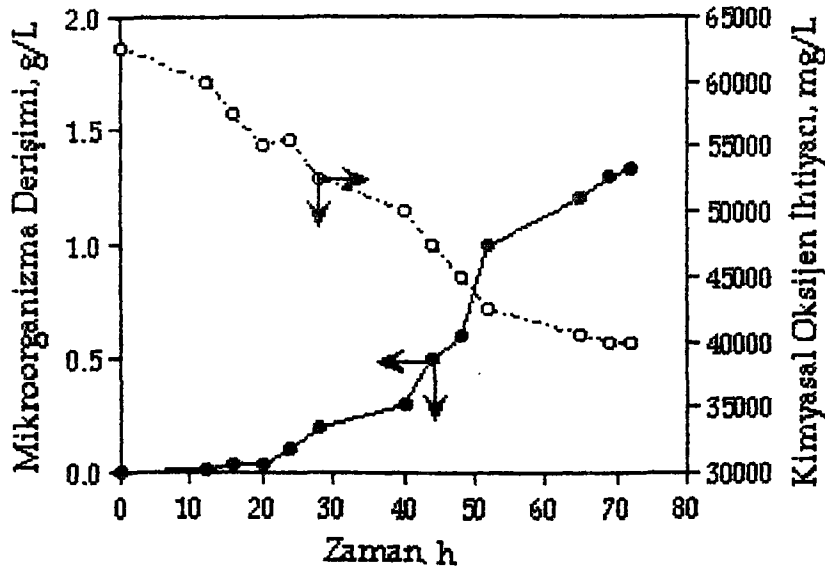
Bakır (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağlı olarak kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4.42). Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus*, besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç bakır (II) iyon derişimlerinin olduğu ortamda, kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Ortamda organik madde bulunmadığı için oksidasyon olayı gerçekleşmemektedir. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değişmektedir.



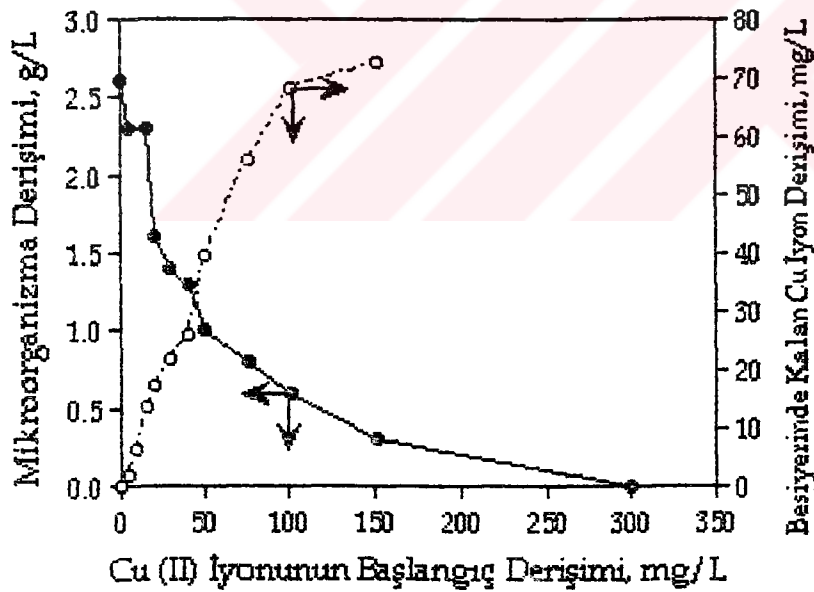
Şekil 4. 42. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Bakır (II) İyonunun Başlangıç Derişimiyle Değişimi (pH= 4,5; T= 30 °C, V_R = 100 mL; S_o = 30 g/L; C_o = 50 mg/L; KH= 150 rpm)

Zamanla üreyen *R. arrhizus* derişimi artarken, kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 43' den görülmektedir. Ortamda bulunan organik madde *R. arrhizus* tarafından enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketilmektedir.

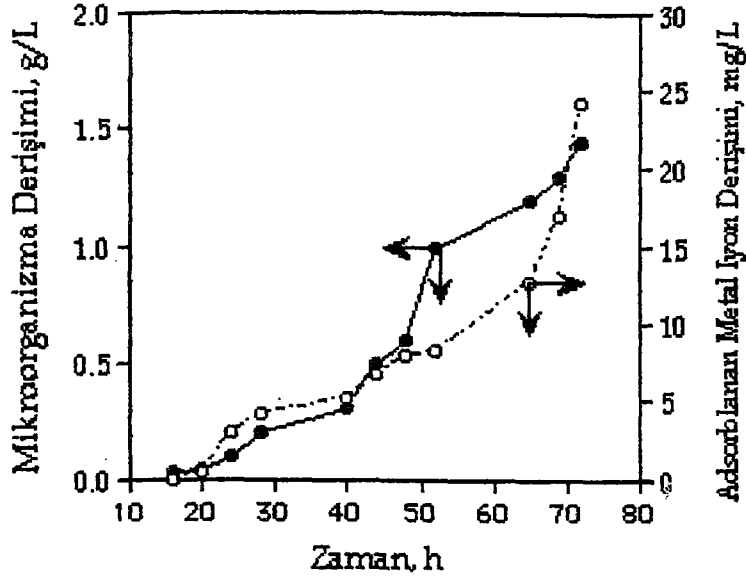
Bakır (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde *R. arrhizus* üremesi tamamlandıktan sonra, üreme ortamında kalan bakır (II) iyon derişimi ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 44' den görülmektedir. Bakır (II) iyonunun farklı başlangıç derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal iyon derişimi artmaktadır. Çünkü *R. arrhizus*, üremesi sırasında ortamda bulunan metal iyonunu ya adsorplayarak uzaklaştırmakta ya da üremesi sırasında metabolik faaliyetleri için kullanmaktadır. Metal iyonu içeren ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal iyon derişiminin de arttığını göstermektedir. Oysa metal iyon derişiminin yüksek olduğu ortamlarda mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorplanan bakır iyon derişimi azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan bakır (II) derişimi mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4. 44). Zamanla mikroorganizma derişimi artarken, mikroorganizma tarafından adsorplanan metal iyon derişimi de artmaktadır (Şekil 4. 45).



Şekil 4. 43. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Zamanla Değişimi ($pH = 4,5$; $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_R = 100\text{ mL}$; $S_0 = 30\text{ g/L}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$; $KH = 150\text{ rpm}$)

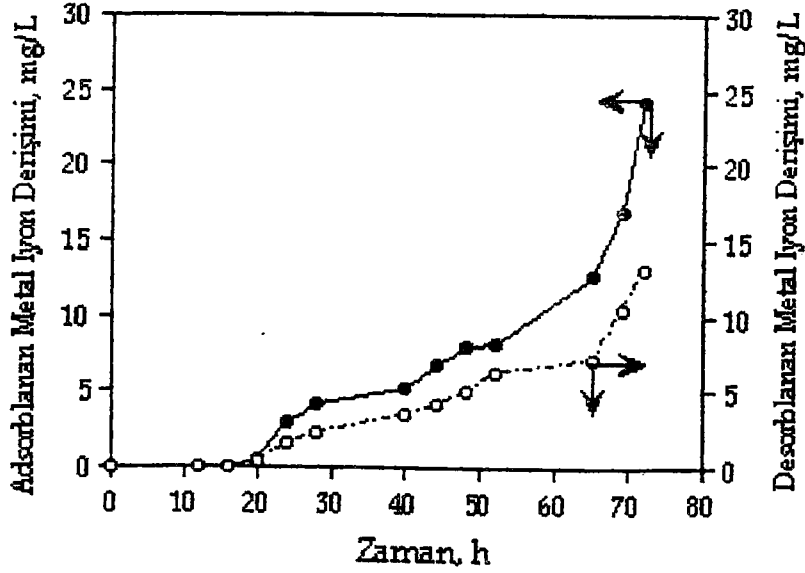


Şekil 4. 44. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde, Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $pH = 4,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $S_0 = 30\text{ g/L}$; $KH = 150\text{ rpm}$)



Şekil 4. 45. Mikroorganizma Derişimi ve *R. arrhizus* Tarafından Adsorplanan Metal İyon Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4,5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; C_0 = 50 mg/L; T = 30 °C; KH = 150 rpm)

R. arrhizus, üremesi sırasında, üreme ortamında bulunan bakır (II) iyonlarını adsorplamaktadır. Ortamın asidik olması durumunda ise, adsorplanan metal iyonları desorplanmaktadır (Şekil 4. 46). Şekilden de görüldüğü gibi adsorplanan metal iyon derişimi arttıkça asidik koşullarda desorplanan metal iyon derişimi de artmaktadır. Fakat mikroorganizmanın üremesi sırasında adsorplanan metal iyonunun tamamı daha sonra desorplanamamaktadır. Çünkü *R. arrhizus* üremesi sırasında metal iyonlarının bir kısmını adsorplarken, bir kısmını da metabolik aktiviteleri için kullanmaktadır. Metabolik aktiviteler için kullanılan metal iyonları ortam asidik koşullarda dahi olsa desorplanamamaktadır. Desorplanan metal iyon derişimi sadece mikroorganizmanın üremesi sırasında yüzeyine adsorpladığı metal miktarı kadardır.



Şekil 4. 46. Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan ve Desorplanan Metal İyon Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4,5; T = 30 °C; $V_R= 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; KH= 150 rpm)

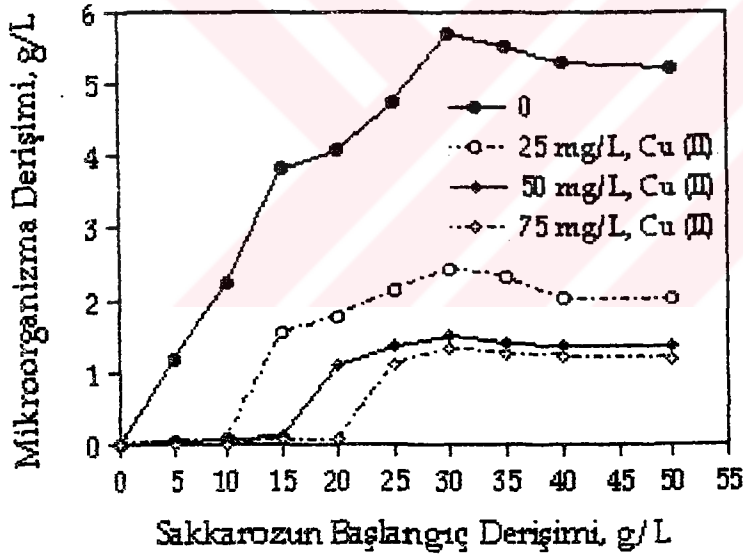
4. 1. 3. 4. Sakkarozun başlangıç derişiminin değişimi

Besi maddesi derişimi mikroorganizmaların büyümelerini en az sıcaklık, pH ve başlangıç metal iyon derişimi kadar etkilemektedir. Üreme ortamında besi maddesi derişimlerinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük derişimler, mikroorganizmaların üremeleri üzerine sınırlama; yüksek derişimler ise, inhibisyon etkisi yapmaktadır. Bu tip inhibisyon genellikle rekabetsiz inhibisyonudur. Sakkarozun farklı başlangıç derişimlerinde; sakkaroz miktarı arttıkça *R. arrhizus* derişimi artmaktadır. 30 g/L' ye kadar sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişimi artarken, 30 g/L' den daha büyük sakkaroz derişimlerinde ise mikroorganizma derişimi azalmaktadır. Sakkaroz miktarının aynı olmadığı koşullarda ise; metal iyonları içeren ortama alıştırılmadan ve metal iyonları içeren ortama alıştırılarak üretilen *R. arrhizus* derişimi, metal derişiminin artışına bağlı olarak azalmaktadır (Şekil 4. 47).

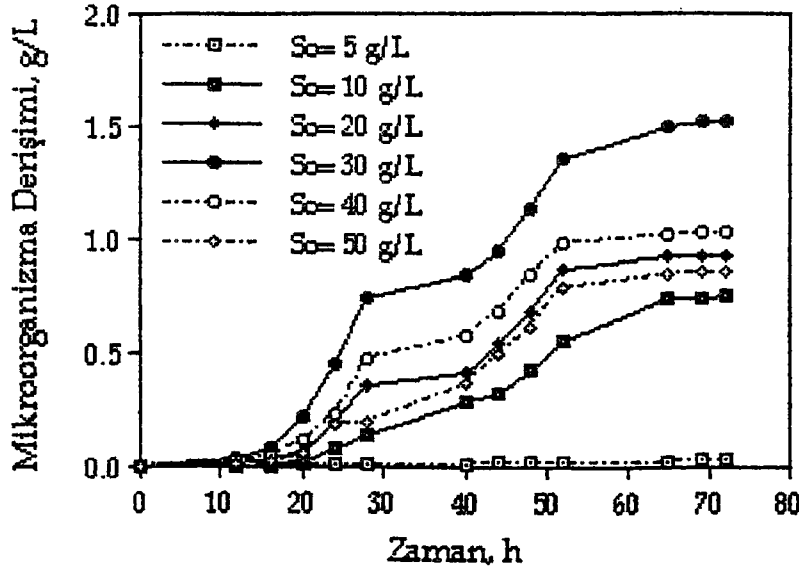
Farklı başlangıç sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişiminin ilk 52 saatte lineer değiştiği daha sonraki zamanlarda ise, yaklaşık sabitleştiği gözlenmiştir (Şekil 4. 48). Lineer bölgede elde edilen özgül üreme hızlarının başlangıç sakkaroz derişimi ile değişiminde; ortamda bulunan sakkarozun

düşük derişimlerinde hızlarının düşük olduğu, sakkaroz derişiminin arttırılması ile hızların arttığı ve 30 g/L sakkaroz derişiminden sonra hızların azalmaya başladığı Şekil 4. 49' dan görölmektedir. *R. arrhizus*'un maksimum özgül üreme hızı (μ_m) ve substrat doygunluk derişimi (K_s) değerleri, "Monod Eşitliği"nin tersi alınıp, $1/\mu'$ ye karşı $1/S_0$ grafiğe geçirilerek bulunmuştur. Bu grafikten $\mu_m = 0,0912 \text{ h}^{-1}$ ve substrat doygunluk derişimi $K_s = 6,166 \text{ g/L}$ olarak hesaplanmıştır.

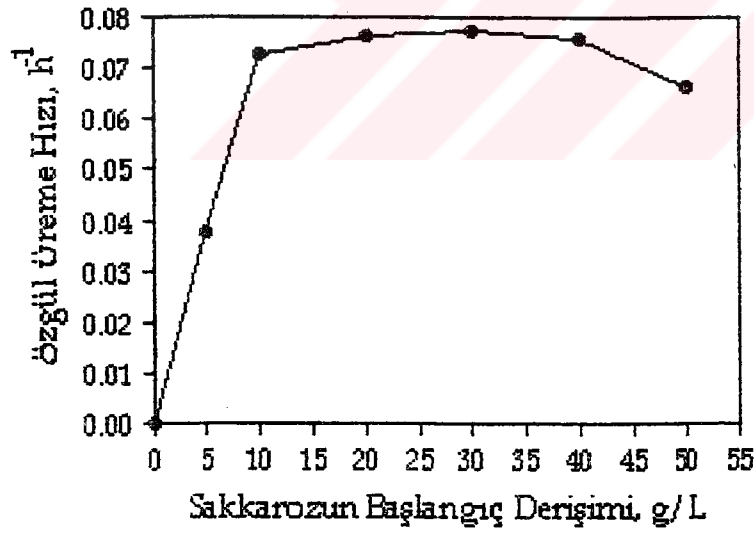
Sakkarozun başlangıç derişimine bağı olarak, ikilenme süresinin ($t_{1/2}$) değişimi Şekil 4. 50' den görölmektedir. Özgül üreme hızının tersine; ikilenme süresi; $S_0 = 30 \text{ g/L}$ değerine kadar azalmakta, daha sonra ise tekrar artmaya başlamaktadır. Sakkaroz derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi artmakta buna bağı olarak da kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 4. 51). Çünkü kimyasal oksijen ihtiyacı mikroorganizma derişimi ile değişmektedir.



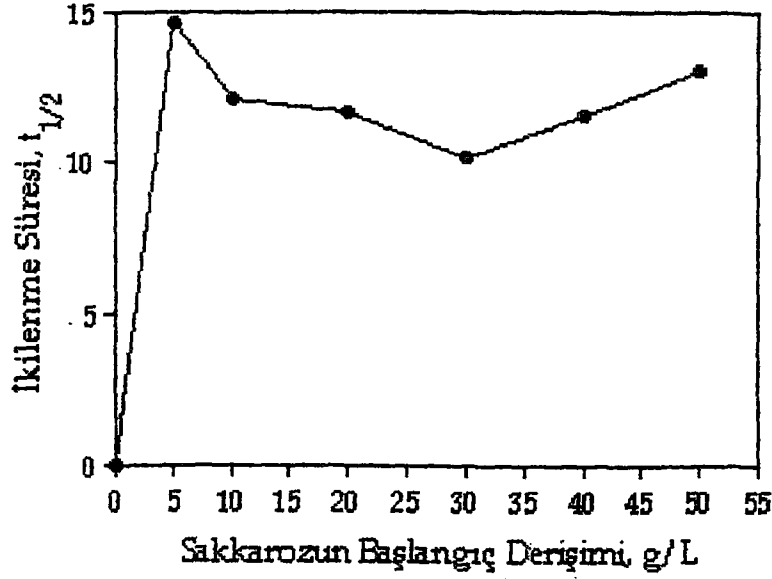
Şekil 4. 47. Bakır (II) İyonunun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Bulunduğu Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi ($T = 30^\circ \text{C}$; $\text{pH} = 4,5$; $V_R = 100 \text{ mL}$; $\text{KH} = 150 \text{ rpm}$)



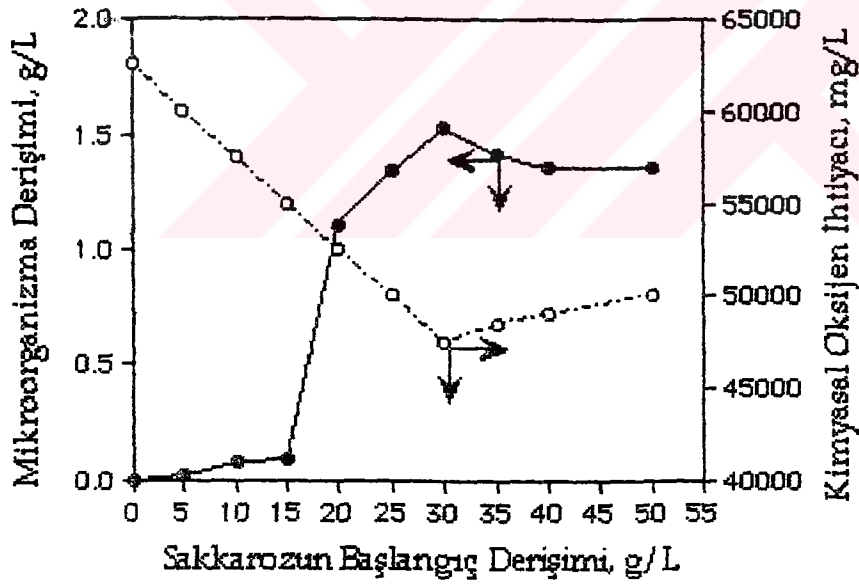
Şekil 4. 48. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 4,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$ Cu (II) ; $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)



Şekil 4. 49. *R. arrhizus* 'un Özgöl Üreme Hızının Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 4,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$ Cu (II) ; $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)



Şekil 4. 50. *R. arrhizus*' un İkilene Süresinin Sakkarozun Başlangıç Derişimi İle Değişimi ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 4,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$ Cu (II) ; $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)



Şekil 4. 51. Sakkarozun Farklı Başlangıç Derişimlerinde Kimyasal Oksijen İhtiyacı İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki ($T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 4,5$; $V_R = 100\text{ mL}$; $C_0 = 50\text{ mg/L}$, Cu (II) ; $\text{KH} = 150\text{ rpm}$)

4. 2. Kesikli Karıştırılmalı Reaktörde *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Birlikte Etkisi

Ağır metal iyonlarının her birinin mikroorganizmalar üzerindeki toksik etkisi ve mikroorganizmalarla giderilmesi üzerine bilinenler her geçen gün artarken, iki veya daha çok metalin mikroorganizmalar üzerindeki birleştirilmiş etkileri konusunda pek az şey bilinmektedir. Bu nedenle daha önceki bölümde herbirinin etkisinin ayrı ayrı incelediği metal iyonları, bu bölümde karıştırılarak incelenmiştir. Bu metal iyonlarının ayrı ayrı ve birleştirilmiş etkileri "Deneysel Bulguların Karşılaştırılması Bölümü" nde tartışılmıştır.

4. 2. 1. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının birlikte etkisi

4. 2. 1. 1. Başlangıç pH' sının etkisi

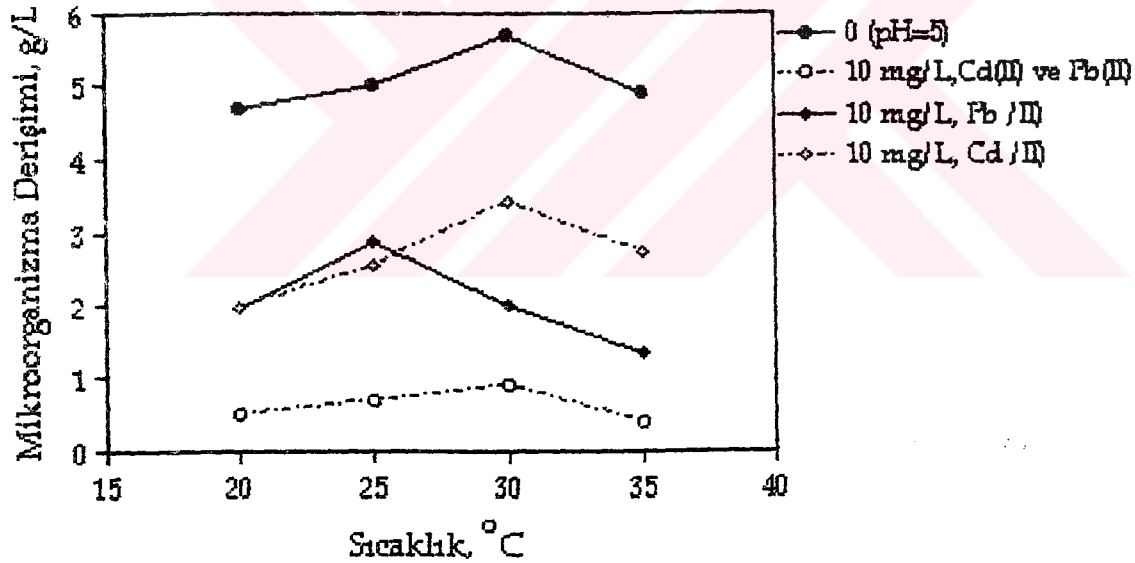
Ağır metal iyonlarını tek tek ve birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi üzerinde başlangıç pH' sı önemli bir parametredir. Karıştırma hızı, sıcaklık metal iyon derişimi ve sakkaroz derişimi sabit tutularak; farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde, kadmiyum (II) iyonu için pH= 3,5 (Şekil 4. 1), kurşun (II) iyonu için ise pH= 3,5-4 (Şekil 4. 15) aralığında maksimum üreme elde edilmiştir. Hem kadmiyum (II) hem de kurşun (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda ise her iki metalin tek tek bulunduğu koşullara uygunluğu açısından pH= 3,5 değerinde çalışılmıştır. pH= 4,5 değerinden daha yüksek pH aralığında kurşun (II) iyonları çöktüğü için üreme ortamında mikroorganizma üzerine birleştirilmiş metal iyonlarının etkisinden söz etmek mümkün değildir. Çünkü üreme ortamı bu koşullarda tek bileşenli forma dönüşmektedir. pH= 3,5 değerinde daha düşük pH değerlerinde ise üremede azalma görüldüğü için optimum pH olarak pH= 3,5 değeri seçilmiştir.

4. 2. 1. 2. Sıcaklığın etkisi

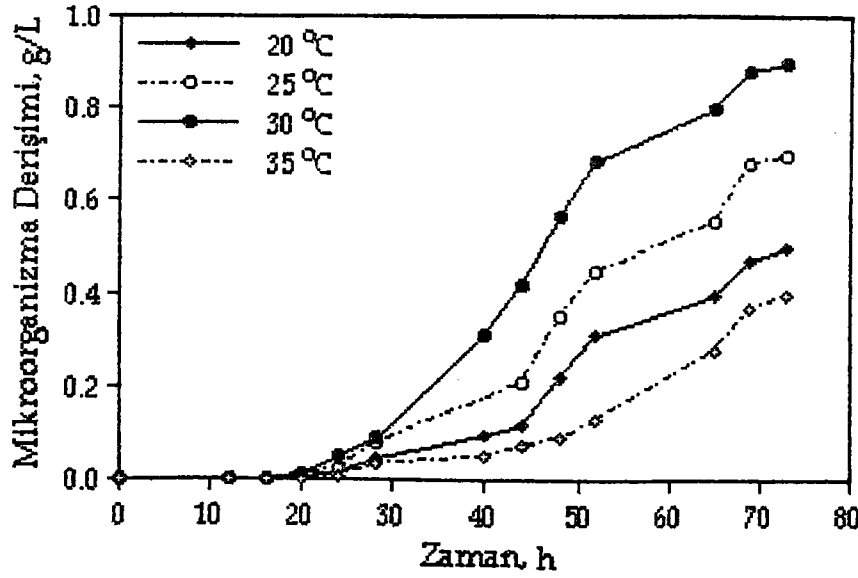
Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde (10 mg/L Cd (II) ve 10 mg/L Pb (II) iyonu) içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-35 ° C aralığında araştırılmıştır. Hem metal

iyonlarının bulunmadığı hem de her iki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu ortamda maksimum üreme 30 °C' da elde edilmiştir (Şekil 4. 52). Daha önceki bölümde; metallerin tek tek bulunduğu üreme ortamında kadmiyum (II) iyonu için maksimum sıcaklık 30 °C, kurşun (II) iyonu için ise 25 °C olarak bulunmuştur.

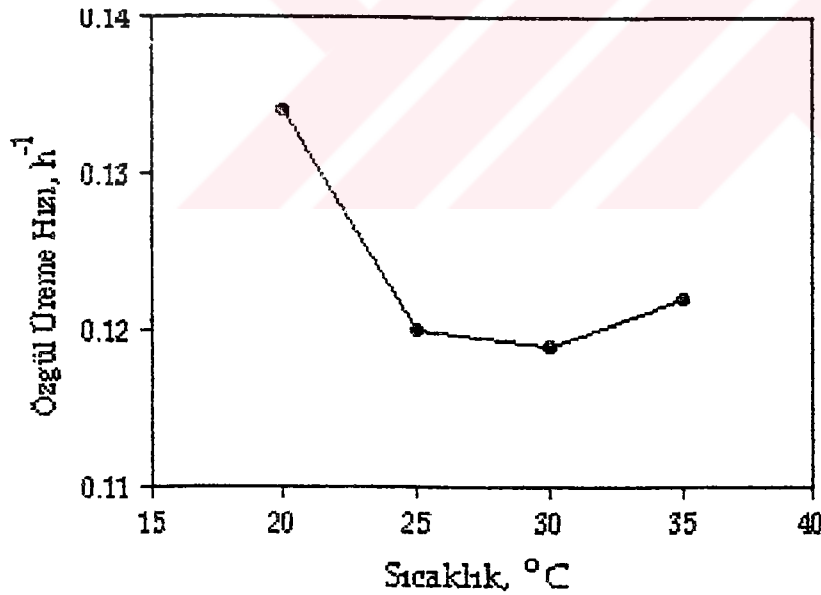
R. arrhizus' un kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında; ilk 28 saatte adaptasyon fazda, 28-52. saatte logaritmik fazda ve 52 saatten sonra ise sabit fazda ürediği Şekil 4. 53' den görülmektedir. Ağır metal iyonlarının her birinin ayrı ayrı bulunduğu üreme ortamında mikroorganizma logaritmik faza 16. saatten sonra ulaşmaktadır. Her iki metalin birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazı daha uzun olmaktadır. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda; *R. arrhizus*' un logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur (Şekil 4. 54).



Şekil 4. 52. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH= 3.5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH = 150 rpm)



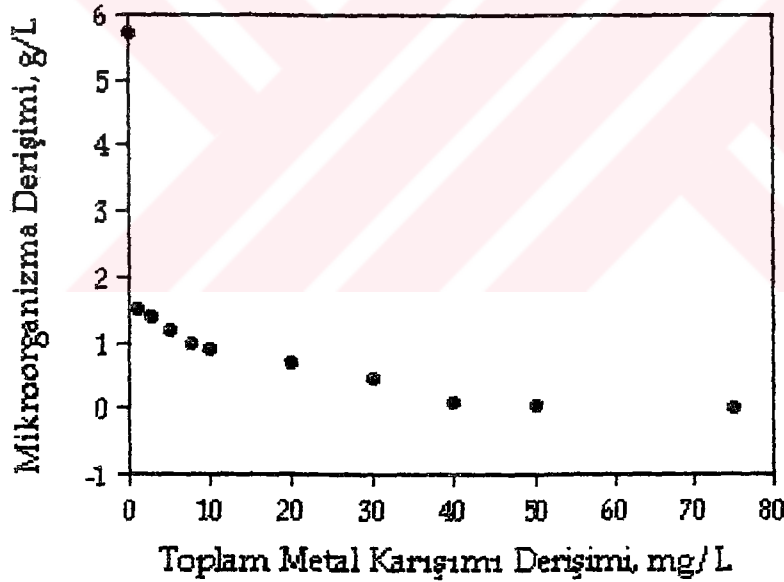
Şekil 4. 53. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 3.5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; $C(Cd)$ = 10 mg/L; $C(Pb)$ = 10 mg/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 54. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi (pH = 3.5; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; $C(Cd)$ = 10 mg/L; $C(Pb)$ = 10 mg/L; KH = 150 rpm)

4. 2. 1. 3. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının başlangıç derişimlerinin birlikte etkisi

Başlangıç kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; kadmiyum (II) ve kurşun (II) derişimlerinin eşit olarak artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyon derişimlerinden başlayarak 50 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise üremenin olmadığı gözlenmiştir. Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında ise üreme 100 mg/L değerine kadar azalmakta, daha yüksek derişimlerde ise üreme hemen hemen durmaktadır (Şekil 4. 55). Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesinin her iki metal iyon derişimlerinin artışına bağlı olarak azalması, her iki metal iyonlarının *R. arrhizus* üzerindeki inhibisyon etkisi sonucudur.

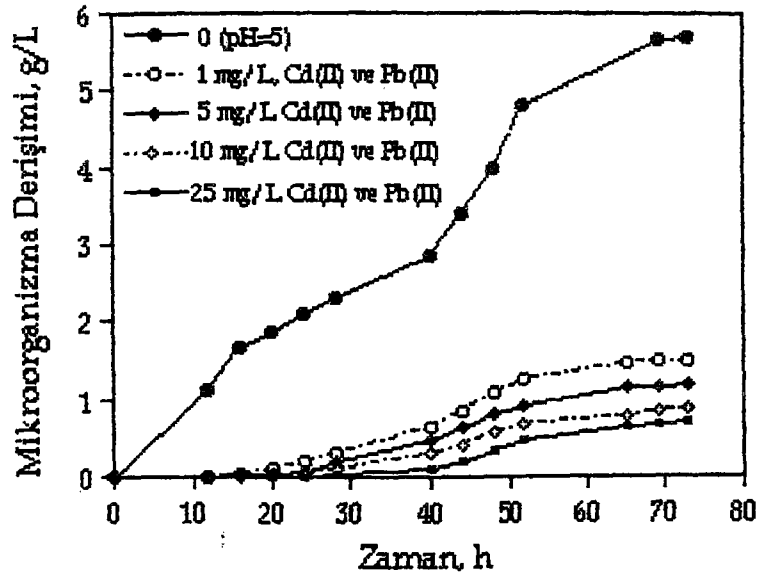


Şekil 4. 55. Başlangıç Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi (pH= 3.5; T= 30 °C; V_R= 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

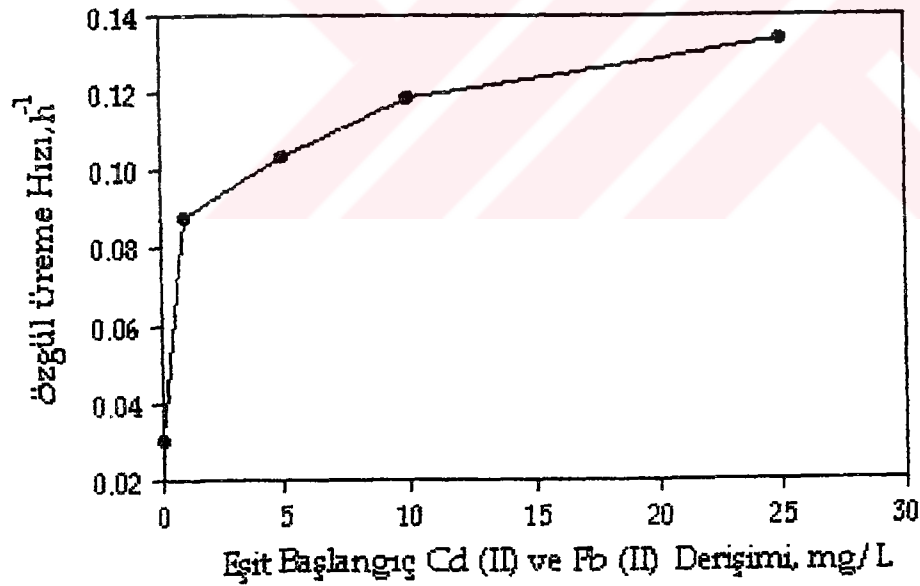
R. arrhizus, metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürerken; kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ise, ilk 28 saat adaptasyon fazda, 28-52. saatte ise logaritmik fazda üremektedir (Şekil 4. 56). Adaptasyon fazının hem metalsiz üreme ortamından hem de metalleri tek tek içeren üreme ortamından daha uzun sürmesi ise *R. arrhizus* ' un, her iki metal iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamına uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir.

R. arrhizus ' un kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Üreme ortamında eşit derişimlerde bulunan kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının düşük derişimlerinde özgül üreme hızı artarken, metal derişimlerinin artırılması ile özgül üreme hızı artmaktadır (Şekil 4. 57).

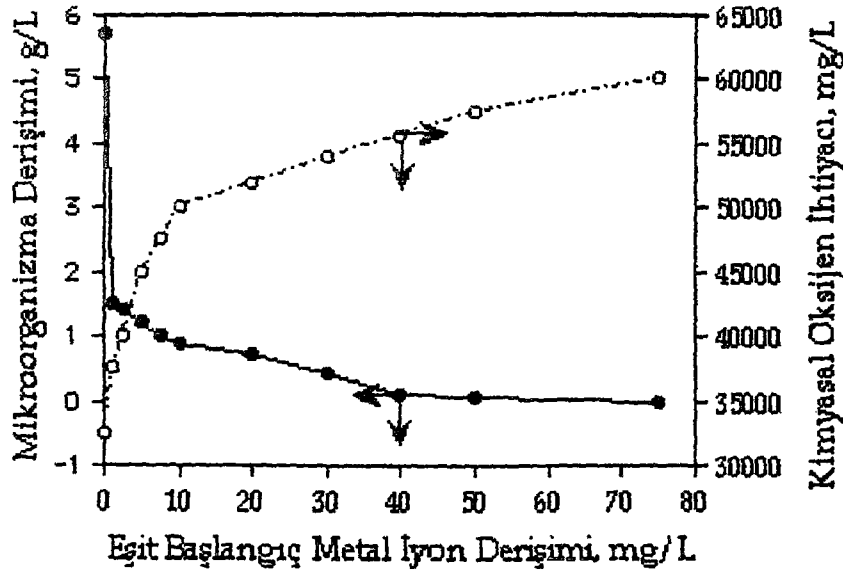
Eşit kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyon derişimleri içeren toplam metal iyonu derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağlı olarak kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 58' den görülmektedir. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus*, besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; metal iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında olduğu gibi; kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Bunun nedeni ise ortamda organik maddenin bulunmaması ve dolayısıyla da oksidasyon olayının gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değeri de değişmektedir.



Şekil 4. 56. Eşit Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

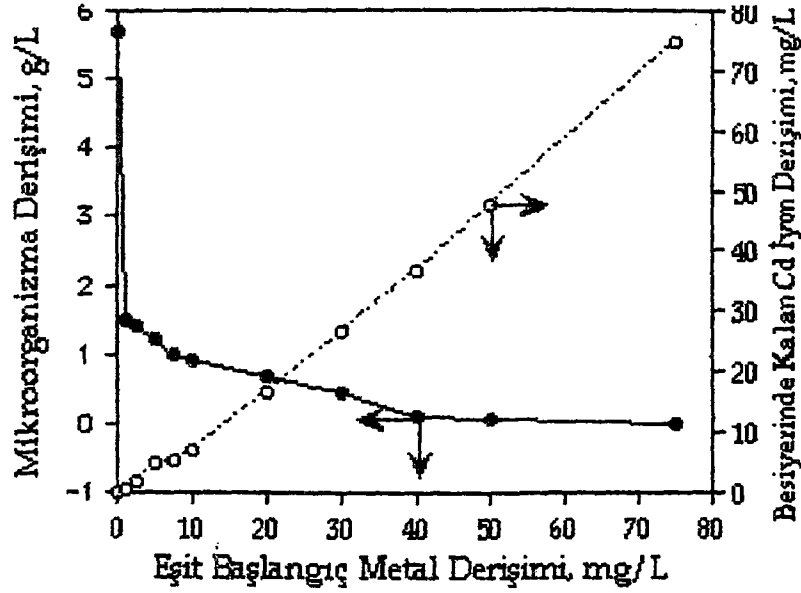


Şekil 4. 57. Eşit Başlangıç Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi (pH= 3.5; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

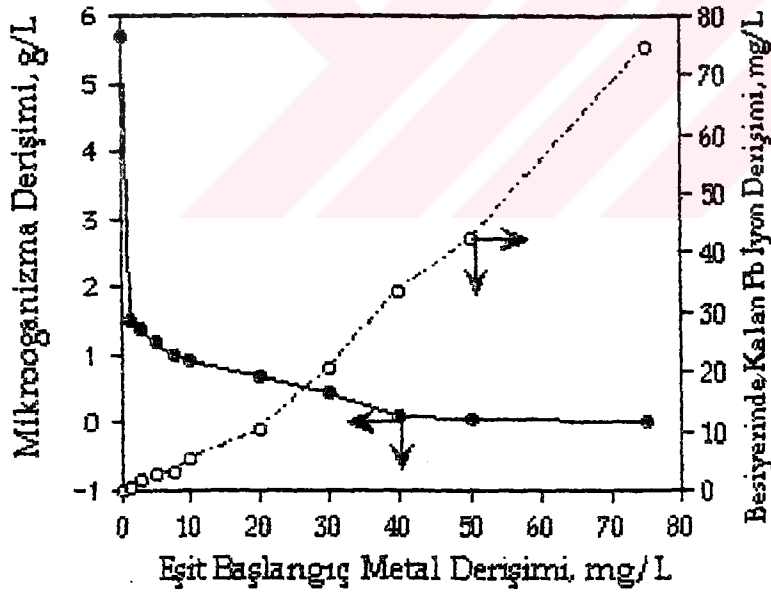


Şekil 4. 58. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Eşit Başlangıç Metal İyon Derişimleriyle Değişimi (pH= 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S₀= 30 g/L; KH= 150 rpm)

Başlangıç kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının eşit derişimlerini içeren üreme ortamında, *R. arrhizus* ' un üremesi tamamlandıktan sonra (72 saat); üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyon derişimleri ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 59 ve Şekil 4. 60' dan görülmektedir. Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal miktarı artmaktadır. Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Buna bağlı olarak metal derişiminin yüksek olduğu üreme ortamlarında mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyon derişimleri mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir. Bu durumun üreme ortamında metallerin tek tek bulunduğu koşullarda da geçerli olduğunu daha önceki bölümlerde açıklamıştık. *R. arrhizus* ; Üreme ortamında metaller tek tek bulundukları koşullarda, eşit derişimlerde birlikte bulundukları koşullara göre ağırlıkça daha fazla büyüdüğü için ortamda bulunan metalleri de daha fazla adsorplamaktadır. Çünkü ağır metal adsorbsiyonu mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4. 59. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH= 150 rpm)



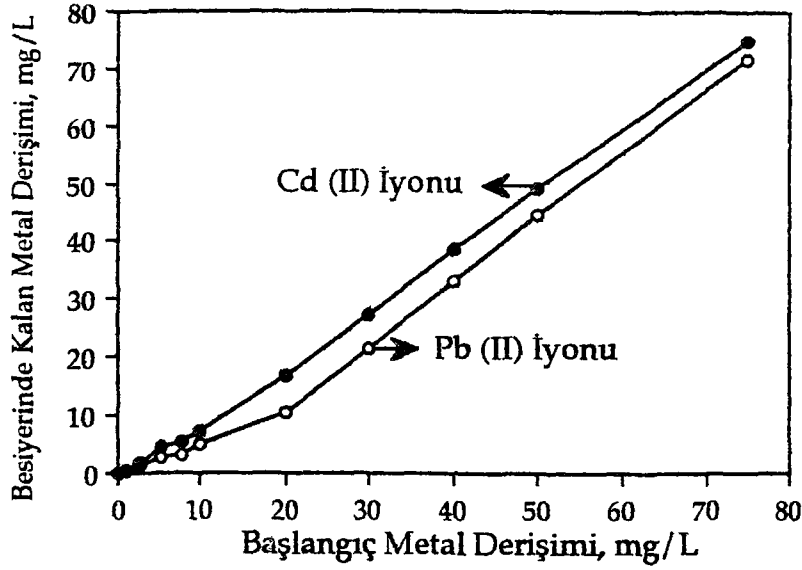
Şekil 4. 60. Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyonlarının Eşit Derişimlerini Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH = 150 rpm)

Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi tamamlandıktan sonra üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyon derişimleri ile başlangıçtaki metal derişimlerini incelediğimiz zaman *R. arrhizus* 'un kurşunu seçici olarak adsorpladığı Şekil 4. 61' den görölmektedir.

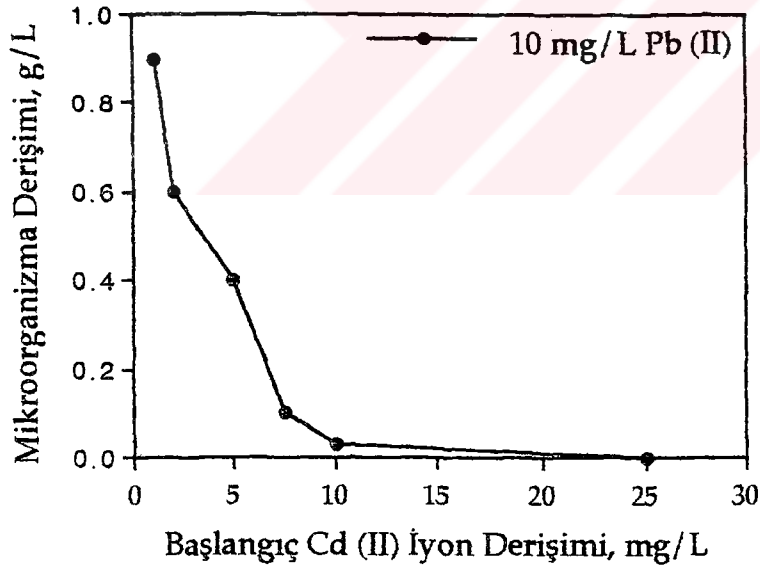
Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğı üreme ortamında metallerin birbirleri üzerine etkisini anlamak güç olduğundan metallerden birinin derişimi sabit tutulup, diğer metalin derişimi değiştirilerek metallerin birbirleri ve mikroorganizma derişimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarını birlikte içeren ikili metal iyonu karışım deneylerinde; başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilirken, kurşun (II) iyon derişimi her deney seti için sabit tutulmuştur. Daha sonra deney seti değiştirilerek başlangıç kurşun (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilip, kadmiyum (II) iyon derişimi sabit tutulmuştur. Sabit kurşun (II) iyon derişiminde başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin, *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi, Şekil 4.62' den; sabit kadmiyum (II) iyon derişiminde başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi ise, Şekil 4.63' den görölmektedir.

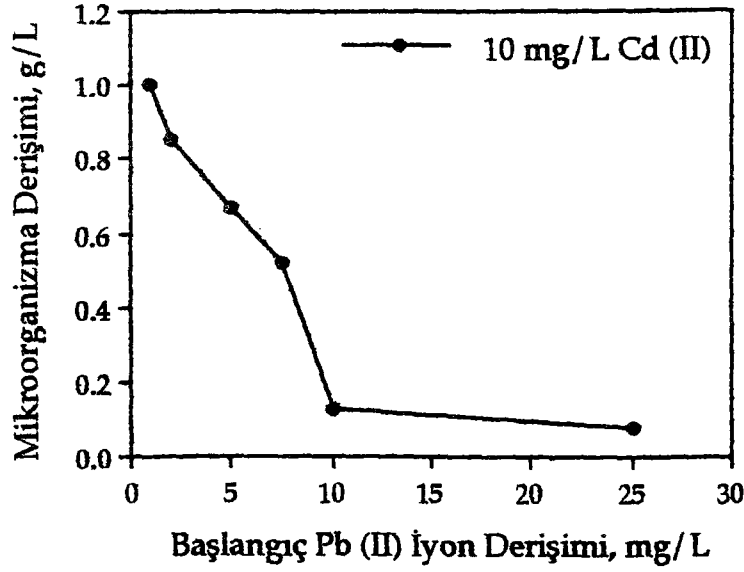
Pb (II) iyon derişimlerinin 0-25 mg/L aralığında değiştirildiğı, Cd (II) iyon derişimlerinin ise 10 mg/L' de sabit tutulduğu üreme ortamında, *R. arrhizus* daha fazla ürediğı Şekil 4. 64' den görölmektedir. Cd (II) iyonları, *R. arrhizus* 'un üremesini Pb (II) iyonlarına göre daha fazla sınırlandırıcı etkiye sahiptir. Her iki metal de mikroorganizmanın üremesi üzerine inhibisyon etkisi yapmasına rağmen Cd (II) iyonlarının inhibisyon etkisi Pb (II) iyonlarına göre daha yüksektir.



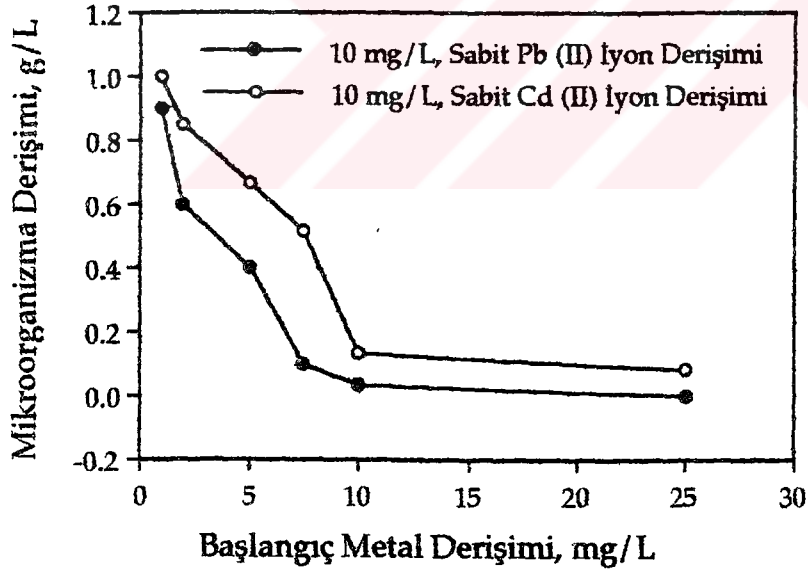
Şekil 4. 61 Başlangıç Eşit Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerini İçeren Karışımlar İle Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki (pH = 3.5; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 62. Sabit Kurşun (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 3.5; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; C₀ = 10 mg/L Pb (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 63. Sabit Kadmiyum (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH= 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; C_0 = 10 mg/L Cd (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 64. Sabit Kadmiyum (II) ve Kurşun (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) ve Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH= 3.5; T= 30 °C; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; C_0 = 10 mg/L Cd (II) ve Pb (II); KH= 150 rpm)

4. 2. 2. Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi

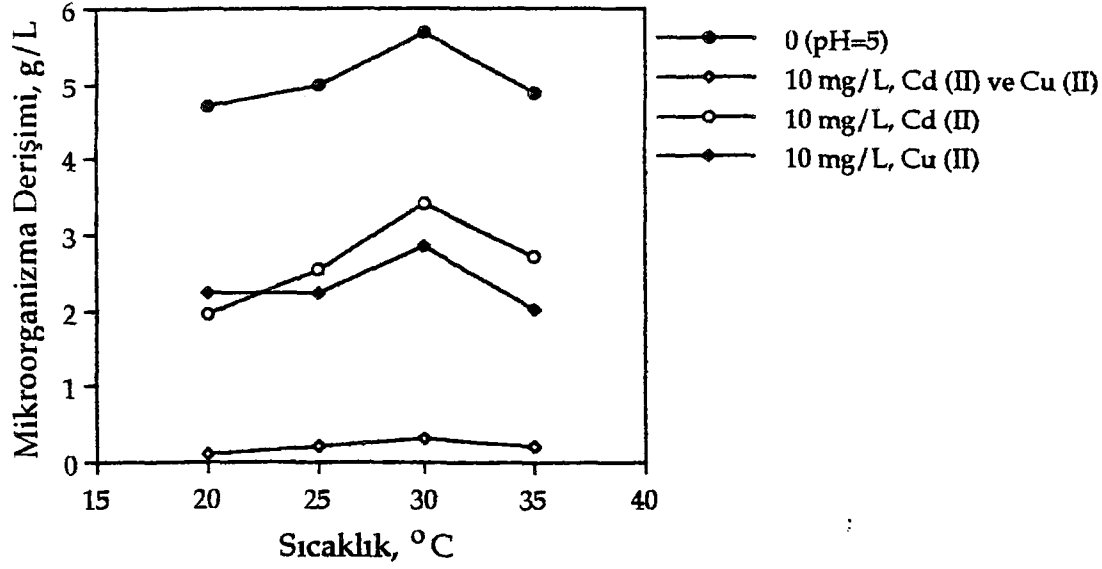
4. 2. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi

Karıştırma hızı, sıcaklık metal derişimi ve sakkaroz derişimi sabit tutularak; farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde, kadmiyum (II) iyonu için pH= 3,5 (Şekil 4. 1), bakır (II) iyonu için ise pH= 4,5 (Şekil 4. 15)' da maksimum üreme elde edilmiştir. Hem kadmiyum (II) hem de bakır (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda ise her iki metalin tek tek bulunduğu koşullara uygunluğu açısından pH= 4 değerinde çalışılmıştır.

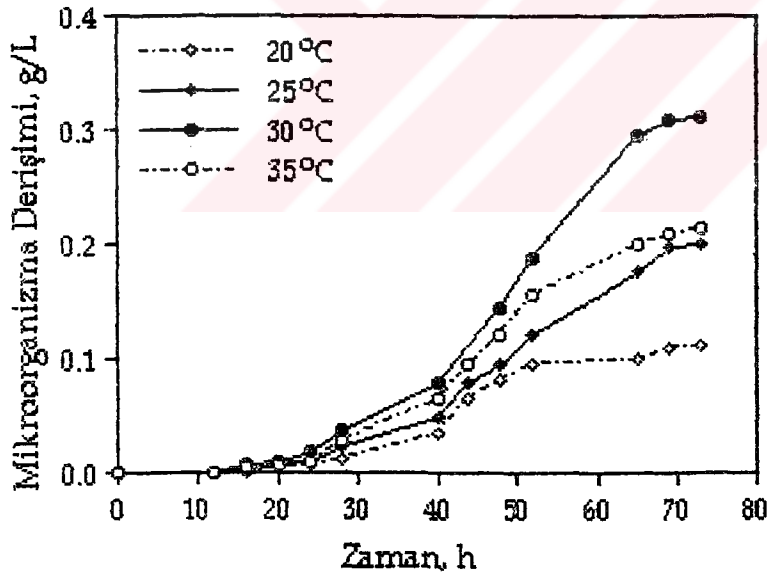
4. 2. 2. 2. Sıcaklığın etkisi

Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde (10 mg/L Cd (II) ve 10 mg/L Cu (II) iyonu) içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-35 ° C aralığında araştırılmıştır. Hem metalsiz hem de her iki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu ortamda maksimum üreme 30 °C' de elde edilmiştir (Şekil 4. 65). Daha önceki bölümde; metallerin tek tek bulunduğu üreme ortamında kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonu için maksimum sıcaklık 30 °C, olarak bulunmuştur.

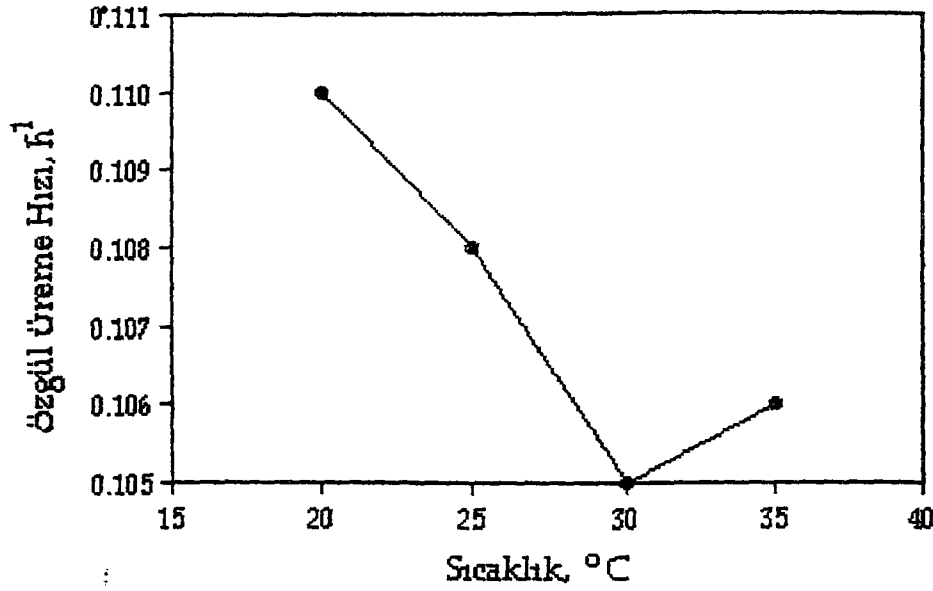
R. arrhizus ' un kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında; ilk 28 saatte adaptasyon fazda, 28-52. saatte logaritmik fazda ve 52 saatten sonra ise sabit fazda ürediği Şekil 4. 66' dan görülmektedir. Ağır metal iyonlarının her birinin ayrı ayrı bulunduğu üreme ortamında mikroorganizma logaritmik faza 16. saatten sonra ulaşmaktadır. Her iki metalin birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazı daha uzun olmaktadır. Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda; *R. arrhizus* ' un logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur (Şekil 4. 67).



Şekil 4. 65. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH= 4; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; KH= 150 rpm)



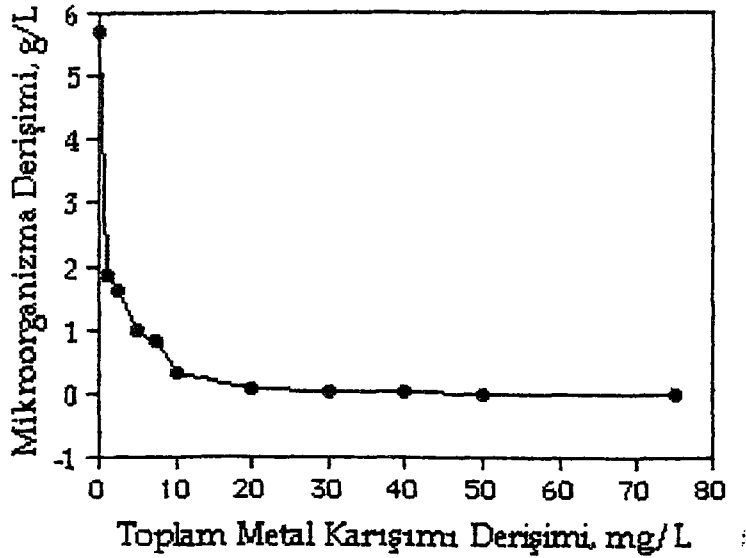
Şekil 4. 66. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 4; V_R = 100 mL; S_0 = 30 g/L; $C(Cd)$ = 10 mg/L; $C(Cu)$ = 10 mg/L; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 67. Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*'un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi (pH= 4; V_R= 100 mL; S₀ = 30 g/L; C(Cd)= 10 mg/L; C (Cu) = 10 mg/L; KH= 150 rpm)

4. 2. 2. 3. Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının başlangıç derişimlerinin birlikte etkisi

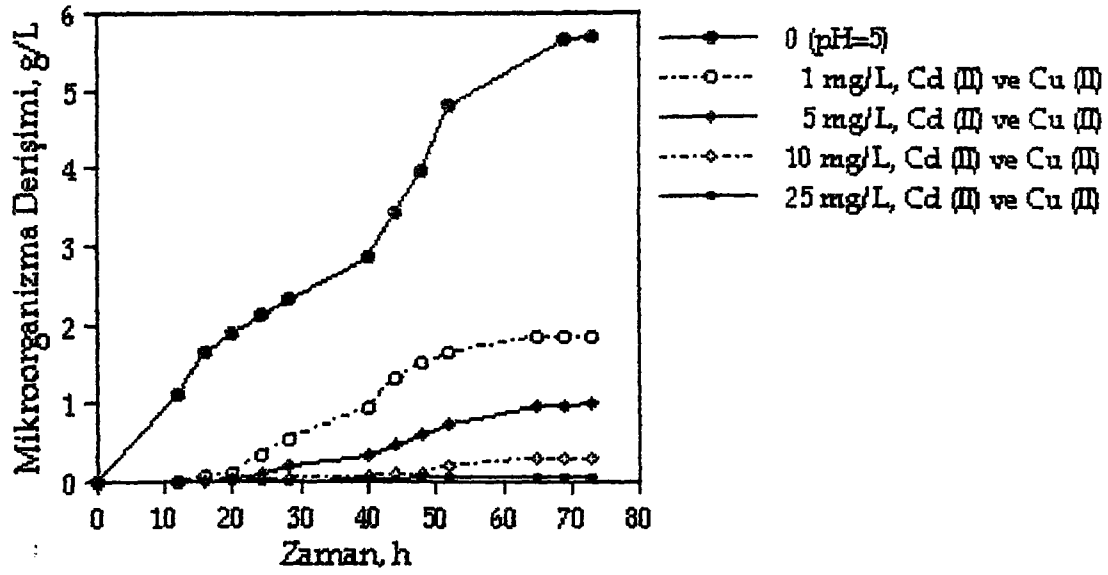
Başlangıç kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; kadmiyum (II) ve bakır (II) derişimlerinin eşit olarak artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinden başlayarak 50 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise üremenin olmadığı gözlenmiştir. Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında ise üreme 100 mg/L değerine kadar azalmakta, daha yüksek derişimlerde ise üreme hemen hemen durmaktadır (Şekil 4. 68). Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesinin her iki metal iyon derişimlerinin artışına bağlı olarak azalması, her iki metal iyonlarının *R. arrhizus* üzerindeki inhibisyon etkisinin sonucudur.



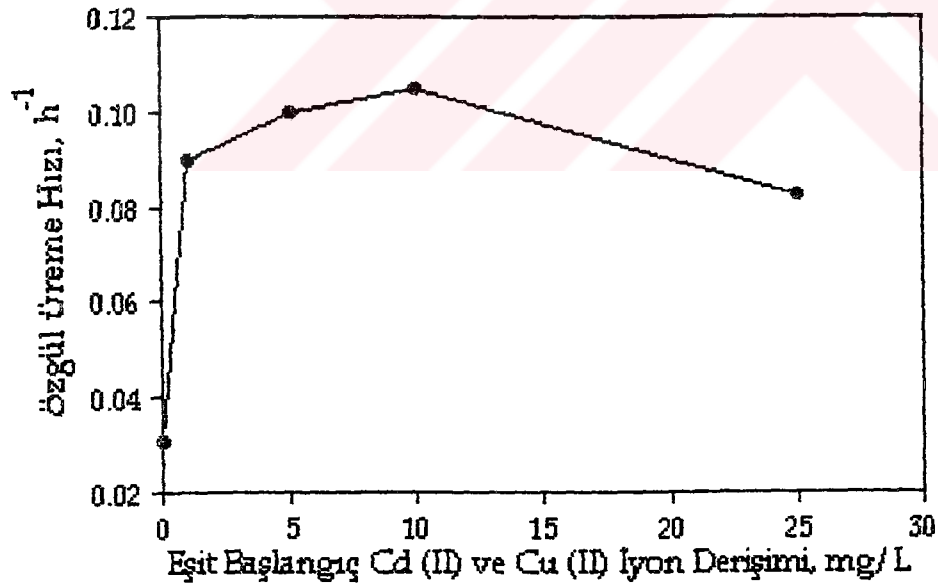
Şekil 4. 68. Başlangıç Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

R. arrhizus, metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürerken; kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ise, ilk 28 saat adaptasyon fazda, 28-52. saatte ise logaritmik fazda üremektedir (Şekil 4. 69). İki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazının; hem metalsiz üreme ortamından hem de metalleri tek tek içeren üreme ortamından daha uzun sürmesi ise, *R. arrhizus* 'un, her iki metal iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamına uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir.

R. arrhizus 'un kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Üreme ortamında eşit derişimlerde bulunan kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının düşük derişimlerinde özgül üreme hızı artarken, metal derişimlerinin artırılması ile özgül üreme hızı artmaktadır (Şekil 4. 70).

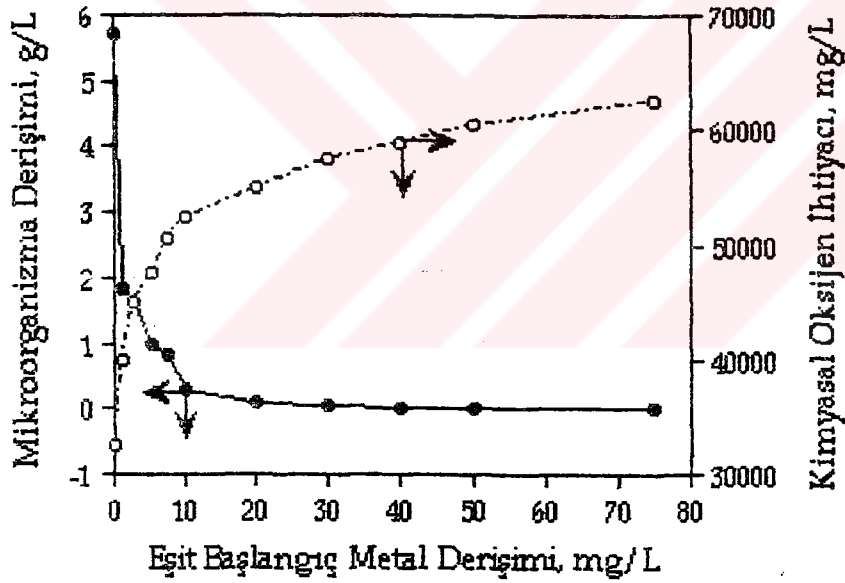


Şekil 4. 69. Eşit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4; T= 30 °C; V_R= 100 mL; S₀= 30 g/ L; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 70. Eşit Başlangıç Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi (pH= 4; T= 30 °C; V_R= 100 mL; S₀ = 30 g/ L; KH= 150 rpm)

Eşit kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon derişimleri içeren toplam metal iyonu derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağı olarak kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 71'den görülmektedir. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus*, besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; metal iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında olduğu gibi; kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Bunun nedeni ise ortamda organik maddenin bulunmaması ve dolayısıyla da oksidasyon olayının gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değeri de değişmektedir.

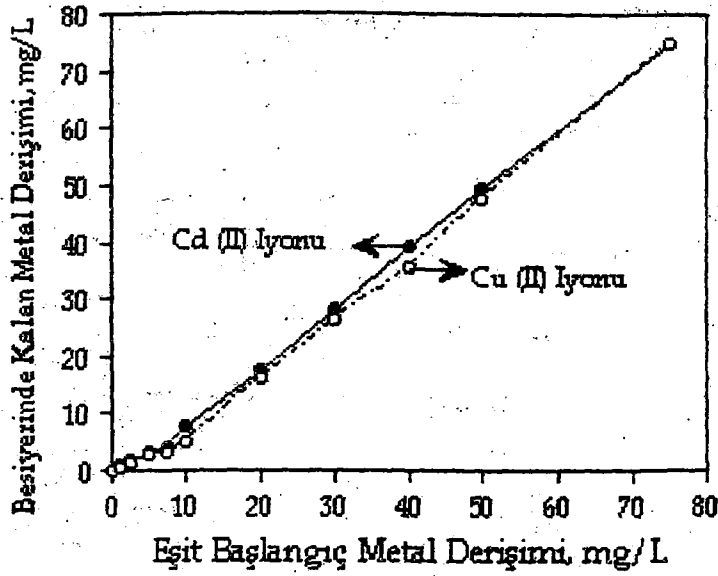


Şekil 4. 71. Mikroorganizma Derişimi ile Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Metal Derişimleriyle Değişimi (pH = 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH = 150 rpm)

Farklı başlangıç kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerini içeren üreme ortamında, *R. arrhizus* 'un üremesi tamamlandıktan sonra (72 saat); üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 72 ve Şekil 4. 73' den görölmektedir. Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal miktarı artmaktadır. Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Buna bağılı olarak metal derişiminin yüksek olduğı üreme ortamlarında mikroorganizma derişimi az olduğı için mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon derişimleri mikroorganizma derişimine bağılı olarak değışmektedir. Bu durumun üreme ortamında metallerin tek tek bulunduğı koşullarda da geçerli olduğunu daha önceki bölümlerde açıklamıştık. *R. arrhizus*; Üreme ortamında metaller tek tek bulundukları koşullarda, eşit derişimlerde birlikte bulundukları koşullara göre ağırlıkça daha fazla büyüdüğü için ortamda bulunan metalleri de daha fazla adsorplamaktadır. Çünkü ağır metal adsorbsiyonu mikroorganizma derişimine bağılı olarak değışmektedir.

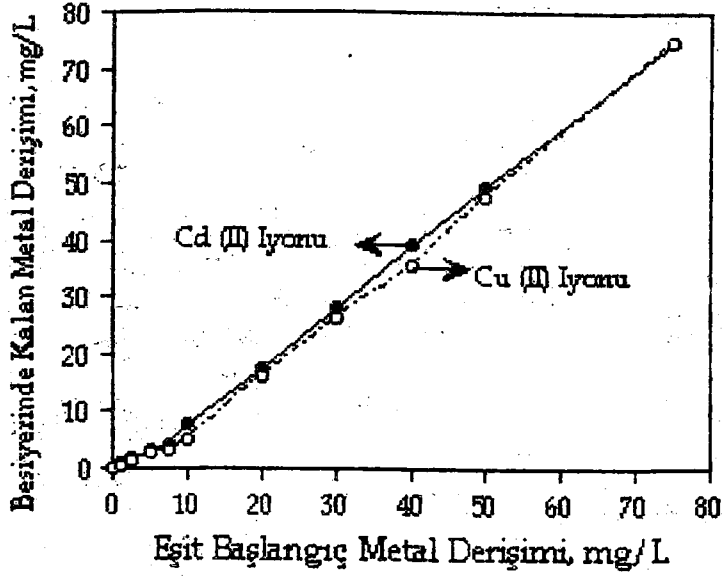
Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi tamamlandıktan sonra üreme ortamında kalan kadmiyum (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile başlangıçtaki metal derişimlerini incelediğimiz zaman *R. arrhizus* 'un bakırı seçici olarak adsorplamasına karşın hemen hemen aynı seviyede kadmiyumu da adsorpladığı Şekil 4. 74' den görölmektedir.

Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğı üreme ortamında metallerin birbirleri üzerine etkisini anlamak güç olduğı için metallerden birinin derişimi sabit tutulup, diğeri metalin derişimi değıştirilerek metallerin birbirleri ve mikroorganizma derişimi üzerine etkisi araştırılmıştır.



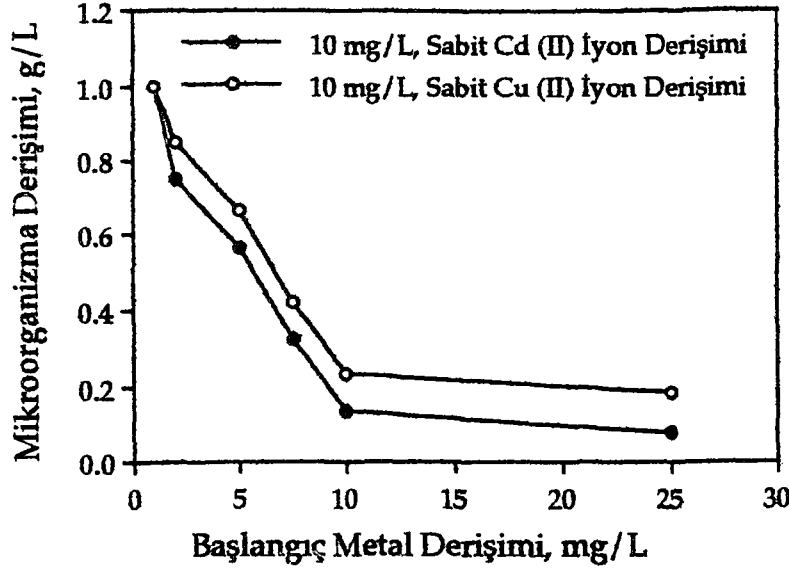
Şekil 4. 74. Başlangıç Eşit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerini İçeren Karışımlar İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki ($pH = 4$; $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_R = 100\text{ mL}$; $S_0 = 30\text{ g/L}$; $KH = 150\text{ rpm}$)

Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını birlikte içeren ikili metal iyonu karışım deneylerinde; başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimi $0-25\text{ mg/L}$ aralığında değiştirilirken, bakır (II) iyon derişimi her deney seti için sabit tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan deney setinde ise; başlangıç bakır (II) iyon derişimi $0-25\text{ mg/L}$ aralığında değiştirilip, kadmiyum (II) iyon derişimi sabit tutulmuştur. Sabit bakır (II) iyon derişiminde başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin, *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi, Şekil 4. 75' den; sabit kadmiyum (II) iyon derişiminde başlangıç bakır (II) iyon derişiminin *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi ise, Şekil 4. 76' dan görülmektedir. Kadmiyum (II) iyon derişimlerinin $0-25\text{ mg/L}$ aralığında değiştirildiği, bakır (II) iyon derişimlerinin ise 10 mg/L 'de sabit tutulduğu üreme ortamında, *R. arrhizus* daha fazla ürediği Şekil 4. 77' den görülmektedir.



Şekil 4. 74. Başlangıç Eşit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerini İçeren Karışımlar İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

Kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonlarını birlikte içeren ikili metal iyonu karışım deneylerinde; başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilirken, bakır (II) iyon derişimi her deney seti için sabit tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan deney setinde ise; başlangıç bakır (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilip, kadmiyum (II) iyon derişimi sabit tutulmuştur. Sabit bakır (II) iyon derişiminde başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin, *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi, Şekil 4. 75' den; sabit kadmiyum (II) iyon derişiminde başlangıç bakır (II) iyon derişiminin *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi ise, Şekil 4. 76' dan görülmektedir. Kadmiyum (II) iyon derişimlerinin 0-25 mg/L aralığında değiştirildiği, bakır (II) iyon derişimlerinin ise 10 mg/L' de sabit tutulduğu üreme ortamında, *R. arrhizus* daha fazla ürediği Şekil 4. 77' den görülmektedir.



Şekil 4. 77. Sabit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) ve Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; C₀ = 10 mg/L Cd (II) ve Cu (II); KH= 150 rpm)

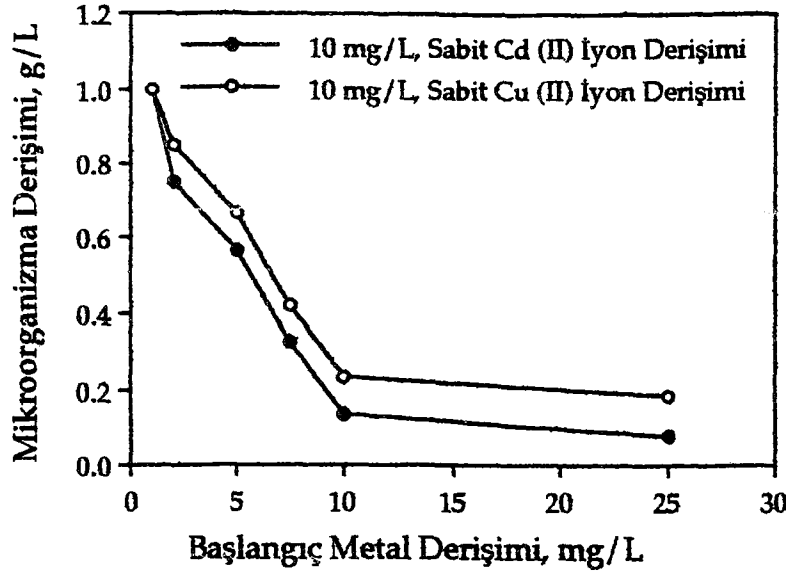
4. 2. 3. Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi

4. 2. 3. 1. Başlangıç pH' ının etkisi

Karıştırma hızı, sıcaklık metal derişimi ve sakkaroz derişimi sabit tutularak; farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde, kurşun (II) iyonu için pH= 4 (Şekil 4. 1), bakır (II) iyonu için ise pH= 4,5' da (Şekil 4. 15) maksimum üreme elde edilmiştir. Hem kurşun (II) hem de bakır (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda ise her iki metalin tek tek bulunduğu koşullara uygunluğu açısından pH= 4 değerinde çalışılmıştır.

4. 2. 3. 2. Sıcaklığın etkisi

Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde (10 mg/L Pb (II) ve 10 mg/L Cu (II) iyonu) içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-35 ° C aralığında araştırılmıştır. Hem metalsiz hem de her iki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu ortamda maksimum üreme 30 °C ' de elde edilmiştir (Şekil 4. 78).



Şekil 4. 77. Sabit Kadmiyum (II) ve Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) ve Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; C₀ = 10 mg/L Cd (II) ve Cu (II) ; KH= 150 rpm)

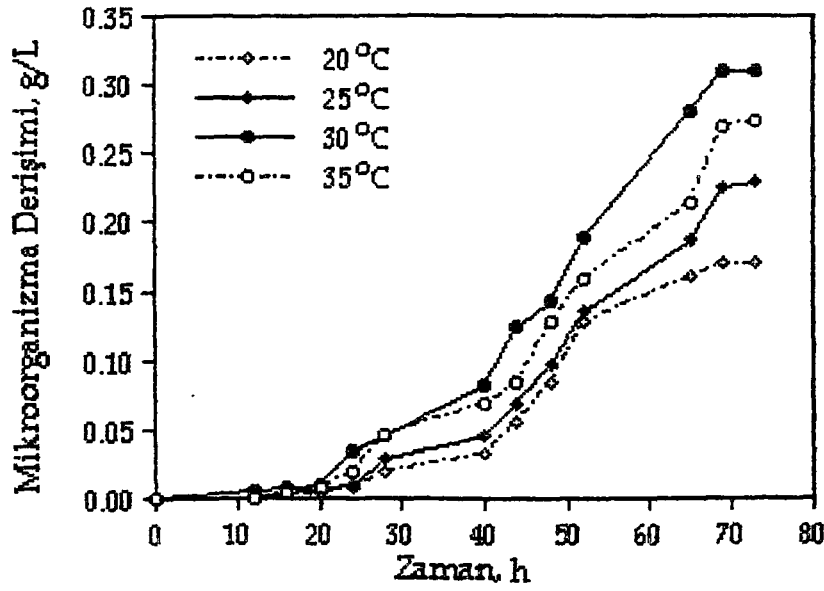
4. 2. 3. Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi

4. 2. 3. 1. Başlangıç pH' ının etkisi

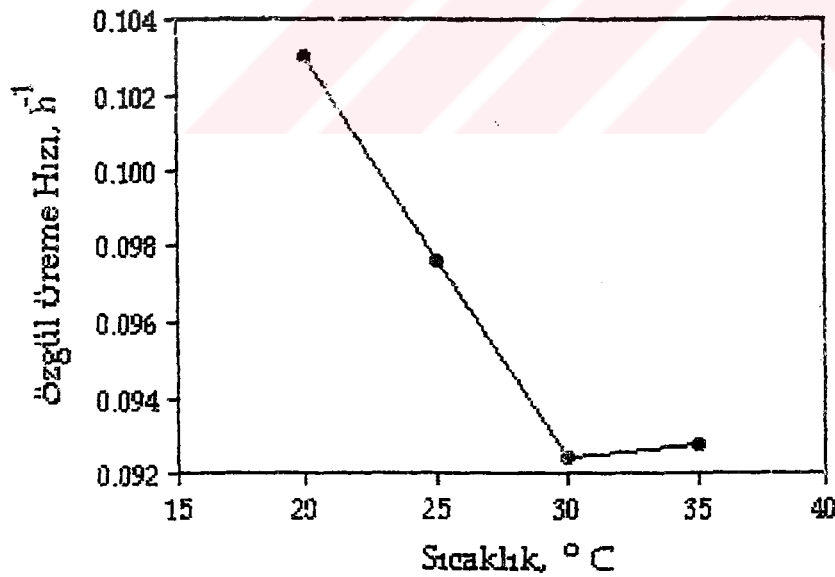
Karıştırma hızı, sıcaklık metal derişimi ve sakkaroz derişimi sabit tutularak; farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde, kurşun (II) iyonu için pH= 4 (Şekil 4. 1), bakır (II) iyonu için ise pH= 4,5' da (Şekil 4. 15) maksimum üreme elde edilmiştir. Hem kurşun (II) hem de bakır (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda ise her iki metalin tek tek bulunduğu koşullara uygunluğu açısından pH= 4 değerinde çalışılmıştır.

4. 2. 3. 2. Sıcaklığın etkisi

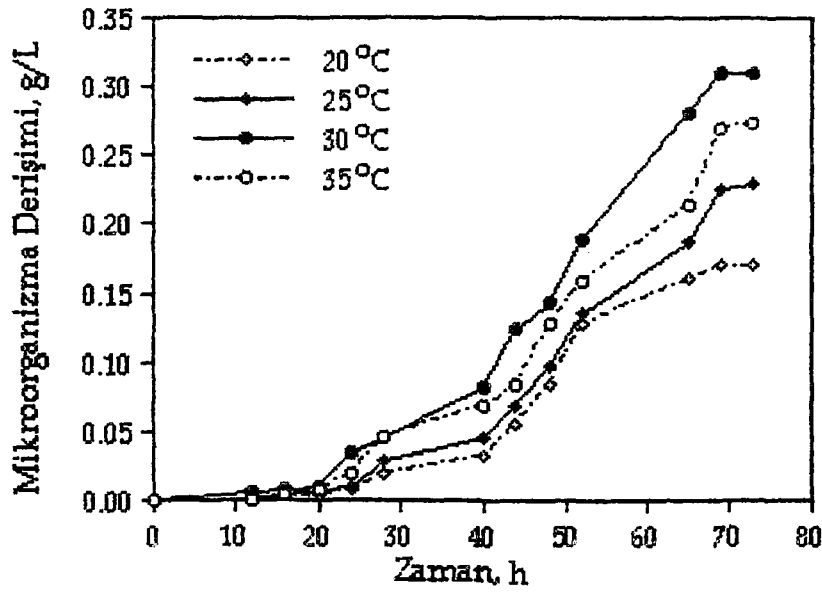
Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde (10 mg/L Pb (II) ve 10 mg/L Cu (II) iyonu) içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-35 ° C aralığında araştırılmıştır. Hem metalsiz hem de her iki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu ortamda maksimum üreme 30 °C' de elde edilmiştir (Şekil 4. 78).



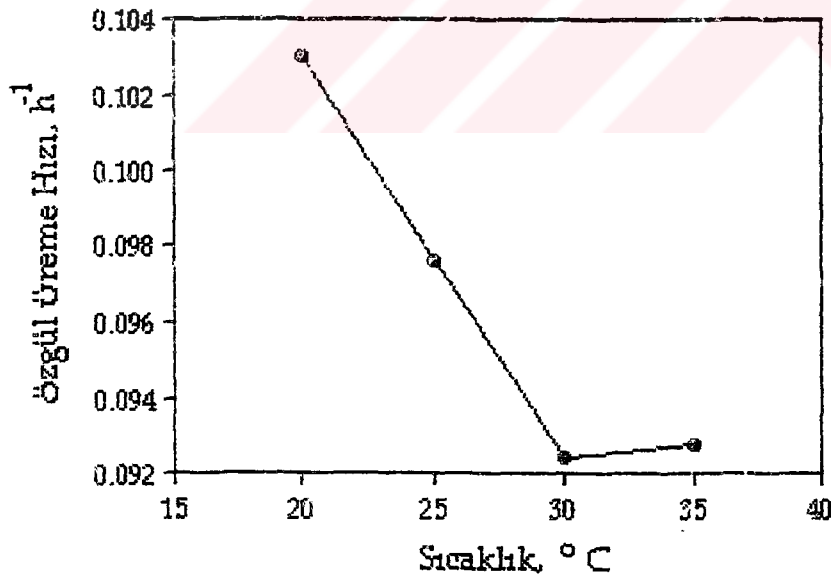
Şekil 4. 79. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C(Pb) = 10$ mg/L; $C(Cu) = 10$ mg/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 80. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi (pH = 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C(Pb) = 10$ mg/L; $C(Cu) = 10$ mg/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 79. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında, Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($pH = 4$; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C(Pb) = 10$ mg/L; $C(Cu) = 10$ mg/L; $KH = 150$ rpm)



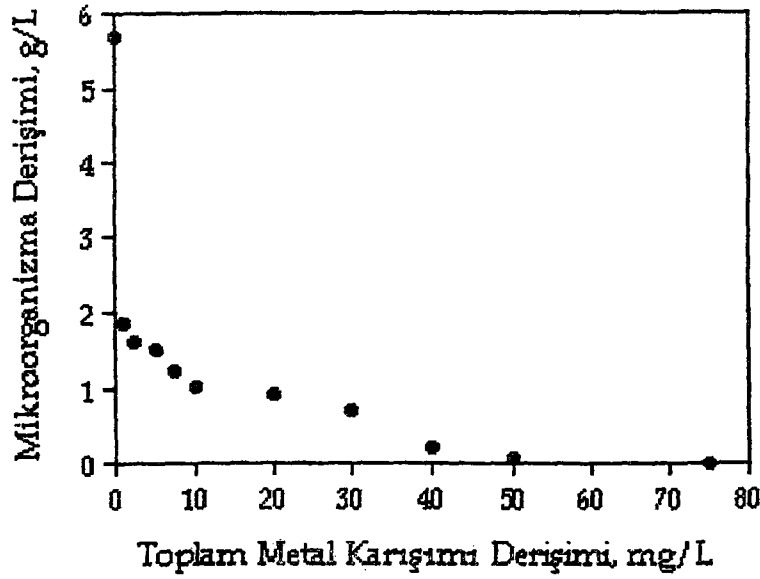
Şekil 4. 80. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi ($pH = 4$; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C(Pb) = 10$ mg/L; $C(Cu) = 10$ mg/L; $KH = 150$ rpm)

4. 2. 3. 3. Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının başlangıç derişimlerinin birlikte etkisi

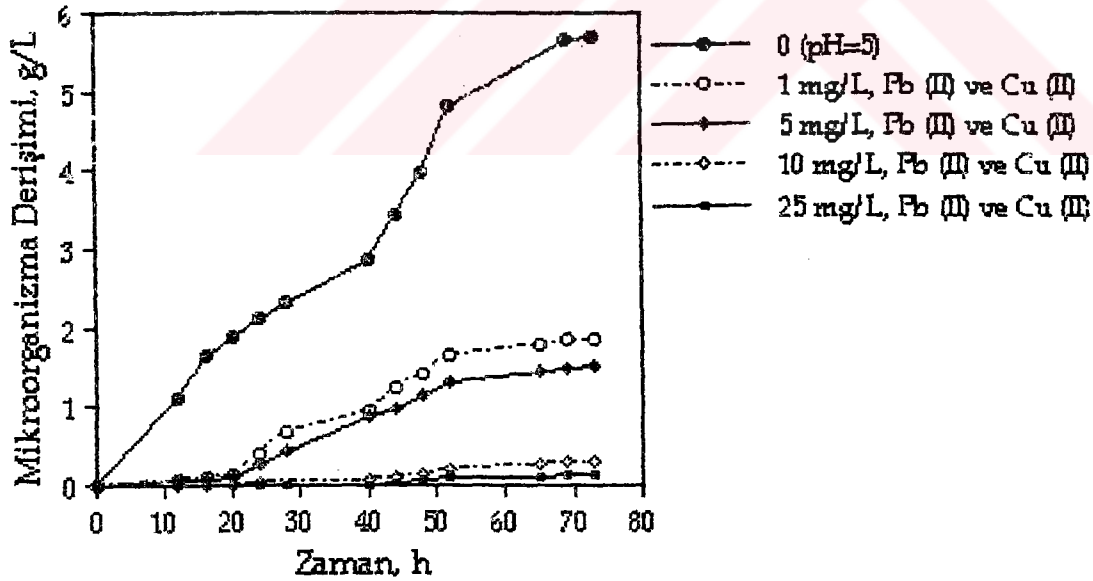
Başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinin eşit olarak artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinden başlayarak 50 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise, üremenin olmadığı gözlenmiştir. Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında ise üreme 100 mg/L değerine kadar azalmakta, daha yüksek derişimlerde ise üreme hemen hemen durmaktadır (Şekil 4. 81). Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesinin her iki metal iyon derişimlerinin artışına bağlı olarak azalması, her iki metal iyonlarının *R. arrhizus* üzerindeki inhibisyon etkisinin sonucudur.

R. arrhizus, metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürerken; kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ise, ilk 28 saat adaptasyon fazda, 28-52. saatte ise logaritmik fazda üremektedir (Şekil 4. 82). İki metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazının; hem metalsiz üreme ortamından hem de metalleri tek tek içeren üreme ortamından daha uzun sürmesi ise, *R. arrhizus* ' un, her iki metal iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamına uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir.

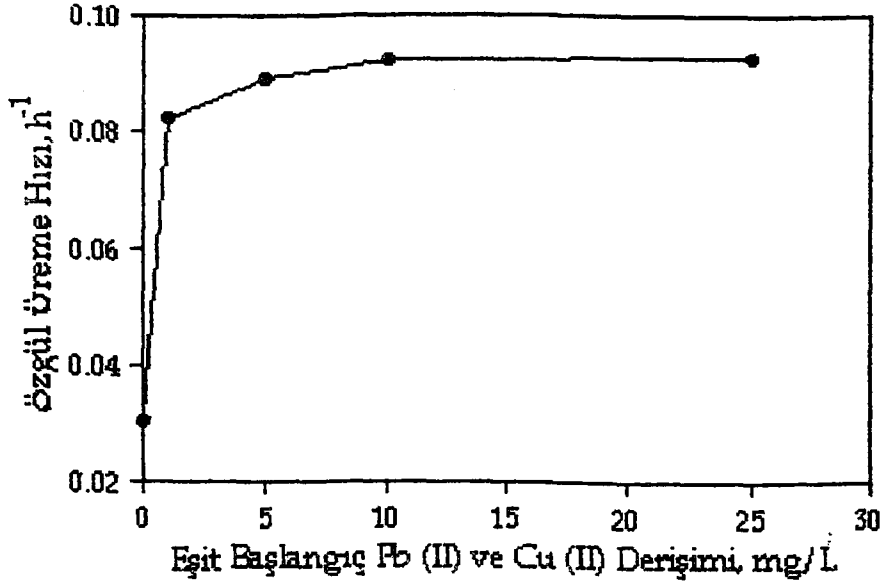
R. arrhizus ' un kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Üreme ortamında eşit derişimlerde bulunan kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının düşük derişimlerinde özgül üreme hızı artarken, metal derişimlerinin artırılması ile özgül üreme hızı artmaktadır (Şekil 4. 83).



Şekil 4. 81. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

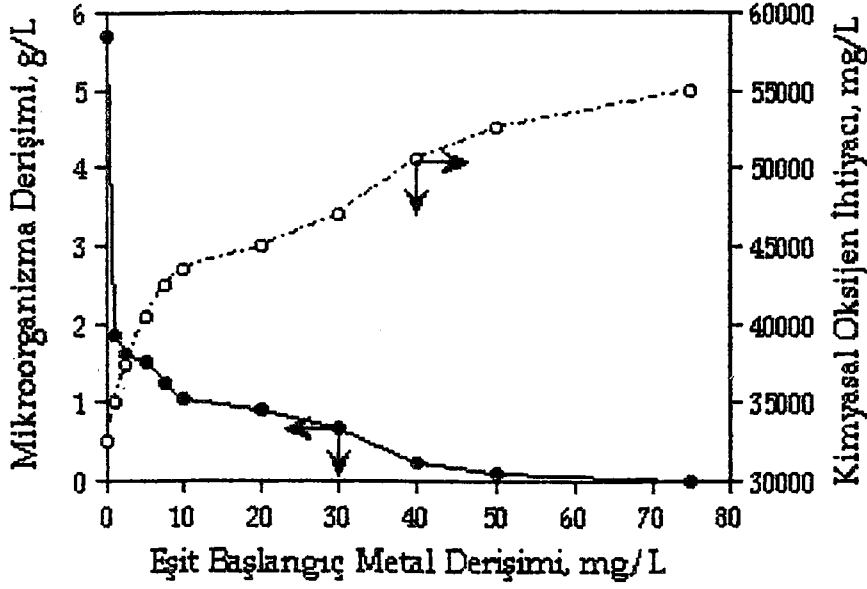


Şekil 4. 82. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)



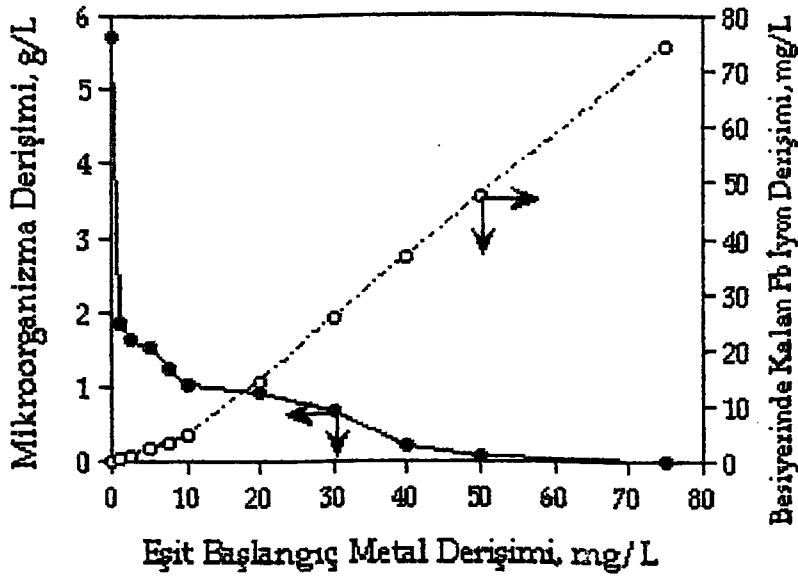
Şekil 4. 83. Eşit Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* 'un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi (pH= 4; T= 30 °C; V_R= 100 mL; S₀ = 30 g/ L; KH= 150 rpm)

Eşit başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri içeren toplam metal iyon derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağlı olarak kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 84'den görülmektedir. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus* , besiyerinden süzülerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; metal iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında olduğu gibi; kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Bunun nedeni ise ortamda organik maddenin bulunmaması ve dolayısıyla da oksidasyon olayının gerçekleşmemesinden kaynaklanmaktadır. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değeri de değişmektedir.

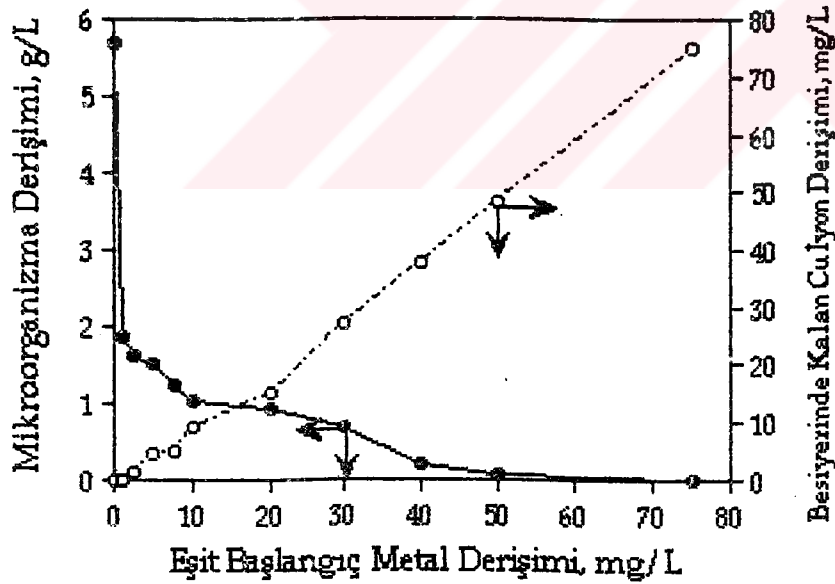


Şekil 4. 84. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Metal Derişimleriyle Değişimi (pH= 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH= 150 rpm)

Farklı başlangıç kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerini içeren üreme ortamında, *R. arrhizus* ' un üremesi tamamlandıktan sonra (72 saat); üreme ortamında kalan kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 85 ve Şekil 4. 86' dan görülmektedir. Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal miktarı artmaktadır. Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Buna bağlı olarak metal derişiminin yüksek olduğu üreme ortamlarında mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir. Bu durum, üreme ortamında metallerin tek tek bulunduğu koşullarda da geçerlidir. *R. arrhizus* ; üreme ortamında metaller tek tek bulundukları koşullarda, eşit derişimlerde birlikte bulundukları koşullara göre ağırlıkça daha fazla büyüdüğü için ortamda bulunan metalleri de daha fazla adsorplamaktadır. Çünkü ağır metal adsorbsiyonu mikroorganizma derişimine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 4. 85. Kurşun (II) v Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH= 4; T= 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH= 150 rpm)



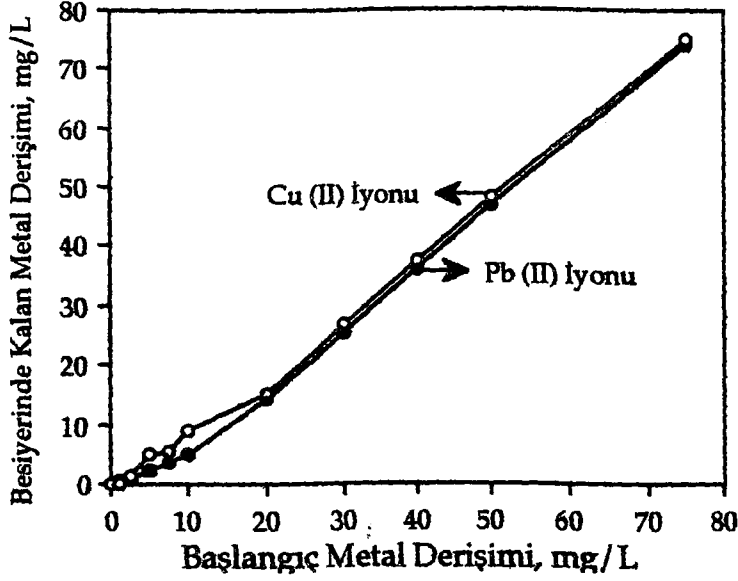
Şekil 4. 86. Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH = 150 rpm)

Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi tamamlandıktan sonra üreme ortamında kalan kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile başlangıçtaki metal derişimlerini incelediğimiz zaman *R. arrhizus* 'un kurşunu seçici olarak adsorpladığı Şekil 4. 87' den görölmektedir.

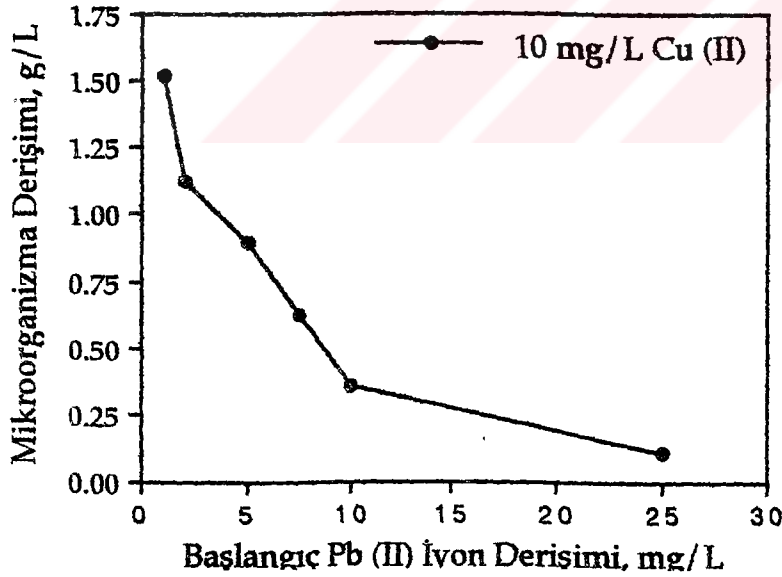
Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında metallerin birbirleri üzerine etkisini anlamak güç olduğu için metallerden birinin derişimi sabit tutulup, diğer metalin derişimi değiştirilerek metallerin birbirleri ve mikroorganizma derişimi üzerine etkisi araştırılmıştır.

Kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını birlikte içeren ikili metal iyonu karışım deneylerinde; başlangıç kurşun (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilirken, bakır (II) iyon derişimi her deney seti için sabit tutulmuştur. Daha sonra hazırlanan deney setinde ise; başlangıç bakır (II) iyon derişimi 0-25 mg/L aralığında değiştirilip, kurşun (II) iyon derişimi sabit tutulmuştur.

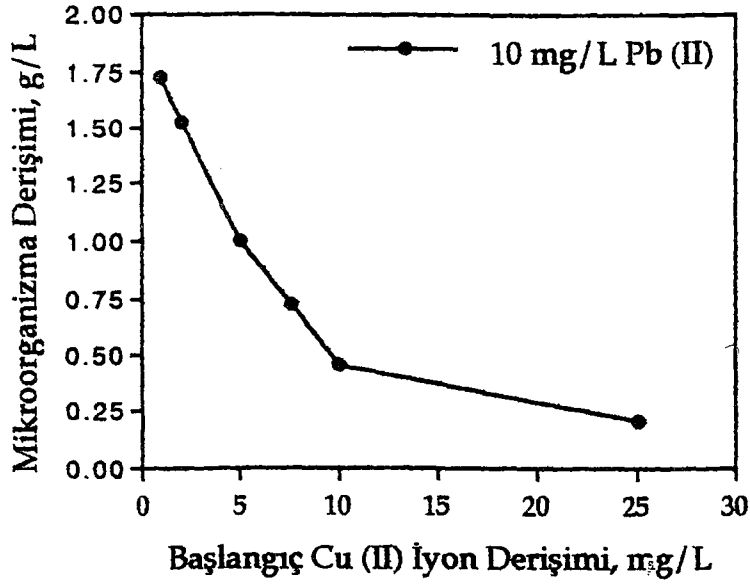
Sabit bakır (II) iyon derişiminde başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin, *R. arrhizus* 'un üremesi üzerine etkisi, Şekil 4. 88' den; sabit kurşun (II) iyon derişiminde başlangıç bakır (II) iyon derişiminin *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine etkisi ise, Şekil 4. 89' dan görölmektedir. Kurşun (II) iyon derişimlerinin 0-25 mg/L aralığında değiştirildiği, bakır (II) iyon derişimlerinin ise 10 mg/L' de sabit tutulduğu üreme ortamında, *R. arrhizus* daha fazla ürediği Şekil 4. 90' dan görölmektedir.



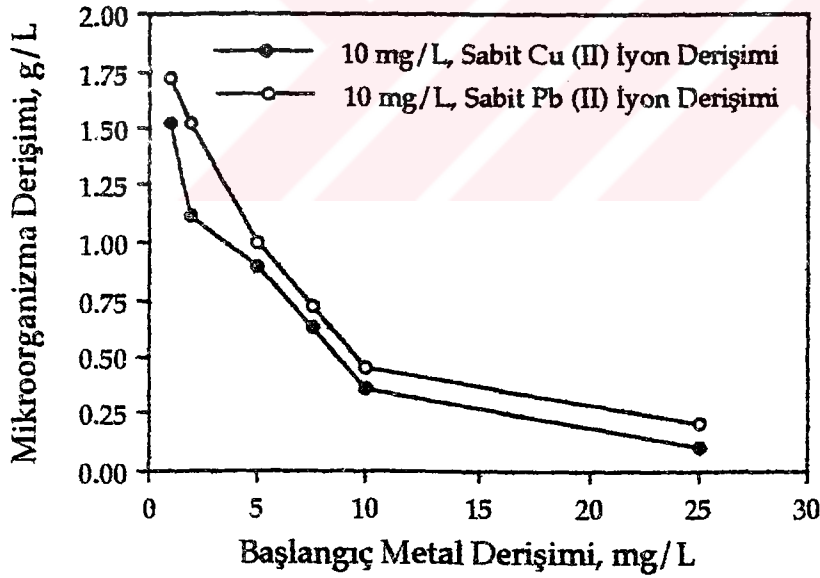
Şekil 4. 87. Başlangıç Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 88. Sabit Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 10$ mg/L Cu (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 89. Sabit Kurşun (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin *R. arrhizus* 'un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 3,5; T= 30 °C; V_R= 100 mL; S₀ = 30 g/L; C₀ = 10 mg/L Pb (II); KH = 150 rpm)



Şekil 4. 90. Sabit Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişiminde Başlangıç Bakır (II) ve Kurşun (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*'un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R= 100 mL; S₀= 30 g/L; C₀= 10 mg/L Pb (II) ve Cu (II); KH= 150 rpm)

4. 2. 4. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte etkisi

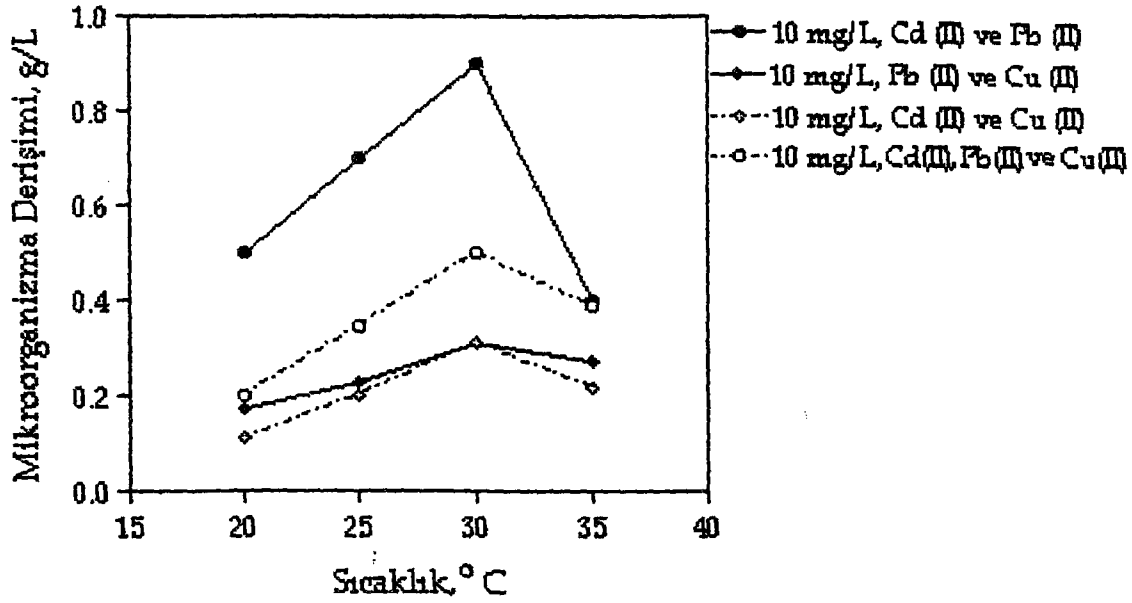
4. 2. 4. 1. Başlangıç pH'ının etkisi

Karıştırma hızı, sıcaklık ve metal derişimi sabit tutularak farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde, kadmiyum (II) iyonu için pH= 3,5 (Şekil 4. 1); kurşun (II) iyonu için pH= 4 (Şekil 4. 15); bakır (II) iyonu için ise pH= 4,5 (Şekil 4. 29) aralığında elde edilmiştir. Her üç metalin birlikte bulunduğu koşullarda ise, pH= 4' de çalışılmıştır.

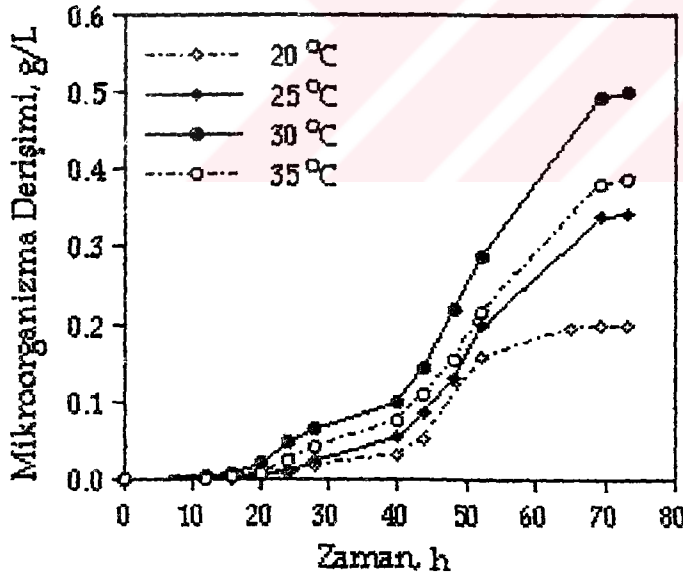
4. 2. 4. 2. Sıcaklığın etkisi

Kadmiyum (II) kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde (10 mg/L Cd (II), 10 mg/L Pb (II) ve 10 mg/L Cu (II) iyonu) içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi 20-35 ° C aralığında araştırılmıştır. Üç metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında maksimum üreme 30 °C' de elde edilmiştir (Şekil 4. 91).

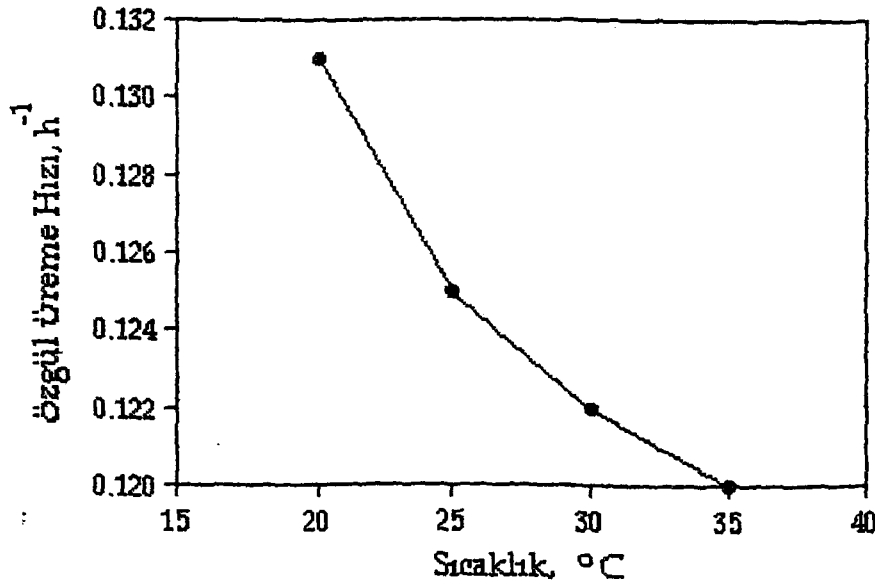
R. arrhizus' un farklı sıcaklıklarda kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında; ilk 28 saatte adaptasyon fazda, 28-52. saatte logaritmik fazda ve 52 saatten sonra ise sabit fazda ürediği Şekil 4. 92' den görülmektedir. Ağır metal iyonlarının her birinin ayrı ayrı bulunduğu üreme ortamında mikroorganizma logaritmik faza 16. saatten sonra ulaşmaktadır. Her üç metalin birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazı daha uzun sürmektedir. Bunun nedeni ise, üç metalin birlikte bulunduğu koşullar metallerin ayrı ayrı bulunduğu koşullara göre mikroorganizmanın üremesi üzerine daha fazla inhibisyon etkisi yapmasından kaynaklanmaktadır. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda; *R. arrhizus*' un logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur (Şekil 4. 93).



Şekil 4. 91. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Sıcaklıkla Değişimi (pH = 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C_{(Cd)} = 10$ mg/L; $C_{(Pb)} = 10$ mg/L; $C_{(Cu)} = 10$ mg/L; KH = 150 rpm)



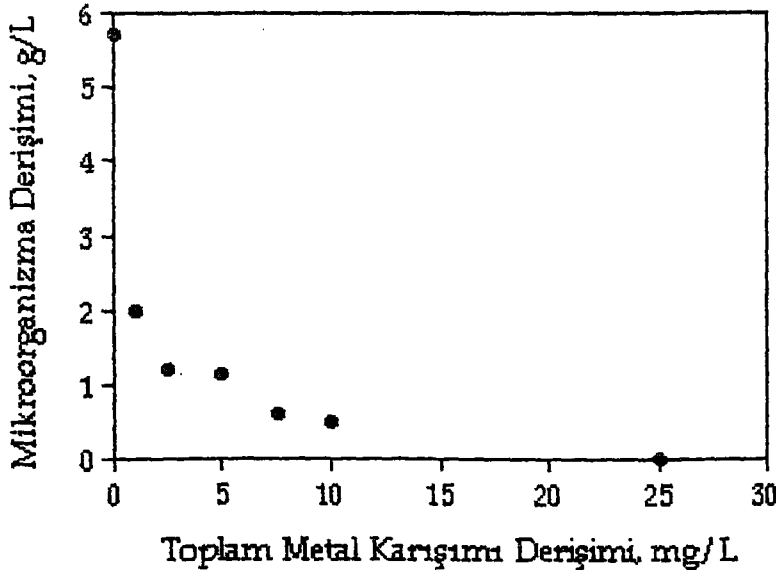
Şekil 4. 92. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Farklı Sıcaklıklarda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi (pH= 4; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $C_{(Cd)} = 10$ mg/L; $C_{(Pb)} = 10$ mg/L; $C_{(Cu)} = 10$ mg/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 93. Kadmiyum (II) Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Üreme Ortamında Sıcaklık Değişiminin *R. arrhizus*' un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi (pH=4; $V_R=100$ mL; $S_0=30$ g/L; $C_{(Cd)}=10$ mg/L; $C_{(Pb)}=10$ mg/L; $C_{(Cu)}=10$ mg/L; KH= 150 rpm)

4. 2. 4. 3. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının başlangıç derişimlerinin birlikte etkisi

Başlangıç kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren farklı toplam metal derişimlerinde toplam metal iyon derişiminin eşit olarak artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük toplam kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinden başlayarak 25 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise, üremenin olmadığı gözlenmiştir. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında üreme 100 mg/L değerine kadar; ikili metal karışımlarında ise 50 mg/L değerine kadar azalmakta, daha yüksek derişimlerde ise üreme hemen hemen durmaktadır (Şekil 4. 94). Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesinin her üç metal iyon derişimlerinin artışına bağlı olarak azalması, belli bir başlangıç metal iyon derişiminden sonra, metal iyonlarının bir kısmının *R. arrhizus* tarafından bağlanması, bir kısmının da mikroorganizmayı inhibe etmesi ve hücre yüzeyinin metal iyonlarınca doygunluğa erişmesinin bir sonucudur.



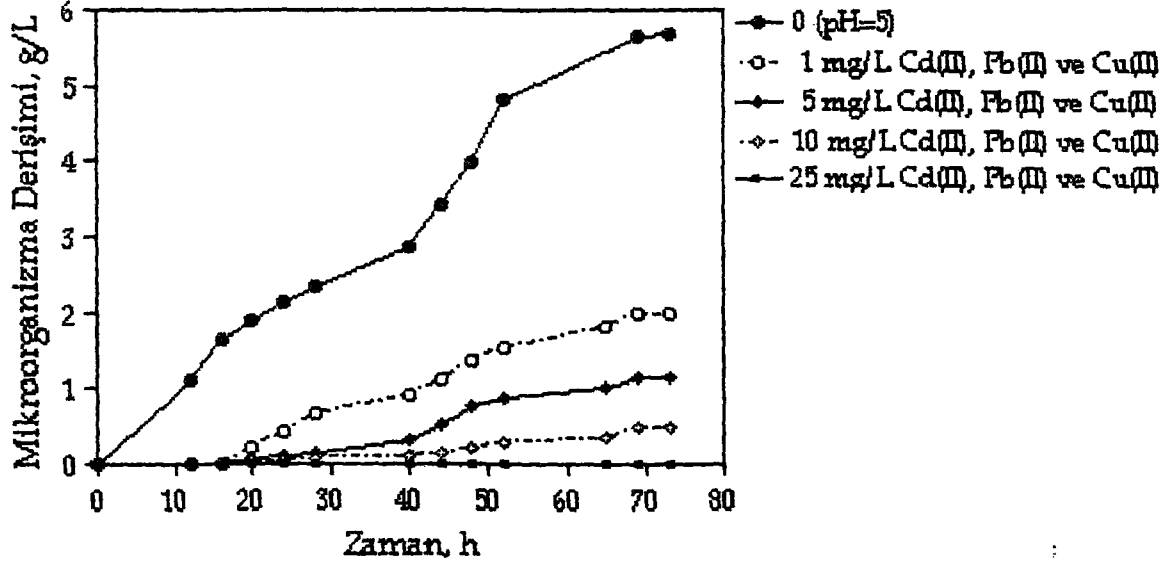
Şekil 4. 94. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Eşit Derişimlerde Birlikte Bulunduğu Koşullarda Başlangıç Toplam Metal İyon Derişiminin *R. arrhizus*' un Üremesi Üzerine Etkisi (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH = 150 rpm)

R. arrhizus, metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürerken; ikili metal karışımlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ilk 28 saat adaptasyon fazda, 28-52. saatte logaritmik fazda, üç metali eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ise, ilk 32 saat adaptasyon fazda, 32-52 saatte logaritmik fazda üremektedir (Şekil 4. 95). Üç metalin eşit derişimlerde birlikte bulunduğu koşullarda adaptasyon fazının; hem metalsiz üreme ortamından hem metalleri tek tek içeren üreme ortamından hem de ikili metal karışımlarını birlikte içeren üreme ortamından daha uzun sürmesi ise, *R. arrhizus*' un, her üç metal iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamına uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir. Ayrıca üreme ortamında metal sayısı arttıkça üreme azalmaktadır.

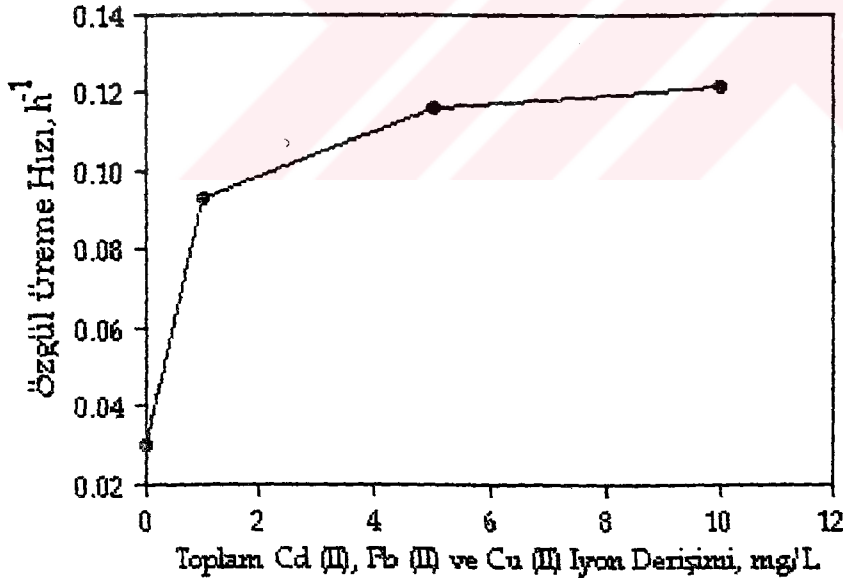
R. arrhizus' un kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Üreme ortamında eşit derişimlerde bulunan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının toplam düşük derişimlerinde özgül üreme hızı artarken, metal derişimlerinin artırılması ile özgül üreme hızı artmaktadır (Şekil 4. 96).

Eşit kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri içeren toplam metal derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağı olarak kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 4. 97'den görölmektedir. Kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra (pamuk yumağı görünümünde olan *R. arrhizus* , besiyerinden süzölerek ayrılır), geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır. Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğı üreme ortamında; metal iyonlarının tek tek bulunduğı üreme ortamında olduğı gibi; kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır. Bunun nedeni ise ortamda organik maddenin bulunmamakta ve dolayısıyla da oksidasyon olayı gerçekleşmemektedir. Bu ortama organik maddenin (besiyerinin bileşiminde bulunan sakkaroz) girmesiyle birlikte kimyasal oksijen ihtiyacı değeri de değışmektedir.

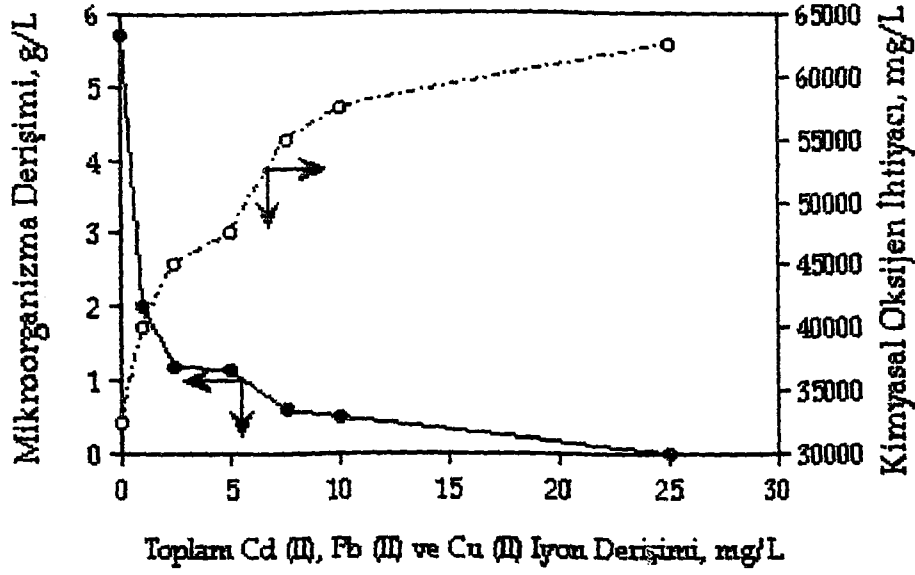
Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde içeren üreme ortamında farklı toplam metal iyon derişimlerinde, *R. arrhizus*' un üremesi tamamlandıktan sonra (72 saat); üreme ortamında kalan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile mikroorganizma derişimi arasındaki ilişki Şekil 4. 98, Şekil 4. 99 ve Şekil 4. 100' den görölmektedir. Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde; metal derişimi arttıkça mikroorganizma derişimi azalmaktadır ve mikroorganizma derişimi azaldıkça üreme ortamında kalan metal miktarı artmaktadır. Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının da arttığını göstermektedir. Buna bağı olarak metal derişiminin yüksek olduğı üreme ortamlarında mikroorganizma derişimi az olduğı için mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da azalmaktadır. Yani üreme ortamında kalan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri mikroorganizma derişimine bağı olarak değışmektedir. Bu durum, üreme ortamında metallerin hem tek tek bulunduğı koşullarda hem de ikili karışımların bulunduğı koşullarda geçerlidir. *R. arrhizus*; üreme ortamında metaller tek tek bulundukları koşullarda, hem eşit derişimlerde ikili karışımlarda hem de eşit derişimlerde üç metalin birlikte bulunduğı koşullara göre ağırlıkça daha fazla büyüdüğü için ortamda bulunan metalleri de daha fazla adsorplamaktadır. Çünkü ağır metal adsorbsiyonu mikroorganizma derişimine bağı olarak değışmektedir.



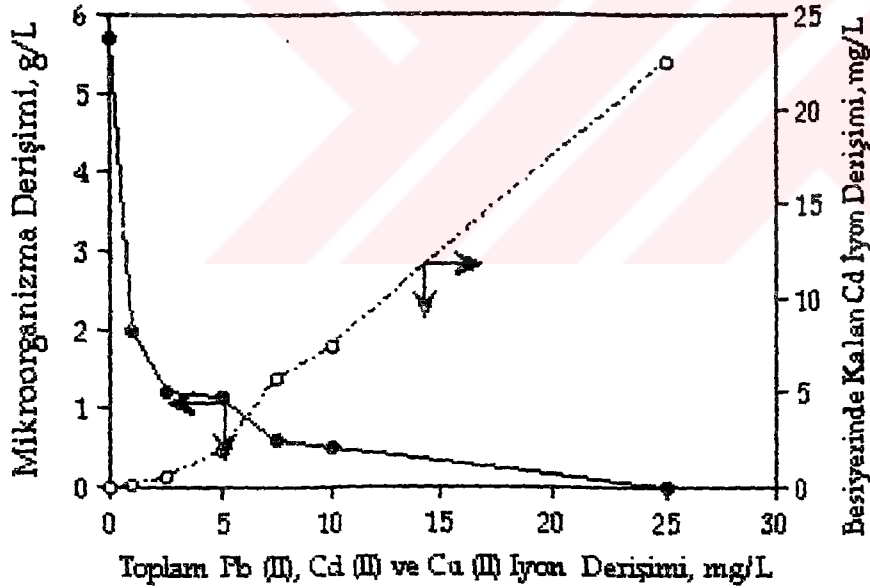
Şekil 4. 95. Eşit Başlangıç Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İçeren Üreme Ortamında Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($pH = 4$; $T = 30^\circ C$; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $KH = 150$ rpm)



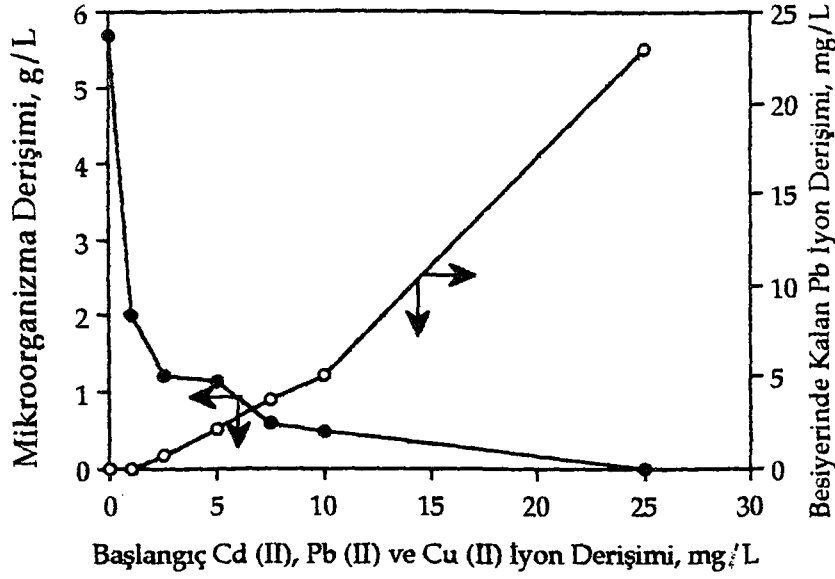
Şekil 4. 96. Toplam Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Birlikte Etkisi ($pH = 4$; $T = 30^\circ C$; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; $KH = 150$ rpm)



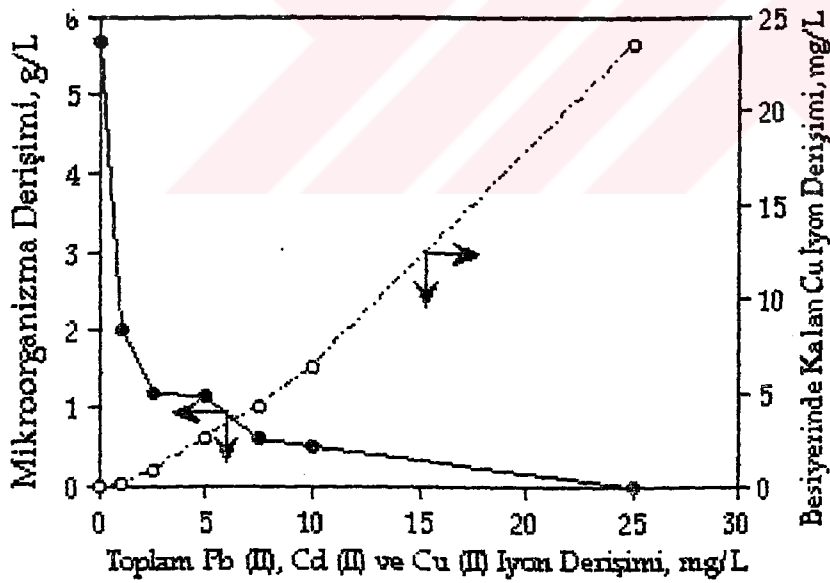
Şekil 4. 97. Mikroorganizma Derişimi İle Kimyasal Oksijen İhtiyacının Toplam Metal Derişimleriyle Değişimi (pH = 4; T= 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH = 150 rpm)



Şekil 4. 98. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Farklı Toplam Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; $V_R = 100$ mL; $S_0 = 30$ g/L; KH = 150 rpm)



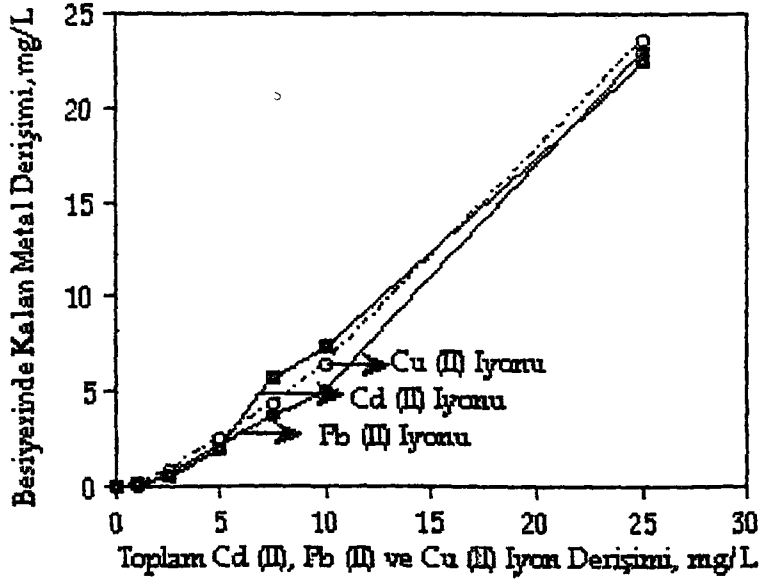
Şekil 4. 99. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Farklı Toplam Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Üreme Ortamında *R. arrhizus*' un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kurşun (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH= 150 rpm)



Şekil 4. 100. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Eşit Derişimlerde Birlikte İçeren Farklı Toplam Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Üreme Ortamında *R. arrhizus*' un Üremesi Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Bakır (II) İyon Derişimi İle Mikroorganizma Derişimi Arasındaki İlişki (pH = 4; T = 30 °C; V_R = 100 mL; S₀ = 30 g/L; KH= 150 rpm)

Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren farklı toplam metal iyon derişimlerindeki üreme ortamında *R. arrhizus*' un üremesi tamamlandıktan sonra üreme ortamında kalan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimleri ile başlangıçtaki metal derişimlerini incelediğimiz zaman *R. arrhizus*' un kurşunu seçici olarak adsorplamaktadır (Şekil 4. 101). Her üç metal birarada bulunduğu zaman mikroorganizmanın üremesi üzerine inhibisyon etkisi yaparken, metaller birbirleri üzerine inhibisyon etkisi yapmamaktadırlar. Şekil 4. 101' den de görüldüğü gibi *R. arrhizus* üremesi sırasında her üç metali hemen hemen eşit düzeyde adsorplamaktadır.





Şekil 4. 101. Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri İle Üreme Tamamlandıktan Sonra Üreme Ortamında Kalan Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimleri Arasındaki İlişki ($\text{pH} = 4$; $T = 30^\circ\text{C}$; $V_R = 100 \text{ mL}$; $S_0 = 30 \text{ g/L}$; $KH = 150 \text{ rpm}$)

4.3. Kesikli Düzende Çalışan Karıştırılmalı Kapta *R. arrhizus*' a Metal Adsorbsiyonu

Ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının kurutulmuş ve 50 mg/L kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını içeren üreme ortamında üretilip kurutulmuş *R. arrhizus*' a adsorbsiyonu çalışmalarında ilk adsorbsiyon hızını ve mikroorganizmanın metal alma etkinliğini etkileyen başlangıç pH' sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi, mikroorganizma derişimi ve karıştırma hızının etkileri kesikli düzendeki karıştırılmalı tepkime kabında incelenmiştir.

4.3.1. Kadmiyum (II) adsorbsiyonu

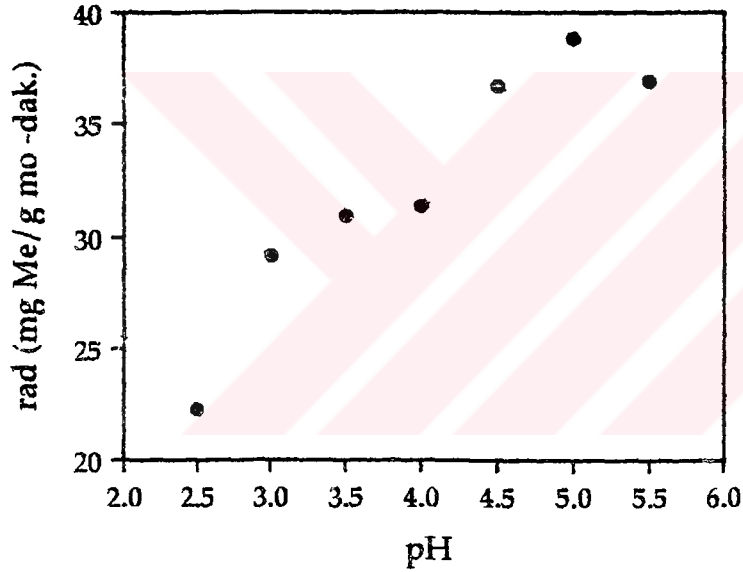
4.3.1.1. Başlangıç pH' sının etkisi ve farklı başlangıç pH' larında adsorbsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Kadmiyum (II) iyonlarının inaktif *R. arrhizus* ' a adsorbsiyonunda başlangıç pH' sının ilk adsorbsiyon hızlarına etkisi Şekil 4. 102' de verilmiştir. pH değerlerinin artışıyla birlikte ilk adsorbsiyon hızları artarken, düşük başlangıç pH' larında ise azalmaktadır. Kadmiyum (II) iyonları asidik pH' larda mikroorganizmaya daha iyi bağlanmakta, çok düşük pH' larda ise hücre yüzey yükünün pozitif olması dolayısıyla başlangıç hızları düşmektedir. Bu durumda ortamda bulunan hidrojen iyonları ile metal katyonları mikroorganizmaya bağlanmak için yarışacakları için mikroorganizma ile metal arasındaki etkileşim azalacaktır. Mikroorganizma ile kadmiyum (II) iyonlarının en iyi etkileşimi ise pH= 5 değerinde gerçekleşmektedir.

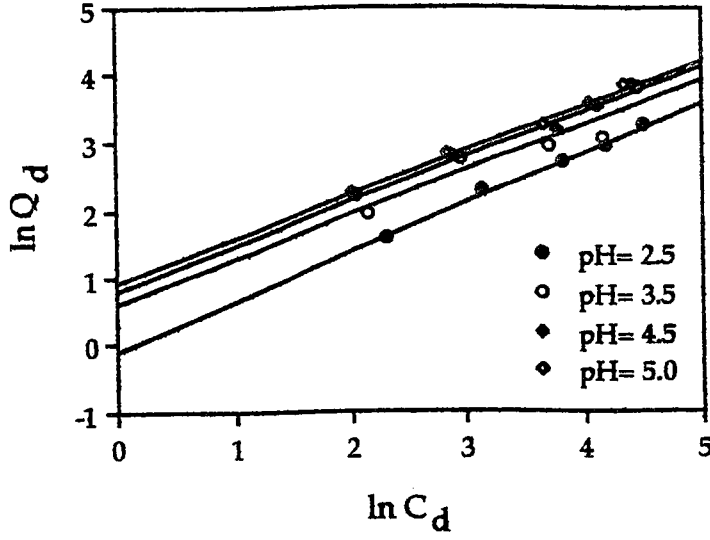
Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich ve Langmuir izotermeleri Şekil 4. 103 ve Şekil 104' de görülmektedir. Freundlich izotermelerinden elde edilen adsorbsiyon sabitleri (Tablo 4. 1), Langmuir izotermelerinden elde edilen adsorbsiyon sabitleri (Tablo 4. 2) karşılaştırıldığında her iki izotermin uyum içerisinde olduğu ve en yüksek adsorbsiyon kapasitesine pH= 5 değerinde ulaşıldığı belirtilebilir.

karşılaştırıldığında her iki izotermin uyum içerisinde olduğu ve en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH= 5 değerinde ulaşıldığı belirtilebilir.

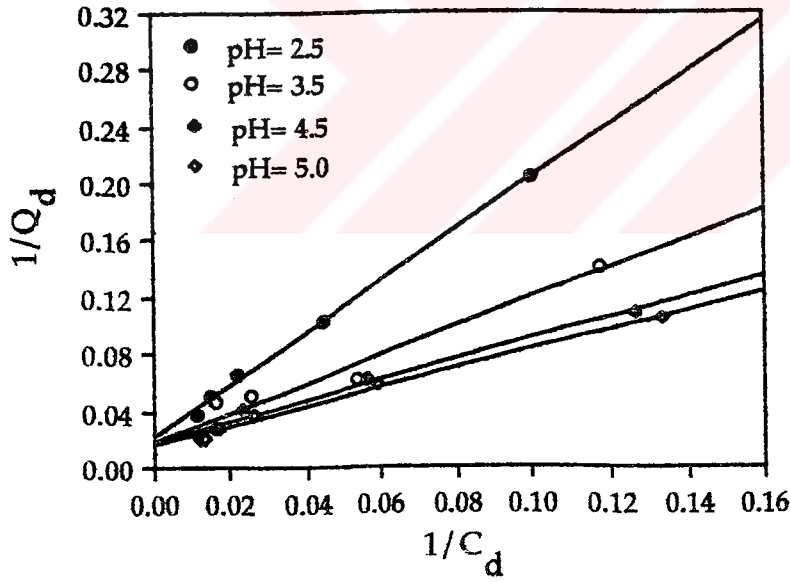
K_f ve n' nin büyüklüğü atıksulardaki ağır metal iyonlarının mikroorganizmalarla kolaylıkla uzaklaştırılabileceğini gösterir. n' nin 1' den küçük değerlerinde yüzey tabakası arasındaki kuvvetler birbirlerini çekerler. 1' den büyük değerlerinde ise bu kuvvetler birbirlerini iterler. Deneysel n değerlerinin 1' den büyük olması kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a adsorpsiyonla bağlandığını göstermektedir. Ayrıca Q^0 değerlerinin q_d değerlerinden büyük olması metal iyonlarının mikroorganizmaya tek tabaka halinde bağlandığının bir göstergesidir.



Şekil 4. 102. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0=0.5$ g/L; $C_0=100$ mg/L; $T=30$ ° C; $KH=120$ rpm)



Şekil 4. 103. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L, $T = 30$ °C, $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 104. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 1. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	K _f	n	1/n
2,5	1,907	1,346	0,743
3,5	1,816	1,494	0,669
4,5	2,242	1,488	0,672
5,0	2,478	1,496	0,668

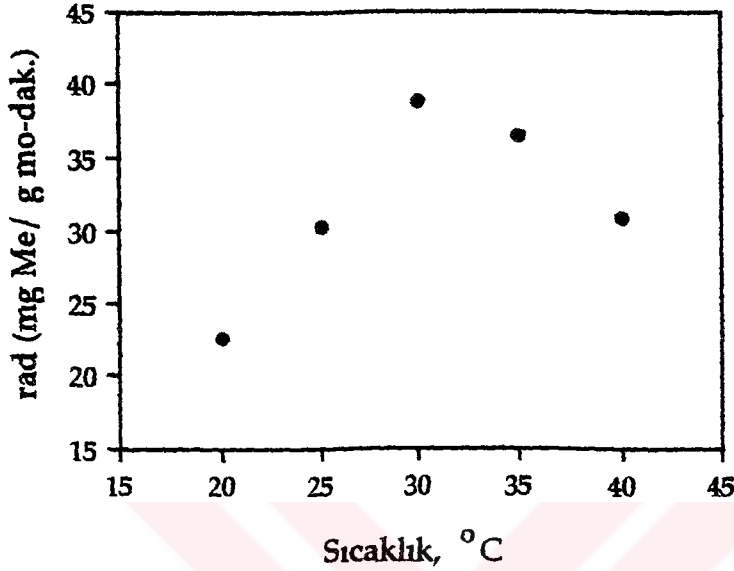
Tablo 4. 2. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	Q ^o (mgCd ⁺² / g-mo)	b (l/ mg)
2,5	44,64	0,0122
3,5	52,37	0,0187
4,5	55,24	0,0245
5,0	60,03	0,0250

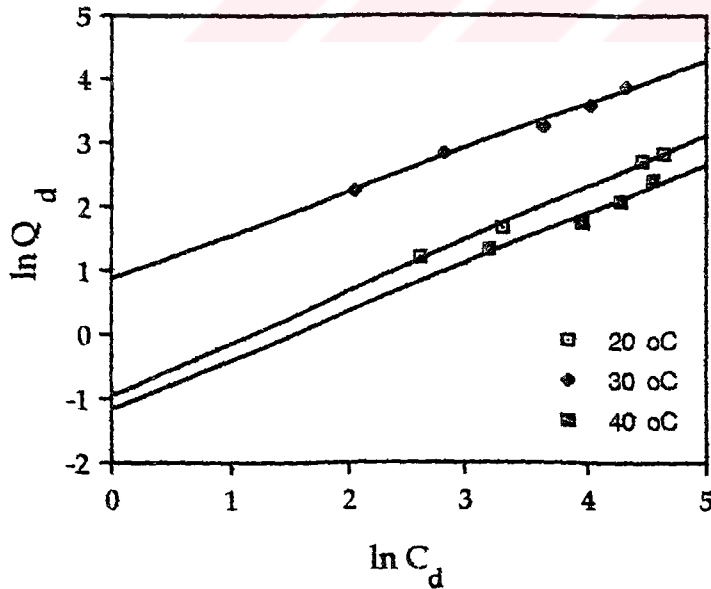
4. 3. 1. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunun en çok 30 °C' de gerçekleştiği, daha düşük ve daha yüksek sıcaklıklarda ise ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı Şekil 4. 105' de görülmektedir. Düşük sıcaklık değerlerinden başlayarak sıcaklığın artırılması ile biyosorbent yüzeyindeki gözeneklerin genişlemesiyle hızlar artmakta, yüksek sıcaklıklarda ise, adsorpsiyonun ekzotermikliğinden dolayı başlangıç adsorpsiyon hızları düşmektedir. Ağır metal iyonlarının mikroorganizmalara zayıf bağlarla bağlanması pasif adsorpsiyonun sonucudur. Yüksek sıcaklıkta bu bağlar kopar ve adsorpsiyonun tersinir özelliğinden dolayı desorpsiyon hızının önemi artarak, hızı azaltıcı etki gösterir. Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve 40 °C değerlerindeki Freundlich ve Langmuir İzotermeleri sırasıyla Şekil 4. 106 ve

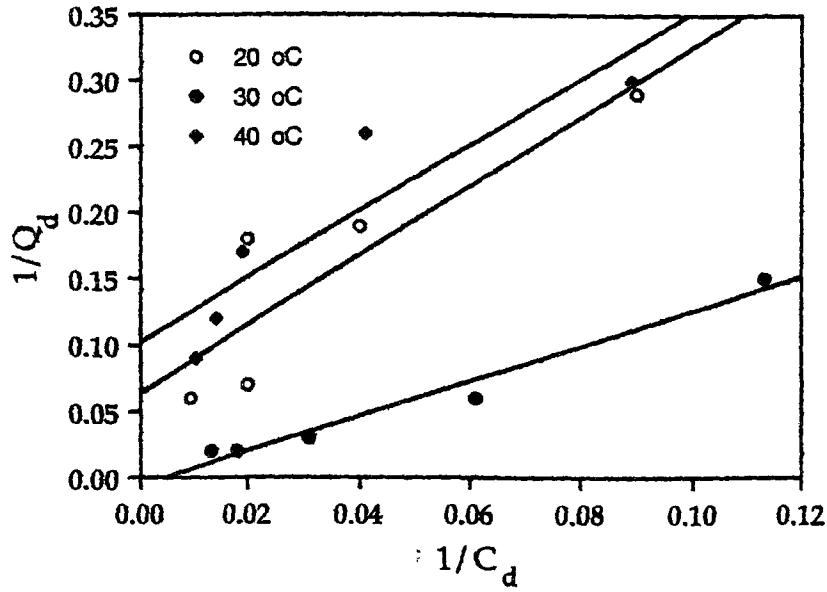
Şekil 4. 107' de bu izotermlerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 3 ve Tablo 4. 4' de verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermlerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine 30 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 105. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; KH= 120 rpm)



Şekil 4. 106. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L, pH = 5, KH = 120 rpm)



Şekil 4. 107. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; pH = 5; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 3. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

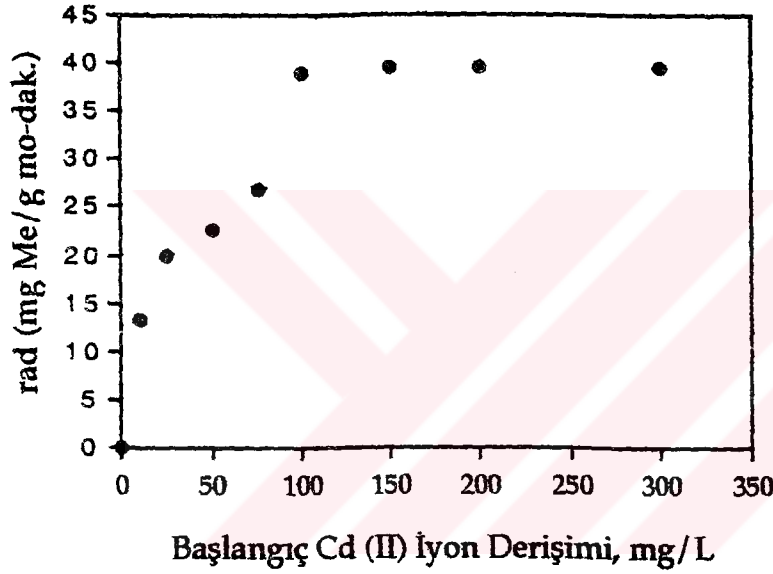
T, °C	Kf	n	1/n
20	0,575	1,440	0,694
30	2,478	1,496	0,668
40	0,731	1,773	0,564

Tablo 4. 4. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q^0 (mg Cd ²⁺ /g-mo)	b (l/mg)
20	15,63	0,0243
30	60,03	0,0250
40	19,82	0,0245

4. 3. 1. 3. Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 108' de görülmektedir. Adsorpsiyon ortamındaki metal iyon derişimlerinin artırılması ile adsorpsiyon için gerekli derişim farkı artacağından, başlangıç adsorpsiyon hızları da artmaktadır. Ancak 100 mg/L başlangıç metal iyon derişiminden sonra hücre yüzeyinin, metal iyonlarınca doygunluğa erişmesi nedeniyle hızlar yaklaşık sabitleşmektedir. Ayrıca yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin düşük olduğu Tablo 4. 5' den görülmektedir.



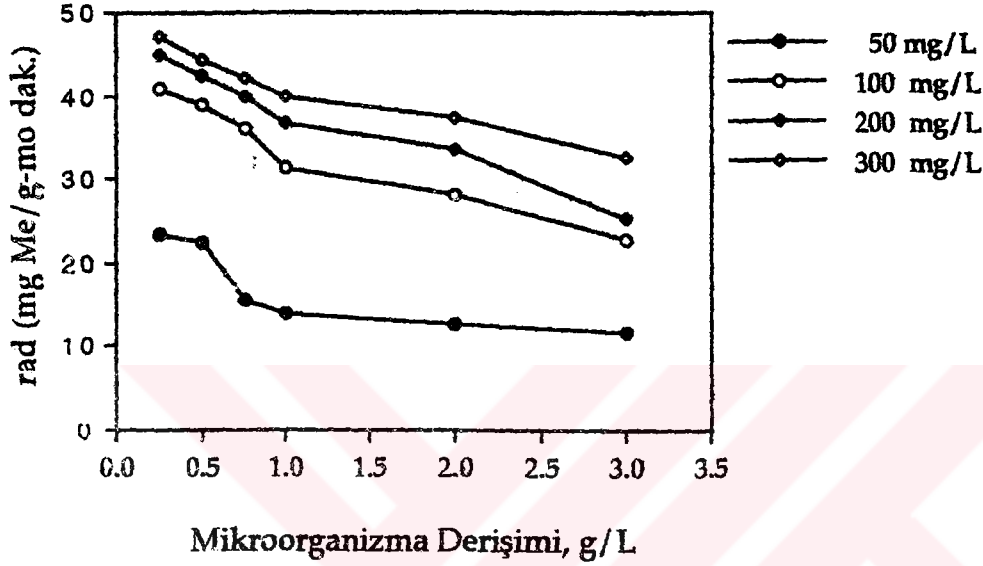
Şekil 4. 108. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_0=0.5$ g/L; $T=30$ °C; $pH=5$; $KH=120$ rpm)

Tablo 4. 5. Çeşitli Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_0 (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	γ_{qmax/C_0} (l/g)
12,24	5,15	10,30	0,842
25,43	9,89	19,78	0,778
51,32	19,32	38,64	0,753
74,72	24,22	48,44	0,648
100,95	25,74	51,48	0,509
205,40	27,01	54,02	0,263
301,21	31,00	62,00	0,206

4. 3. 1. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda mikroorganizma derişiminin artışına bağı olarak adsorpsiyon hızlarında azalma gözlenmiştir (Şekil 109). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



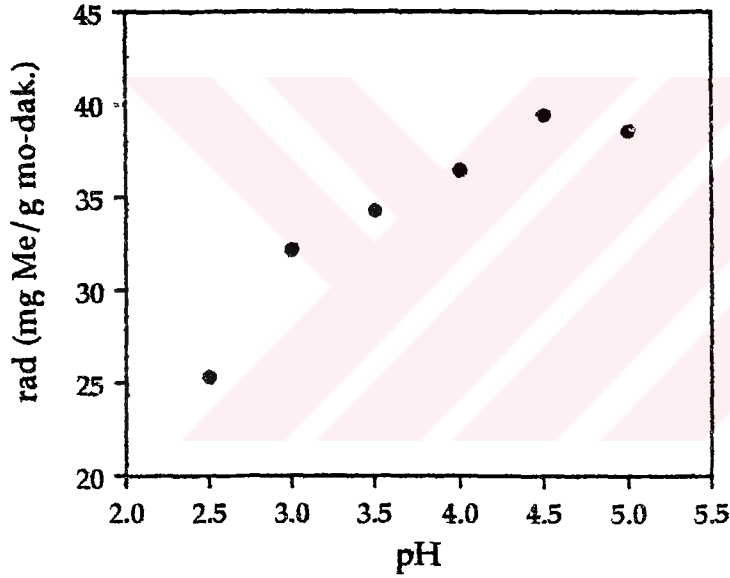
Şekil 4. 109. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi (T = 30 °C; pH = 5, KH = 120 rpm)

4. 3. 2. Kurşun (II) adsorpsiyonu

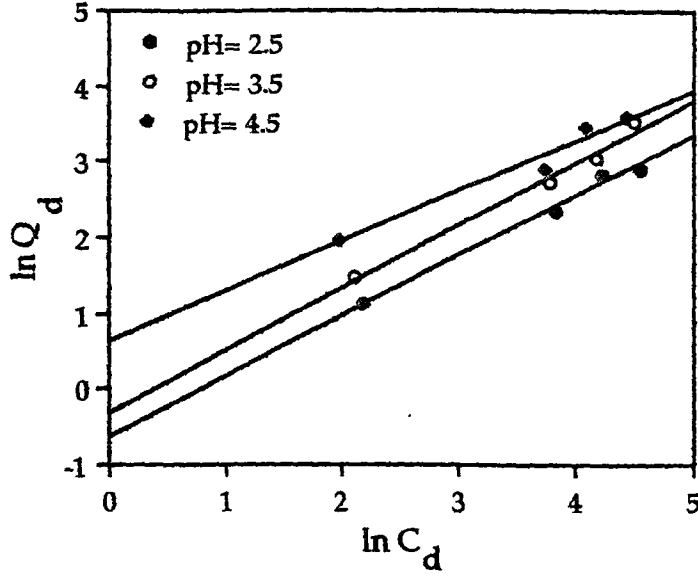
4. 3. 2. 1. Başlangıç pH'sının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde ilk adsorpsiyon hızları oldukça düşükken, pH= 4 - 4,5 değerinde adsorpsiyon hızı yüksektir (Şekil 4. 110).

Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 4. 111' de, izotermi elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 6' da verilmiştir. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a adsorpsiyonunda en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH = 4,5 değerinde ulaşılmıştır. Başlangıç pH değerlerinin düşmesi ile adsorpsiyon dengesi olumsuz yönde etkilenmekte ve adsorpsiyon kapasitesini düşürmektedir. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Langmuir İzotermi Şekil 4. 112' de izotermi elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 7' de verilmiştir. Metal iyonlarının birim mikroorganizma ağırlığı başına mikroorganizma yüzeyinde tek bir tabaka oluşturmak üzere adsorplanan maksimum kurşun miktarı pH = 4,5 değerinde elde edilmiştir.



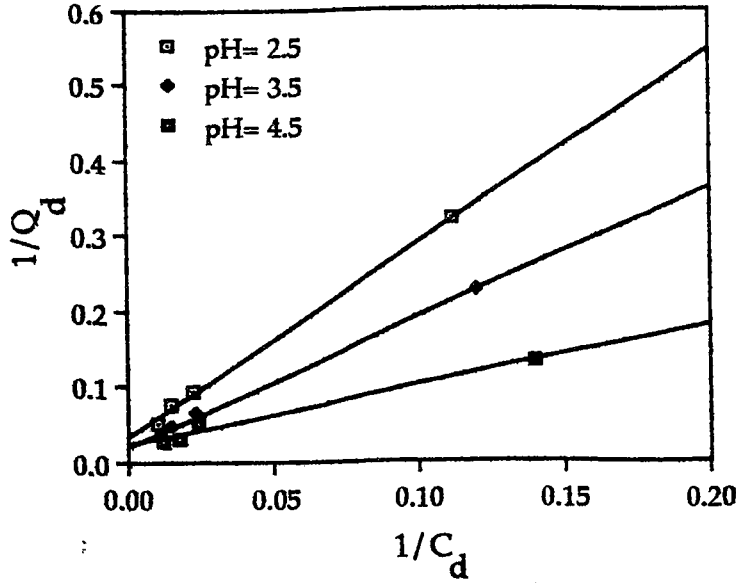
Şekil 4. 110. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH'sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 111. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 6. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' ısı	Kf	n	1/n	r ²
2,5	0,549	1,215	0,822	0,990
3,5	0,739	1,269	0,772	0,983
4,5	2,704	1,782	0,561	0,967



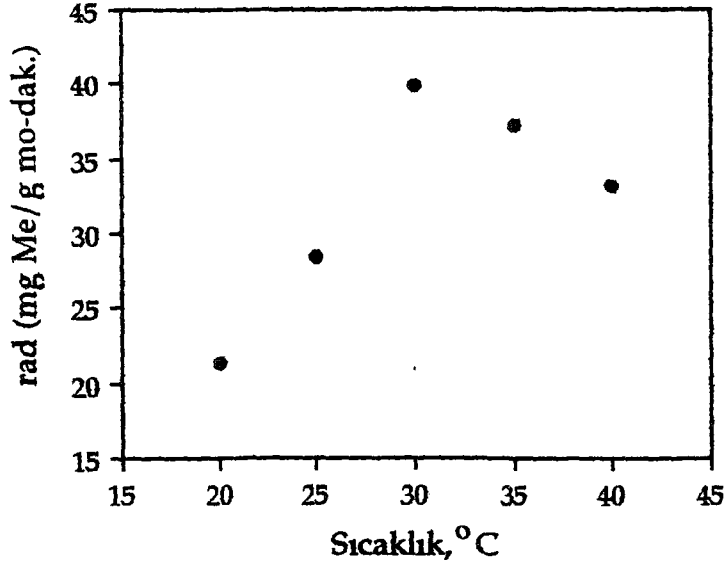
Şekil 4. 112 Kurşun İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5 \text{ g/L}$; $T = 30^\circ\text{C}$; $KH = 120 \text{ rpm}$)

Tablo 4. 7. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

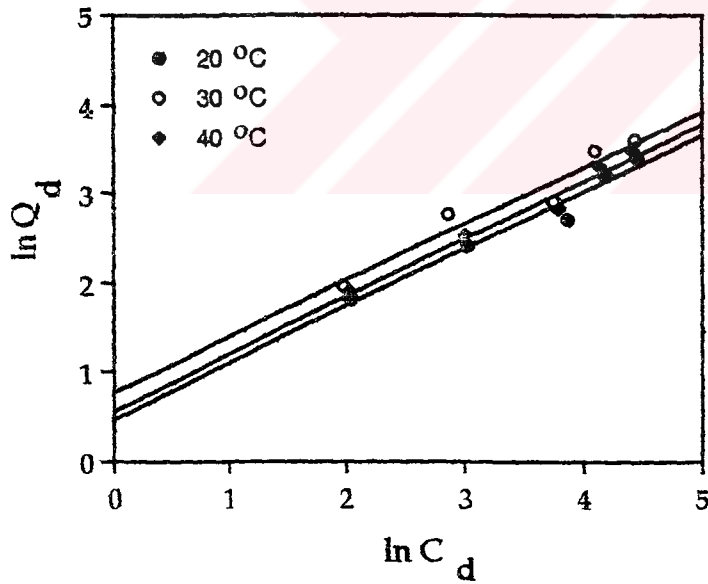
Başlangıç pH' sı	Q^0 (mg Cd^{+2} / g-mo)	b (l/mg)	r^2
2,5	20,63	0,0368	0,998
3,5	45,82	0,0127	0,999
4,5	48,15	0,0255	0,973

4. 3. 2. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermiinin elde edilmesi

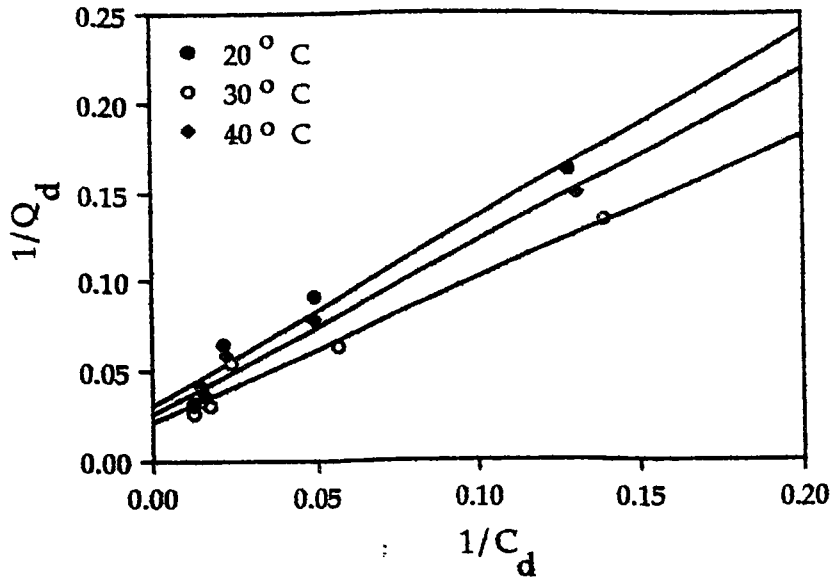
Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunun en çok 30°C 'de gerçekleştiği, daha düşük ve daha yüksek sıcaklıklarda ise ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı Şekil 4. 113' de görülmektedir. Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve 40°C değerlerindeki Freundlich ve Langmuir İzotermiileri sırasıyla Şekil 4. 114 ve Şekil 4. 115' de; bu izotermiilerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise, Tablo 4. 8 ve Tablo 4. 9' da verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermiilerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine 30°C sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 113. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 114. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $pH = 5$; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 115. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0,5 \text{ g/L}$; $\text{pH} = 5$; $\text{KH} = 120 \text{ rpm}$)

Tablo 4. 8. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

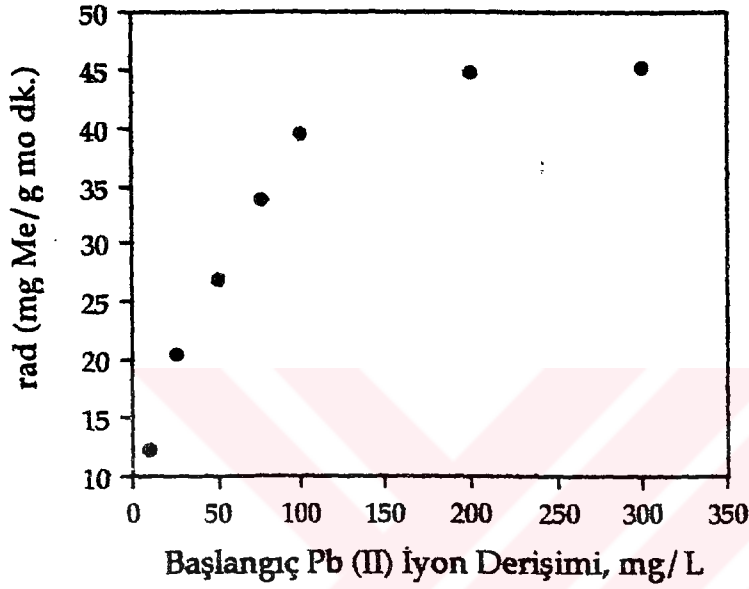
T, °C	Kf	n	1/n	r ²
20	1,607	1,573	0,636	0,963
30	3,478	1,948	0,513	0,944
40	1,765	1,555	0,643	0,968

Tablo 4. 9. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q ⁰ (mg Cd ⁺² /g-mo)	b (l/mg)	r ²
20	31,99	0,0298	0,964
30	43,27	0,0308	0,969
40	36,57	0,0287	0,974

4. 2. 2. 3. Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 116' da görülmektedir. Tablo 4. 10' dan düşük metal iyon derişimlerinde yüksek, yüksek metal iyon derişimlerinde ise daha düşük adsorpsiyon hız ve mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin bulunduğu görülmektedir.



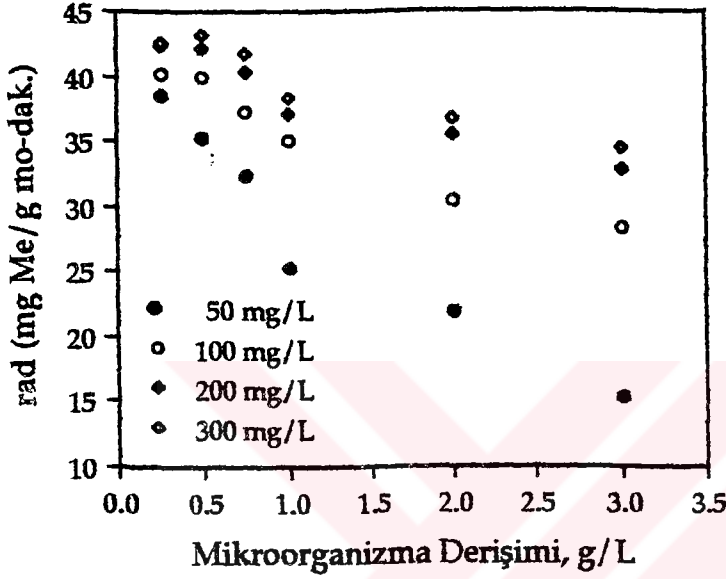
Şekil 4. 116. Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 10. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_0 (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	Y_{qmax}/C_0 (l/g)
10,31	3,11	6,22	0,603
25,45	7,92	15,84	0,622
51,49	9,29	18,58	0,360
76,09	16,08	32,16	0,422
102,31	18,31	36,62	0,357
203,41	21,41	42,82	0,210
303,29	23,19	46,38	0,153

4. 2. 2. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda ortamdaki mikroorganizma derişiminin artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4. 117). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



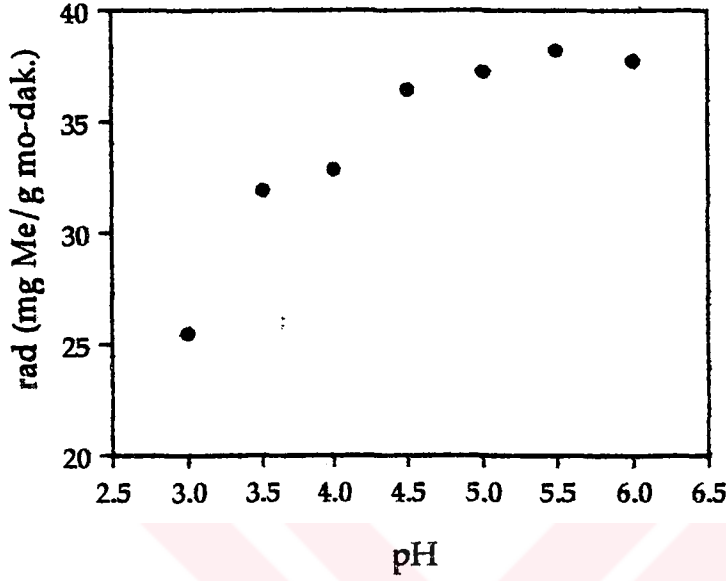
Şekil 4. 117. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Kurşun (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($T = 30^{\circ}$; $pH = 5$, $KH = 120$ rpm)

4. 3. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu

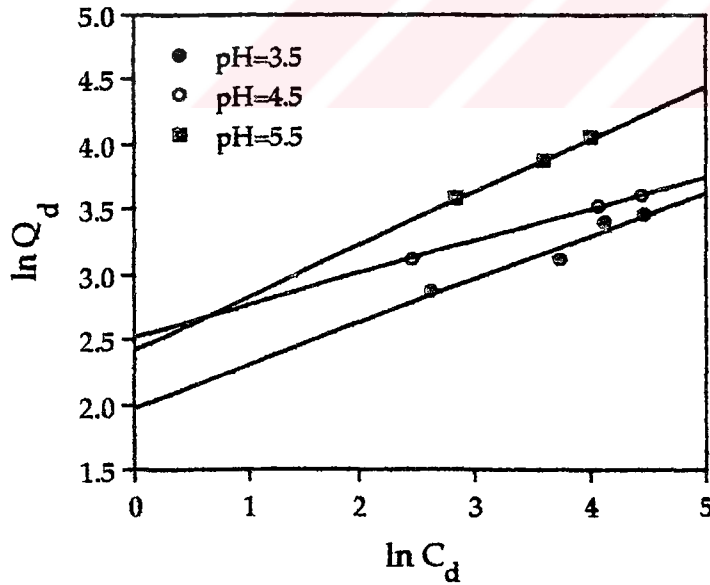
4. 3. 3. 1. Başlangıç pH'sının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde adsorpsiyon hızları oldukça düşükken $pH = 5,5$ değerinde adsorpsiyon hızı yüksektir (Şekil 4. 118). $pH = 5,5$ 'da mikroorganizma ile bakır (II) iyonları arasında en yüksek etkileşim olmaktadır.

Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 4. 119' da, izotermiilerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 11' de verilmiştir. Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH= 5,5 değerinde ulaşılmıştır.



Şekil 4. 118. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

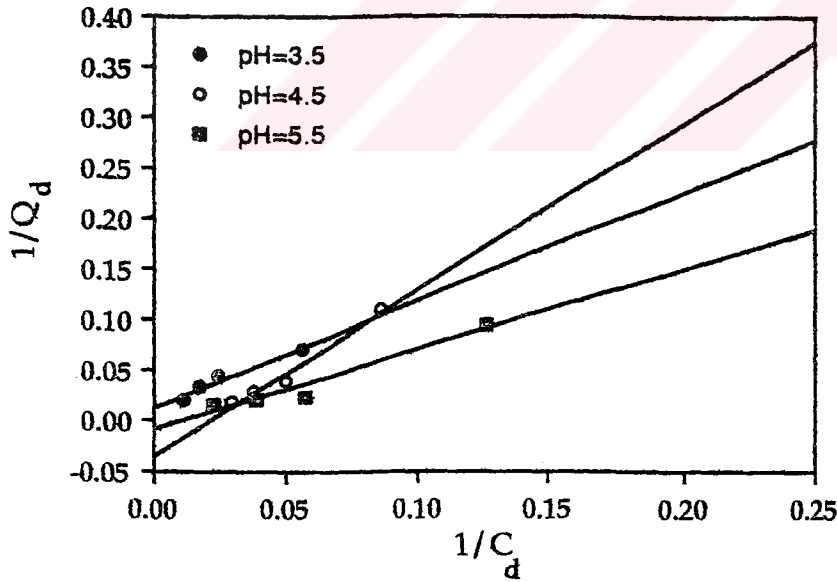


Şekil 4. 119. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermiileri ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 11. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	Kf	n	1/n	r ²
3,5	4,929	2,505	0,399	0,923
4,5	6,996	2,910	0,444	0,999
5,5	8,959	3,363	0,297	0,994

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Langmuir İzotermi Şekil 4. 120' de izotermlerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 12' de verilmiştir. Metal iyonlarının birim mikroorganizma ağırlığı başına mikroorganizma yüzeyinde tek bir tabaka oluşturmak üzere adsorplanan maksimum bakır miktarı pH = 5,5 değerinde elde edilmiştir.



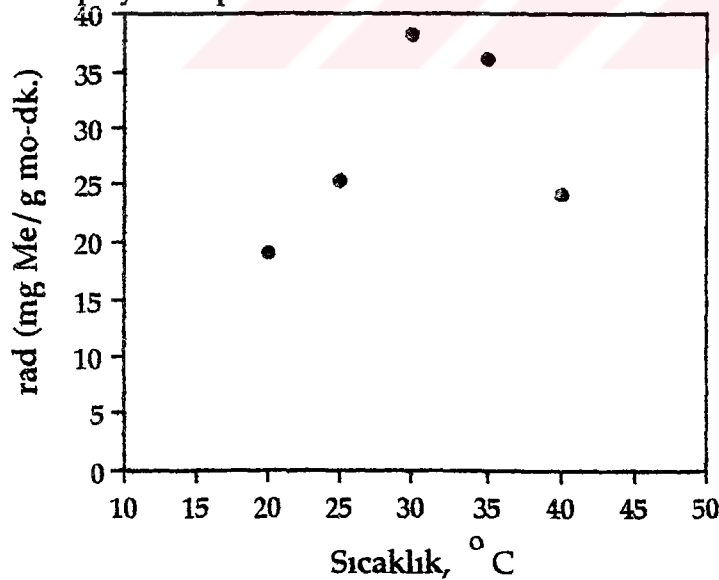
Şekil 4. 120. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (X₀ = 0,5 g/L; T = 30 °C; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 12. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

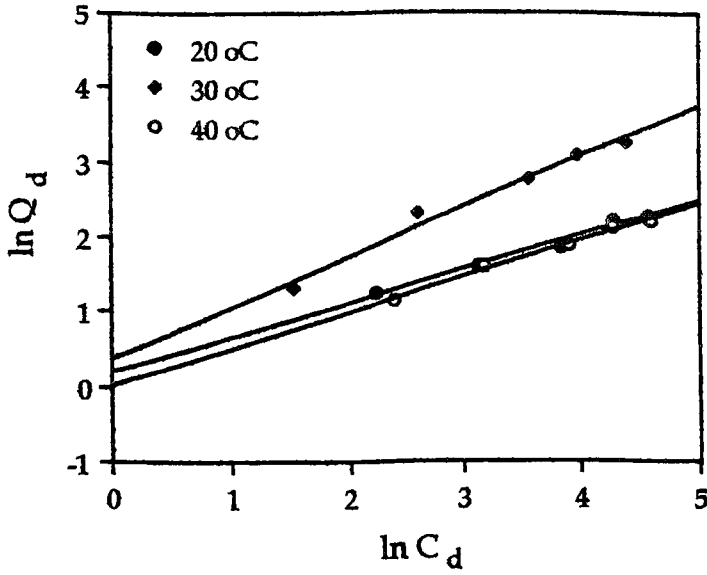
Başlangıç pH' ısı	Q^0 (mg Cd^{+2} /g-mo)	b (l/mg)	r^2
3,5	34,40	0,047	0,961
4,5	37,25	0,074	0,981
5,5	50,97	0,609	0,945

4. 3. 3. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi

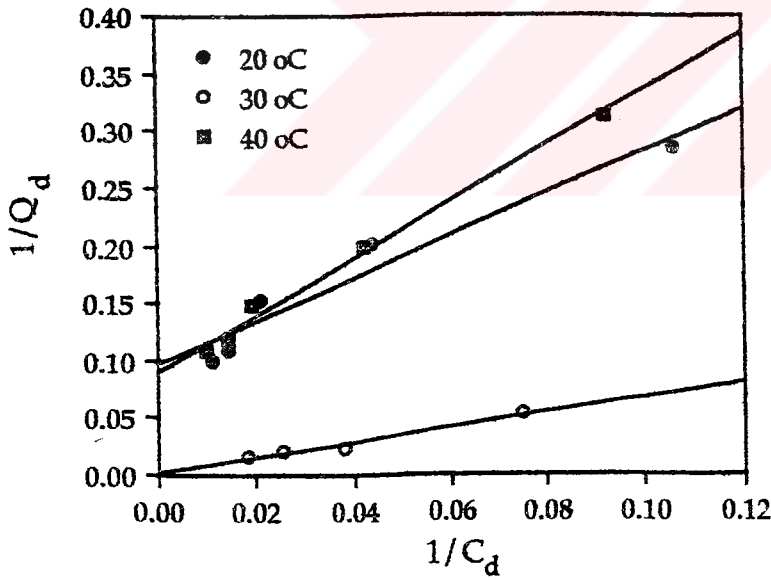
Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda sıcaklığın 30 °C' ye kadar artışı adsorpsiyon hızını artırmakta, daha yüksek sıcaklıkta ise hızın düşmesine neden olmaktadır (Şekil 4. 121). Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve 40 ° C değerlerindeki Freundlich ve Langmuir İzotermi sırasıyla Şekil 4. 122 ve Şekil 4. 123' de, bu izotermlerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 13 ve Tablo 4. 14' de verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermlerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine 30 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 121. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 122. Bakır İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,5; KH = 120 rpm)



Şekil 4. 123. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,5; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 13. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

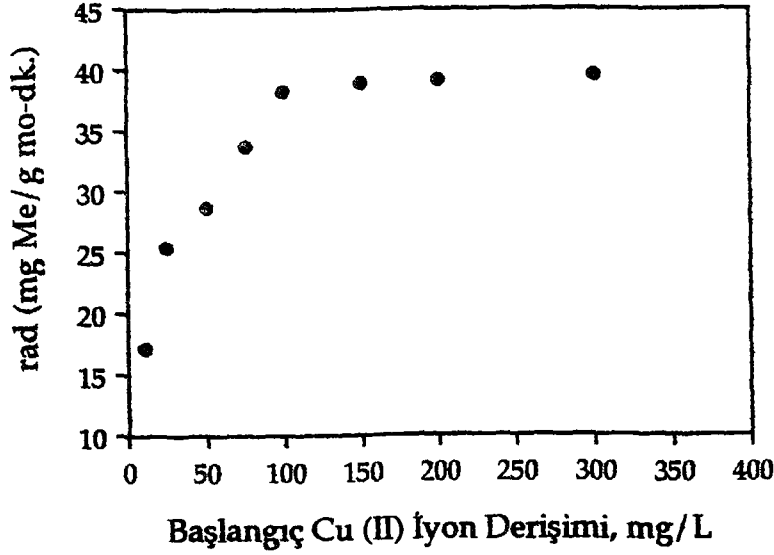
T, °C	K _f	n	1/n	r ²
20	4,817	2,068	0,483	0,982
30	8,959	3,363	0,297	0,981
40	5,015	2,063	0,485	0,992

Tablo 4. 14. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q ^o (mg Cu ⁺² /g-mo)	b (l/mg)	r ²
20	10,32	0,0520	0,938
30	50,97	0,609	0,963
40	11,06	0,0368	0,989

4.33.3. Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 124 ' de görülmektedir. Tablo 4. 15' den düşük metal iyon derişimlerinde yüksek, yüksek metal iyon derişimlerinde ise daha düşük adsorpsiyon hız ve mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin bulunduğu görülmektedir.



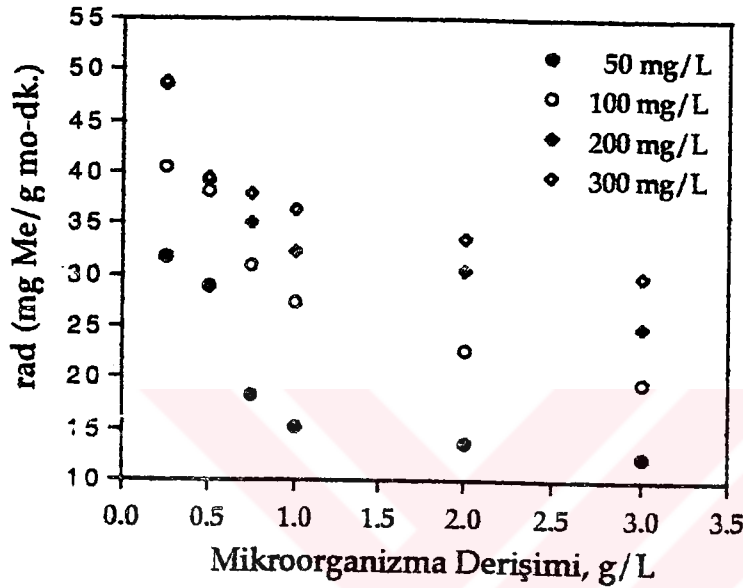
Şekil 4. 124. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 5.5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 15. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_0 (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	Y_{qmax}/C_0 (l/g)
25.59	20.60	41.20	1.610
57.00	22.59	45.18	0.792
78.00	26.00	52.00	0.667
109.11	29.40	58.80	0.539
200.21	49.88	99.76	0.498
300.81	30.85	61.96	0.205

4. 3. 3. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda ortamdaki mikroorganizma derişiminin artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4. 125). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



Şekil 4. 125. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Bakır (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($T = 30^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 5,5$; $\text{KH} = 120 \text{ rpm}$)

4. 4. Kesikli Düzende Çalışan Karıştırmalı Kapta Metalli Ortamda Üretilen *R. arrhizus* 'a Metal Adsorpsiyonu

Ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerini içeren (50 mg/L Metal) besin ortamında üretilerek, inaktif hale getirilen kuru *R. arrhizus* ' un kullanıldığı adsorpsiyon çalışmalarında; ilk adsorpsiyon hızını ve mikroorganizmanın metal alma etkinliğini etkileyen başlangıç pH' sı, sıcaklık, başlangıç metal iyon derişimi ve mikroorganizma derişiminin etkileri kesikli düzende çalışan karıştırmalı kapta incelenmiştir.

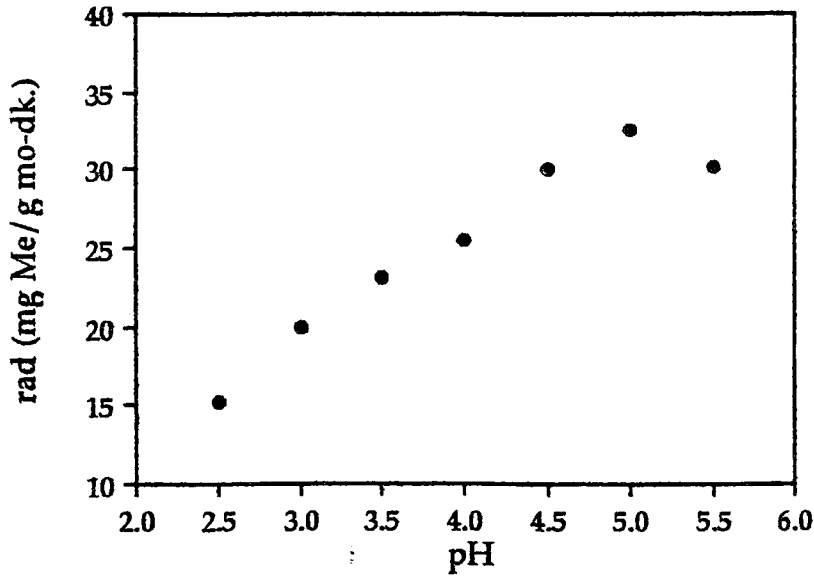
4. 4. 1. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu

4. 4. 1. 1. Başlangıç pH' sının etkisi ve farklı başlangıç pH' larında adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi

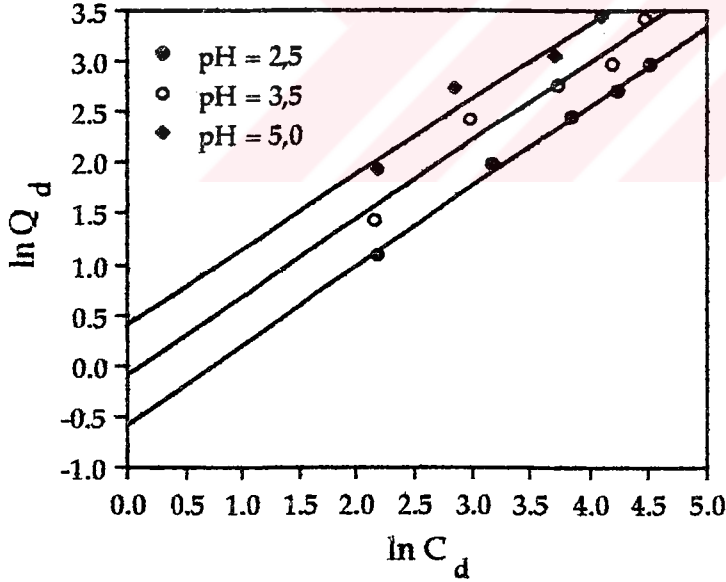
Kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda başlangıç pH' sının ilk adsorpsiyon hızlarına etkisi Şekil 4. 126' da verilmiştir. pH değerlerinin artışıyla birlikte ilk adsorpsiyon hızları artarken, düşük başlangıç pH' larında ise azalmaktadır. Mikroorganizma ile kadmiyum (II) iyonlarının en iyi etkileşimi ise pH= 5 değerinde gerçekleşmektedir.

Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich ve Langmuir izotermi Şekil 4. 127 ve Şekil 4. 128 ' de görülmektedir. Freundlich izotermielerinden elde edilen adsorpsiyon sabitleri Tablo 4. 16' da; Langmuir izotermielerinden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 17 ' den görülmektedir. Tablolardaki adsorpsiyon sabitleri karşılaştırıldığında her iki izotermi uyum içerisinde olduğu ve en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH = 5 değerinde ulaşıldığı belirtilebilir.

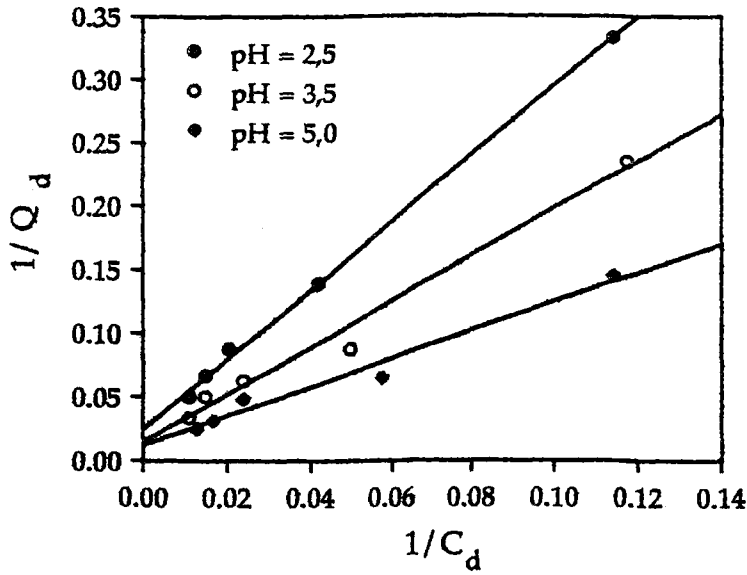
K_f ve n ' nin büyüklüğü atıksulardaki ağır metal iyonlarının mikroorganizmalarla kolaylıkla uzaklaştırılabileceğini gösterir. n ' nin 1' den küçük değerlerinde yüzey tabakası arasındaki kuvvetler birbirlerini çekerler. 1' den büyük değerlerinde ise bu kuvvetler birbirlerini iterler. Deneysel n değerlerinin 1' den büyük olması kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonla bağlandığını göstermektedir. Ayrıca Q^0 değerlerinin q_d değerlerinden büyük olması metal iyonlarının mikroorganizmaya tek tabaka halinde bağlandığının bir göstergesidir.



Şekil 4. 126. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ ° C; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 127. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ ° C; $KH = 120$ rpm)



Şekil 4. 128. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0=0.5$ g/L; $T=30$ °C; $KH=120$ rpm)

Tablo 4. 16. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

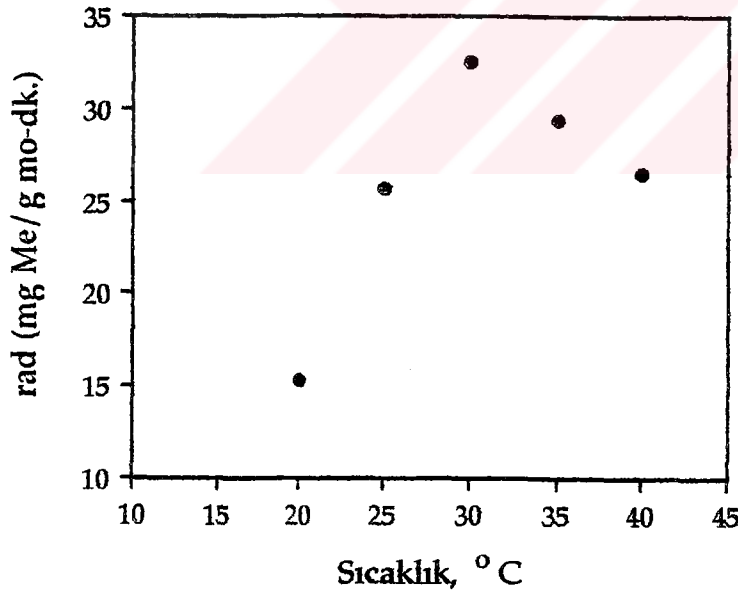
Başlangıç pH' sı	K _f	n	1/n	r ²
2,5	0,555	1,268	0,788	0,999
3,5	0,913	1,298	0,770	0,982
5,0	1,527	1,349	0,741	0,973

Tablo 4. 17. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus*'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

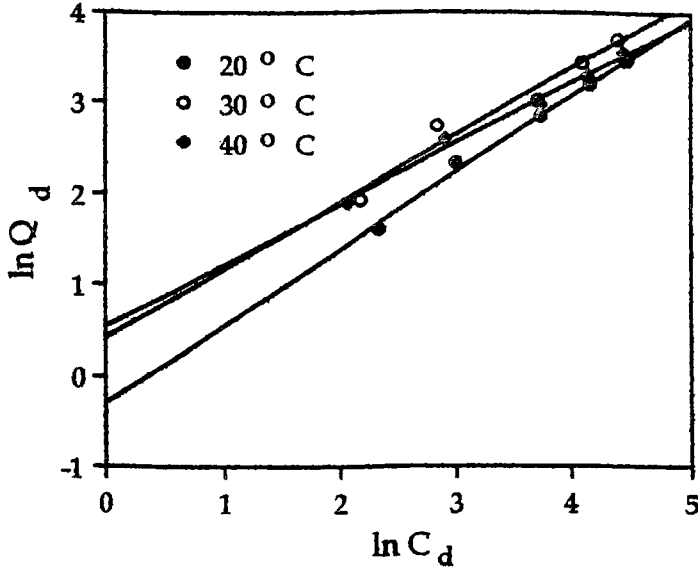
Başlangıç pH' sı	Q ⁰ (mgCd ⁺² /g-mo)	b (l/mg)	r ²
2,5	39,16	0,0095	0,998
3,5	72,87	0,0074	0,959
5,0	85,26	0,0104	0,962

4. 4. 1. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

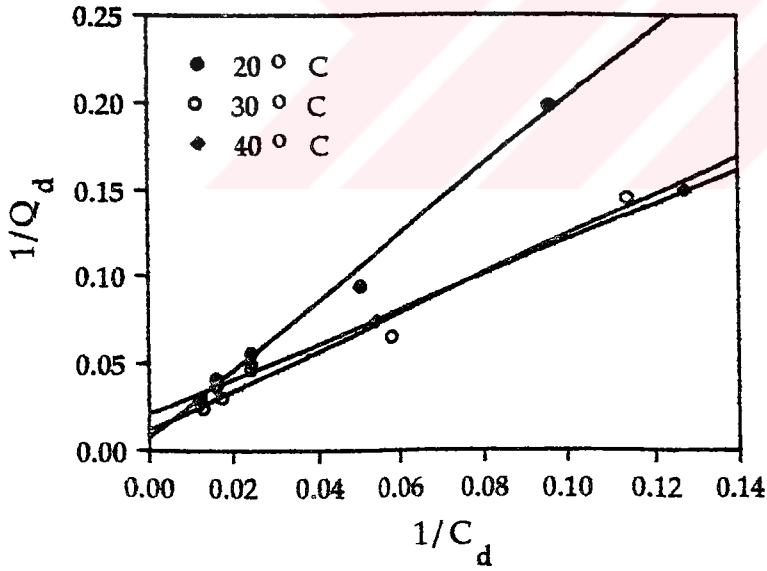
Kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunun en çok 30 °C' de gerçekleştiği, daha düşük ve daha yüksek sıcaklıklarda ise ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı Şekil 4. 129' da görülmektedir. Düşük sıcaklık değerlerinden başlayarak sıcaklığın artırılması ile biyosorbent yüzeyindeki gözeneklerin genişlemesiyle hızlar artmakta, yüksek sıcaklıklarda ise, adsorpsiyonun ekzotermikliğinden dolayı başlangıç adsorpsiyon hızları düşmektedir. Ağır metal iyonlarının mikroorganizmalara zayıf bağlarla bağlanması pasif adsorpsiyonun sonucudur. Yüksek sıcaklıkta bu bağlar kopar ve adsorpsiyonun tersinir özelliğinden dolayı desorpsiyon hızının önemi artarak, hızı azaltıcı etki gösterir. Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve 40 °C değerlerindeki Freundlich ve Langmuir İzotermeleri sırasıyla Şekil 4. 130. ve Şekil 4. 131' de bu izotermelerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 18 ve Tablo 4. 19' da verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermelerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine 30 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 129. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,0; KH= 120 rpm)



Şekil 4. 130. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5 \text{ g/L}$, $\text{pH} = 5$; $\text{KH} = 120 \text{ rpm}$)



Şekil 4. 131. Kadmiyum İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5 \text{ g/L}$; $\text{pH} = 5$; $\text{KH} = 120 \text{ rpm}$)

Tablo 4. 18. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

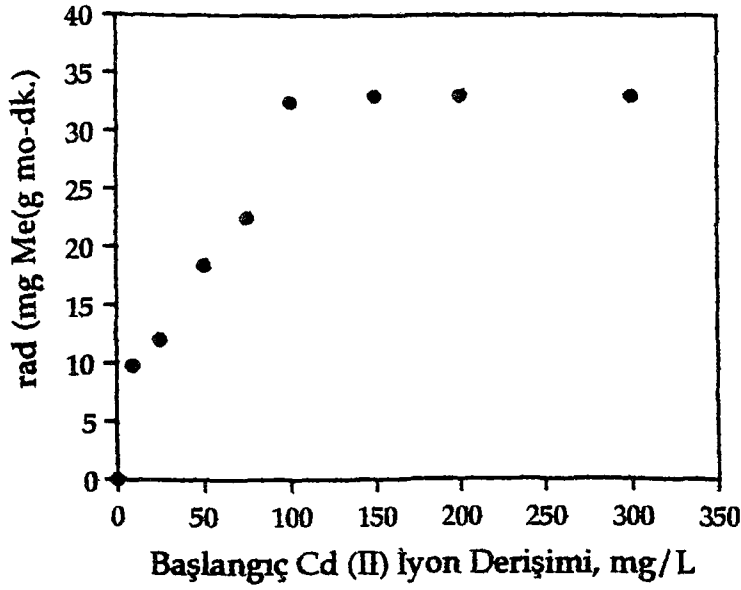
T, °C	Kf	n	1/n	r ²
20	1,066	1,317	0,759	0,992
30	1,527	1,349	0,741	0,962
40	1,505	1,993	0,502	0,987

Tablo 4. 19. Kadmiyum (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q ^o (mg Cd ⁺² /g-mo)	b (l/ mg)	r ²
20	71,86	0,0085	0,994
30	85,26	0,0104	0,973
40	48,45	0,0204	0,993

4. 4. 1. 3. Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç kadmiyum (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 132' de görülmektedir. Adsorpsiyon ortamındaki metal iyon derişimlerinin artırılması ile adsorpsiyon için gerekli derişim farkı artacağından, başlangıç adsorpsiyon hızları da artmaktadır. Ancak 100 mg/L başlangıç metal iyon derişiminden sonra hücre yüzeyinin, metal iyonlarınca doygunluğa erişmesi nedeniyle hızlar yaklaşık sabitleşmektedir. Ayrıca yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin düşük olduğu Tablo 4. 20 ' den görülmektedir.



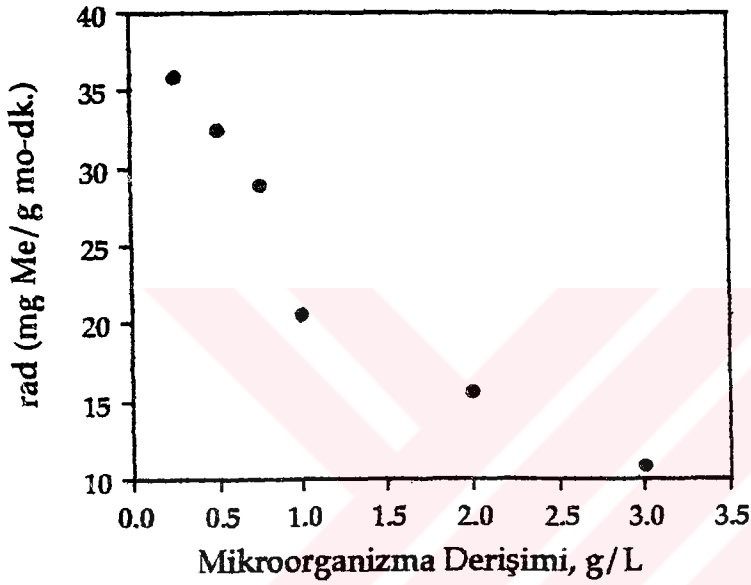
Şekil 4. 132. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_0=0.5$ g/L; $T=30$ °C; $pH=5$; $KH=120$ rpm)

Tablo 4. 20. Çeşitli Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_0 (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	Y_{qmax}/C_0 (L/g)
10.24	4.25	8.5	0.830
27.43	7.79	15.58	0.568
55.72	15.39	30.78	0.552
70.72	19.83	35.66	0.504
101.45	23.85	47.70	0.470
200.45	23.41	46.82	0.233
300.78	29.40	58.80	0.195

4. 4. 1. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus* a adsorpsiyonunda mikroorganizma derişiminin artışına bağı olarak adsorpsiyon hızlarında azalma gözlenmiştir (Şekil 133). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



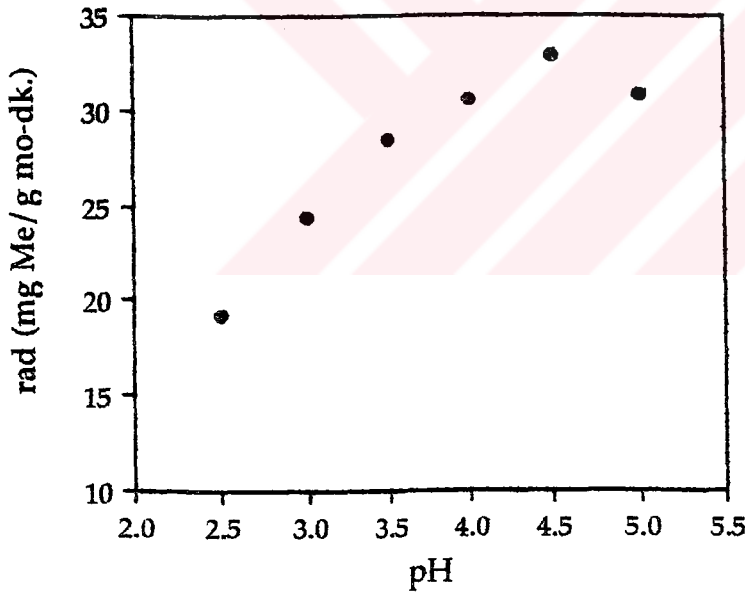
Şekil 4. 133. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($T = 30^{\circ}\text{C}$; $\text{pH} = 5$, $\text{KH} = 120 \text{ rpm}$)

4. 4. 2. Kurşun (II) adsorpsiyonu

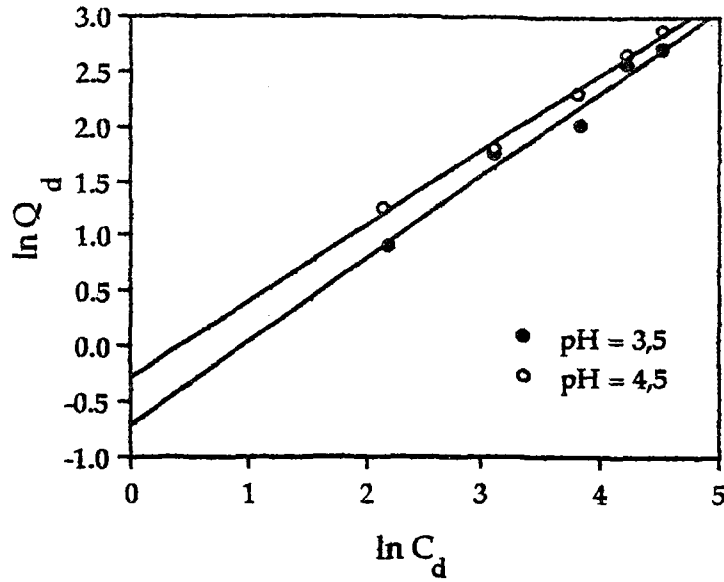
4. 4. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde ilk adsorpsiyon hızları oldukça düşükken, pH = 4,5 değerinde adsorpsiyon hızı yüksektir (Şekil 4. 134).

Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermeleri Şekil 4. 135 ' de, izotermelerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise, Tablo 4. 21 ' de verilmiştir. Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH = 4,5 değerinde ulaşılmıştır. Başlangıç pH değerlerinin düşmesi ile adsorpsiyon dengesi olumsuz yönde etkilenmekte ve adsorpsiyon kapasitesini düşürmektedir.



Şekil 4. 134. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

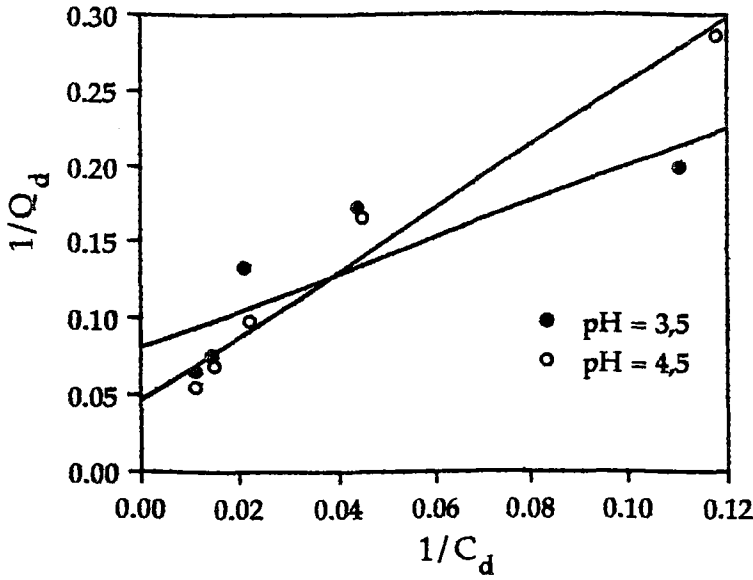


Şekil 4. 135. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5 \text{ g/L}$; $T = 30^\circ\text{C}$; $KH = 120 \text{ rpm}$)

Tablo 4. 21. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	K _f	n	1/n	r ²
3,5	0,320	1,808	0,553	0,778
4,5	0,762	1,452	0,688	0,933

Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Langmuir İzotermi Şekil 4. 136' da izotermiye göre elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 22' de verilmiştir. Metal iyonlarının birim mikroorganizma ağırlığı başına mikroorganizma yüzeyinde tek bir tabaka oluşturmak üzere adsorplanan maksimum kurşun miktarı pH = 4,5 değerinde elde edilmiştir.



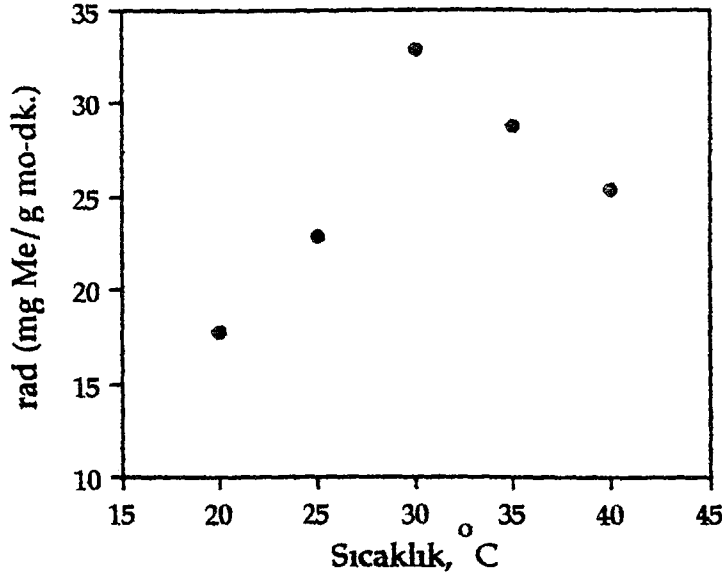
Şekil 4. 136 Kurşun İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5 \text{ g/L}$; $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; $KH = 120 \text{ rpm}$)

Tablo 4. 22. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

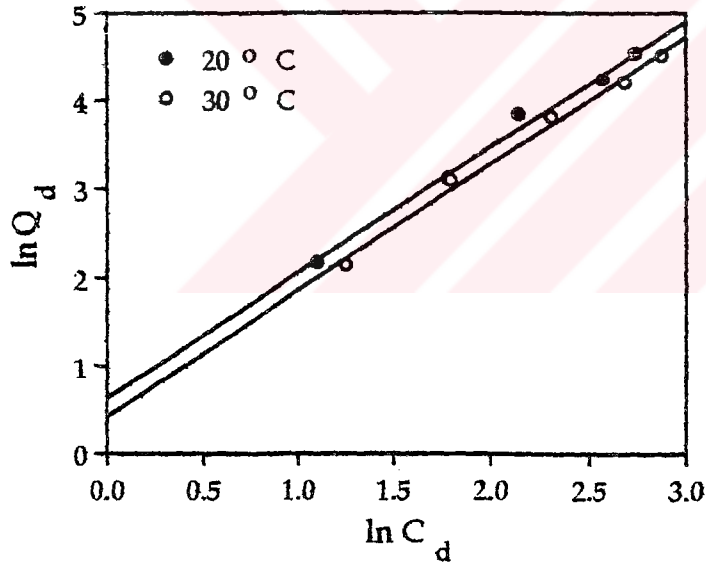
Başlangıç pH' sı	Q^0 (mg Cd^{+2} /g-mo)	b (l/mg)	r^2
3,5	13,51	0,047	0,974
4,5	21,30	0,0224	0,993

4. 4. 2. 2 Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

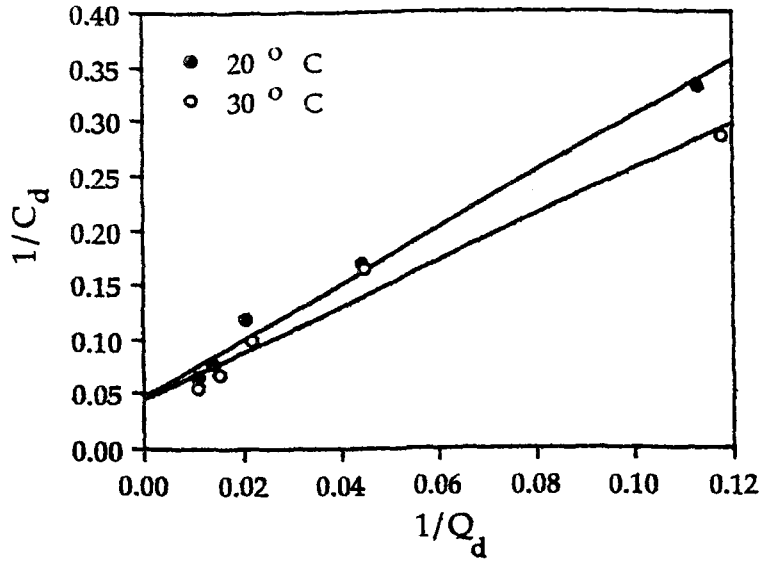
Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a adsorpsiyonunun en çok $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de gerçekleştiği, daha düşük ve daha yüksek sıcaklıklarda ise ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı Şekil 4. 137' de görülmektedir. Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve $40 \text{ }^\circ\text{C}$ değerlerindeki Freundlich ve Langmuir İzotermi sırasıyla Şekil 4. 138 ve Şekil 4. 139' da; bu izotermelerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise, Tablo 4. 23 ve Tablo 4. 24' de verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermelerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine $30 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 137. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 4,5; KH = 120 rpm)



Şekil 4. 138. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; pH = 5; KH = 120 rpm)



Şekil 4. 139. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (X₀= 0,5 g/L; pH= 4,5; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 23. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

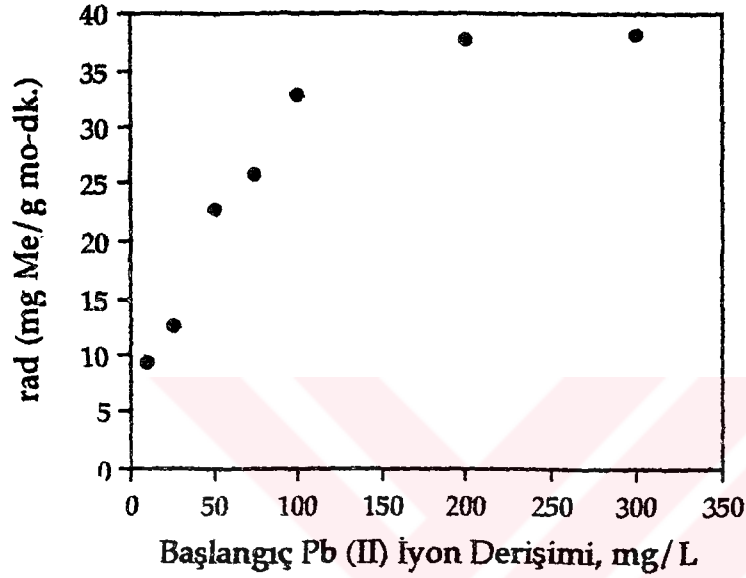
T, °C	K _f	n	1/n	r ²
20	0,664	1,450	0,689	0,973
30	0,762	1,452	0,688	0,982

Tablo 4. 24. Kurşun (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q ^o (mg Cd ⁺² /g-mo)	b (l/ mg)	r ²
20	20,43	0,0192	0,991
30	21,30	0,0224	0,993

4. 4. 2. 3. Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç kurşun (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 140' da görülmektedir. Tablo 4. 25' de düşük metal iyon derişimlerinde yüksek, yüksek metal iyon derişimlerinde ise daha düşük adsorpsiyon hız ve mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin bulunduğu görülmektedir.



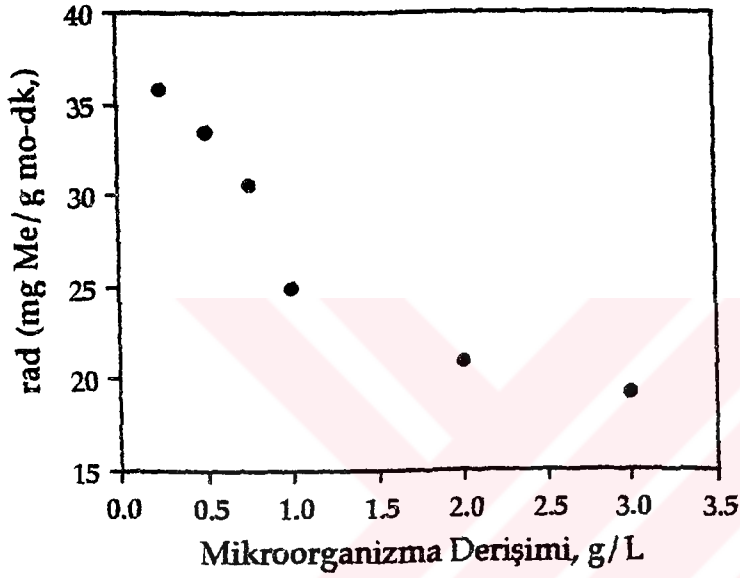
Şekil 4. 140. Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_o = 0.5$ g/L; $T = 30^\circ$ C; $pH = 4,5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 25. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_o (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	Y_{qmax}/C_o (l/g)
13,31	3,25	6,50	0,488
26,75	5,85	11,70	0,437
52,25	7,91	15,82	0,303
76,47	12,30	24,60	0,322
103,52	15,04	30,08	0,291
205,41	20,55	41,10	0,200
300,65	19,55	39,10	0,130

4. 4. 2. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Kurşun (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a adsorpsiyonunda ortamdaki mikroorganizma derişiminin artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4. 141). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



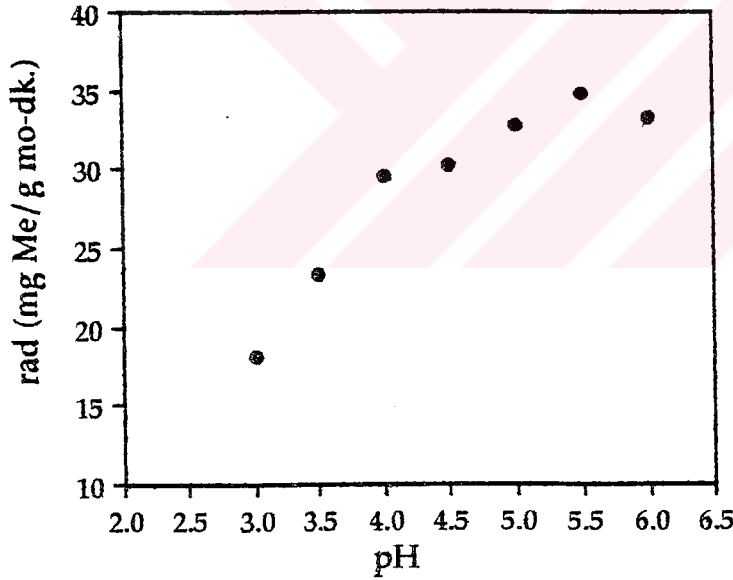
Şekil 4. 141. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Kurşun (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi (T= 30 °C; pH= 4,5; KH = 120 rpm)

4. 4. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu

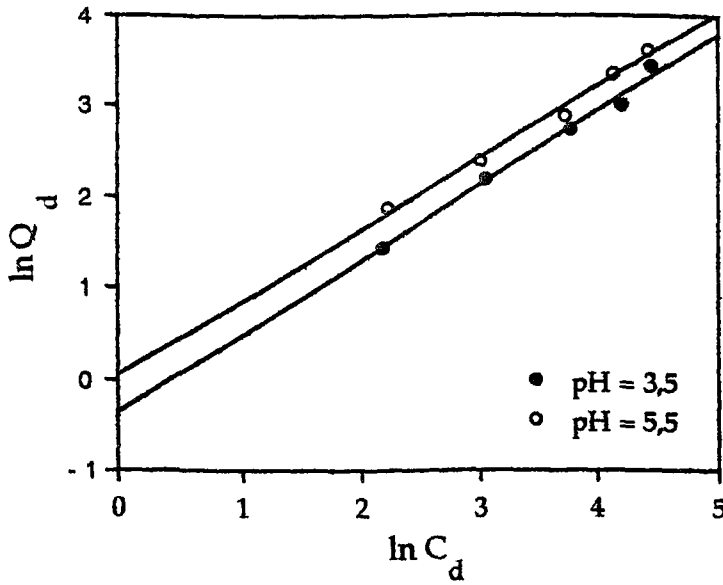
4. 4. 3. 1. Başlangıç pH'sının etkisi ve farklı başlangıç pH'larında adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde adsorpsiyon hızları oldukça düşükken pH= 5,5 değerinde adsorpsiyon hızı yüksektir (Şekil 4. 142). pH=5,5 'da mikroorganizma ile bakır (II) iyonları arasında en yüksek etkileşim olmaktadır.

Farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermeleri Şekil 4. 143' de, izotermelerden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 26 ' da verilmiştir. Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda en yüksek adsorpsiyon kapasitesine pH= 5,5 değerinde ulaşılmıştır.



Şekil 4. 142. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Başlangıç pH' ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0=0.5$ g/L; $T=30$ °C; $KH=120$ rpm)

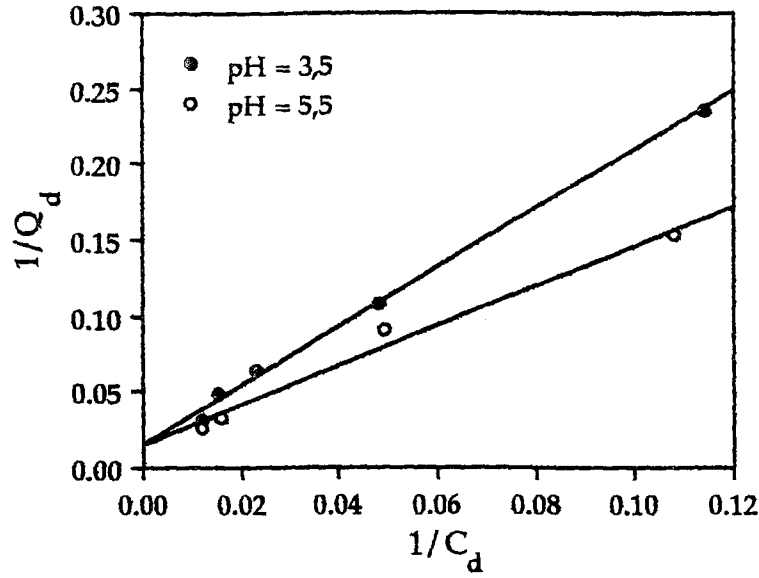


Şekil 4. 143. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 26. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	K _f	n	1/n	r ²
3,5	0,696	1,200	0,833	0,990
5,5	1,054	1,249	0,800	0,989

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda farklı başlangıç pH değerlerinde elde edilen Langmuir İzotermi Şekil 4. 144' de izoterminden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 4. 27' de verilmiştir. Metal iyonlarının birim mikroorganizma ağırlığı başına mikroorganizma yüzeyinde tek bir tabaka oluşturmak üzere adsorplanan maksimum bakır miktarı pH = 5,5 değerinde elde edilmiştir.



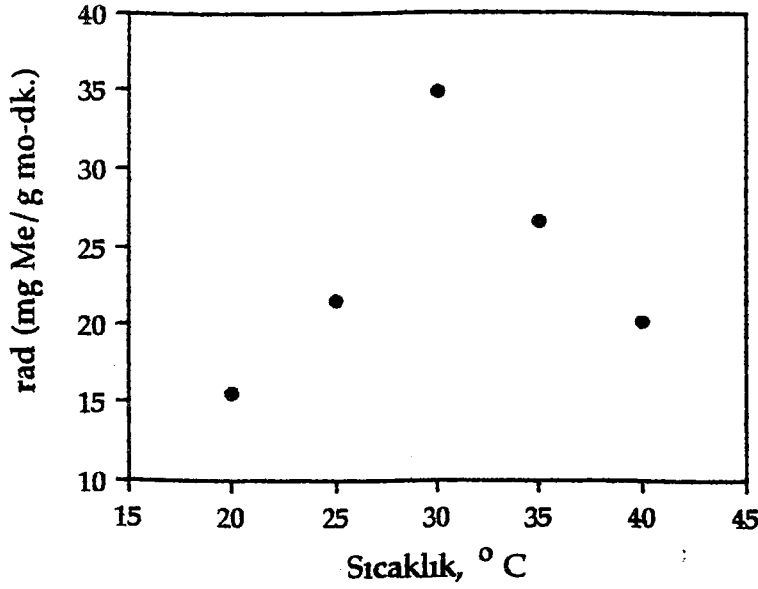
Şekil 4. 144. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermeleri ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 27. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Başlangıç pH Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

Başlangıç pH' sı	Q^0 (mg Cd^{+2} /g-mo)	b (l/mg)	r^2
3,5	62,70	0,008	0,997
5,5	64,55	0,012	0,985

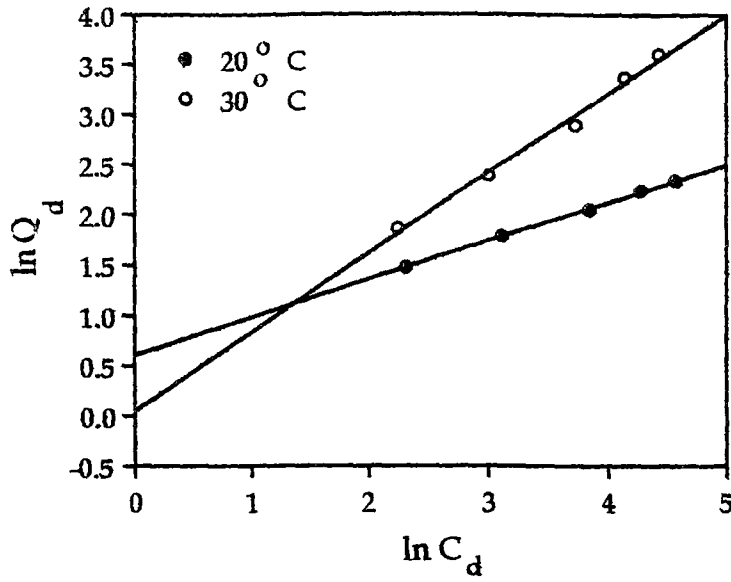
4. 4. 3. 2. Sıcaklığın etkisi ve farklı sıcaklıklarda adsorpsiyon izotermlerinin elde edilmesi

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda sıcaklığın 30 °C' ye kadar artışı adsorpsiyon hızını artırmakta, daha yüksek sıcaklıkta ise hızın düşmesine neden olmaktadır (Şekil 4. 145).



Şekil 4. 145. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; $T = 30$ °C; KH = 120 rpm)

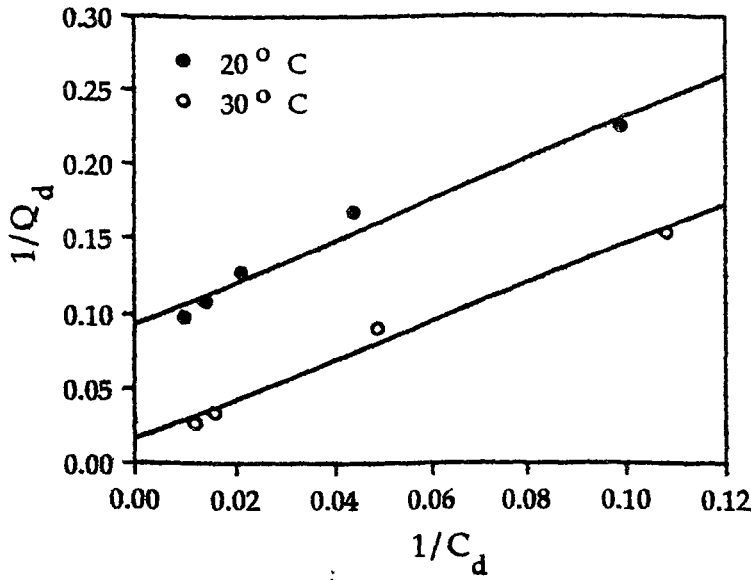
Sıcaklığın 20, 25, 30, 35 ve 40 °C değerlerindeki Freundlich İzotermi Şekil 4. 146' da, bu izoterminden elde edilen adsorpsiyon sabitleri Tablo 4. 28' de verilmiştir. Langmuir İzotermi Şekil 4. 147' de, bu izoterminden elde edilen adsorpsiyon sabitleri ise, Tablo 4. 29' da verilmiştir. Hem Freundlich hem de Langmuir izotermelerinin adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi en yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve derecesine 30 °C sıcaklıkta ulaşılmıştır.



Şekil 4. 146. Bakır İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi ($X_0 = 0.5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,5; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 28. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Freundlich Adsorpsiyon İzoterminden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	K _f	n	1/n	r ²
20	0,817	1,068	0,936	1,000
30	1,054	1,249	0,800	0,989



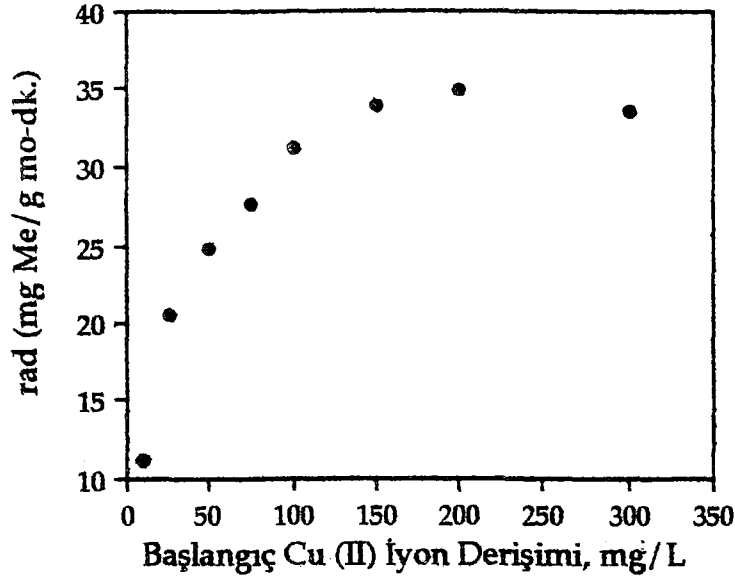
Şekil 4. 147. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (X₀ = 0.5 g/L; C₀ = 100 mg/L; pH= 5,5; KH = 120 rpm)

Tablo 4. 29. Bakır (II) İyonlarının *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Farklı Sıcaklık Değerlerinde Langmuir Adsorpsiyon İzotermi Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

T, °C	Q ⁰ (mg Cu ⁺² /g-mo)	b (l/mg)	r ²
20	25,32	0,0520	0,990
30	64,55	0,0117	0,989

4. 4 3. 3. Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin etkisi

Başlangıç bakır (II) iyon derişiminin 100 mg/L değerine kadar artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarındaki artış Şekil 4. 148 ' de görülmektedir. Tablo 4. 30' dan düşük metal iyon derişimlerinde yüksek, yüksek metal iyon derişimlerinde ise daha düşük adsorpsiyon hız ve mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin bulunduğu görülmektedir.



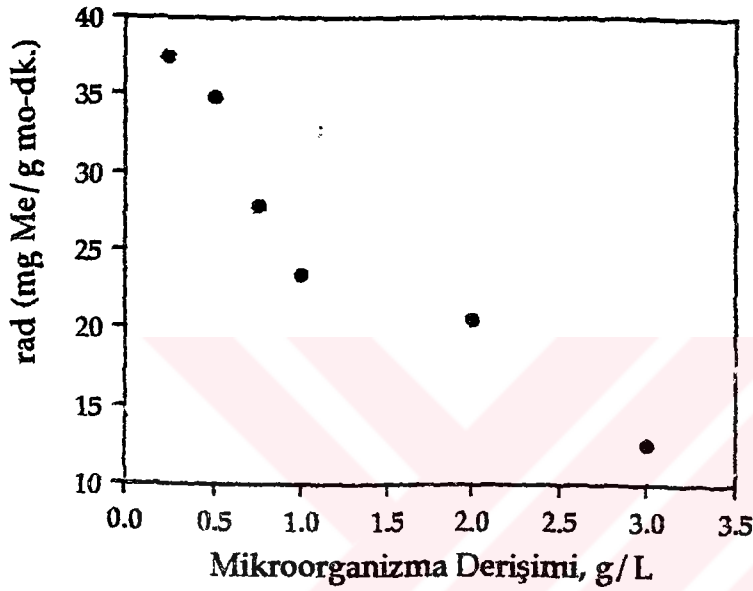
Şekil 4. 148. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızı Üzerine Etkisi ($X_0 = 0.5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 5.5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 4. 30. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinliği

C_0 (mg/L)	C_{xmax} (mg/L)	q_{max} (mg/g)	Y_{qmax}/C_0 (l/g)
10.58	7.75	15.5	1.465
28.59	19.76	39.52	1.382
50.59	23.60	47.20	0.933
78.00	26.00	52.00	0.667
103.45	32.58	65.16	0.629
205.33	39.98	79.96	0.389
301.59	28.75	57.50	0.191

4. 4. 3. 4. Mikroorganizma derişiminin etkisi

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda ortamdaki mikroorganizma derişiminin artışı ile ilk adsorpsiyon hızlarının azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4. 149). Mikroorganizma derişiminin artırılması ile metal ve mikroorganizmanın temas yüzey alanının azalması hızı azaltıcı bir faktördür.



Şekil 4. 149. *R. arrhizus* Derişimi Değişiminin Farklı Bakır (II) İyon Derişimlerinin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi (T= 30 °C, pH= 5,5; KH = 120 rpm)

5. DENEYSEL BULGULARIN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Tek Tek Etkisi

5.1.1. Başlangıç pH' sının etkisi

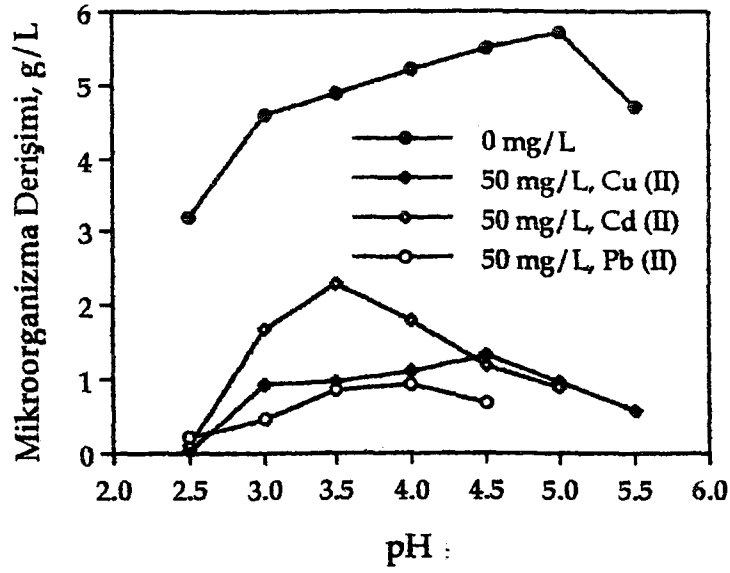
Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının, *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine etkisinde başlangıç pH ' sı önemli bir parametredir. Her üç metal iyonu için pH aralığı değiştirilerek yapılan üreme çalışmalarında; maksimum üreme sırasıyla metalsiz ortamda pH= 5 değerinde elde edilirken; kadmiyum (II) iyonu için pH= 3,5; kurşun (II) iyonu için pH = 3,5-4,0 ve bakır (II) iyonu için ise, pH = 4,5 değerinde elde edilmiştir (Şekil 5. 1).

Kadmiyum (II) iyonu için pH = 5; kurşun (II) iyonu için pH = 4,5 ve bakır (II) iyonları için pH = 5,5 değerinden daha yüksek pH değerlerinde metal iyonlarında çökme görüldüğü için üreme çalışmaları yapılamamıştır.

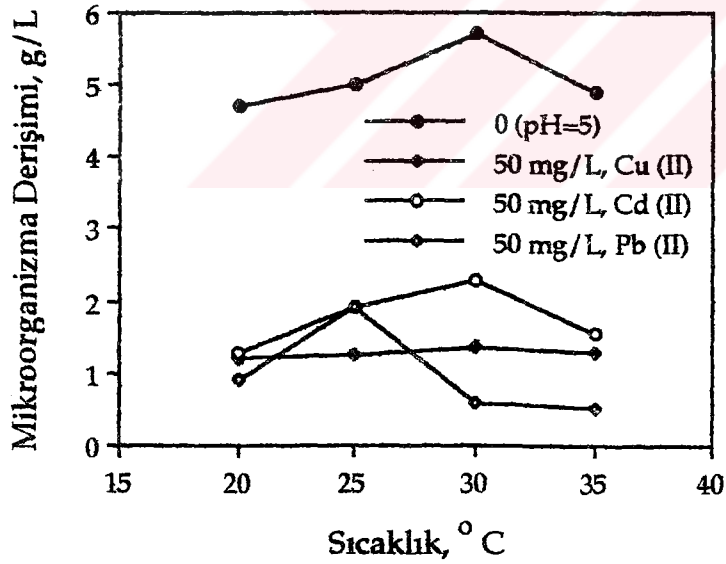
5.1.2. Sıcaklığın Etkisi

R. arrhizus ' un üremesi üzerine sıcaklığın etkisi pH kadar olmasa da yine de *R. arrhizus* ' un metali ve metalsiz ortamda üremesini etkileyen önemli bir parametredir. *R. arrhizus* ' un üremesi için optimum sıcaklık; metalsiz ortam, kadmiyum (II) iyonu ve bakır (II) iyonu için 30 °C iken, kurşun (II) iyonu için ise 25 °C ' dir. (Şekil 5. 2). Üreme çalışmaları mikroorganizmanın metabolizmasına bağlıdır.

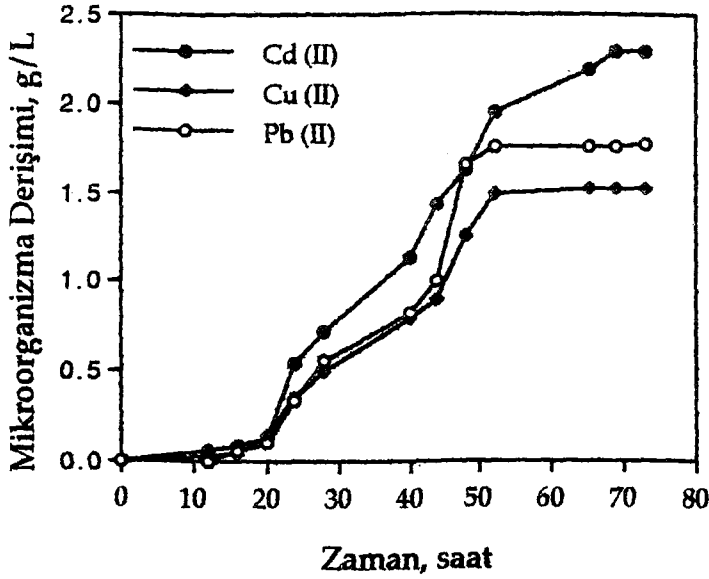
R. arrhizus her üç metal için ilk 52 saatte logaritmik fazda ürerken daha sonra ise, mikroorganizma derişiminin sabit kaldığı Şekil 5. 3' den görülmektedir.



Şekil 5. 1. Başlangıç pH'ının *R. arrhizus*'un Üremesi Üzerine Etkisi ($S_0 = 30$ g/L; Cu (II) ve Cd (II) İyonu; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu; $T = 25$ °C; KH = 150 rpm)



Şekil 5. 2. Sıcaklığın *R. arrhizus*'un Üremesi Üzerine Etkisi ($S_0 = 30$ g/L; Cu (II) İyonu: pH= 4,5; Cd (II) İyonu: pH= 3,5; Pb (II) İyonu: pH= 3,5-4; KH = 150 rpm;)



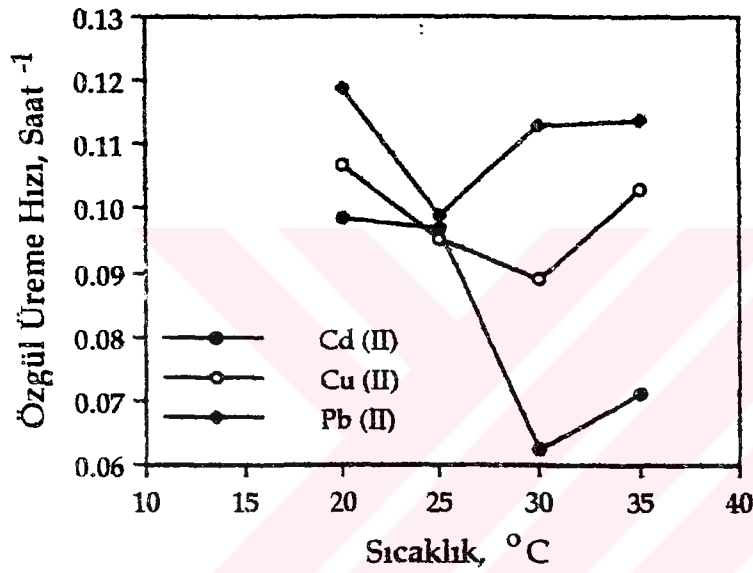
Şekil 5. 3. Optimum Sıcaklıklarda *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($S_0 = 30$ g/L; Cd (II) İyonu: pH = 3,5; T = 30 °C; Cu (II) İyonu: pH = 4,5; T = 30 °C; Pb (II) İyonu: pH= 3,5-4; T= 25 °C; KH = 150 rpm)

Sıcaklık değişimi mikroorganizma derişimini etkilediği gibi mikroorganizmanın özgül üreme hızını da etkilemektedir. Her üç metal iyonunun bulunduğu üreme ortamında *R. arrhizus* ' un ilk 52 saatlik logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Ancak sıcaklığın artmasıyla birlikte mikroorganizma derişimi artarken, özgül üreme hızları ise azalmaktadır (Şekil 5. 4).

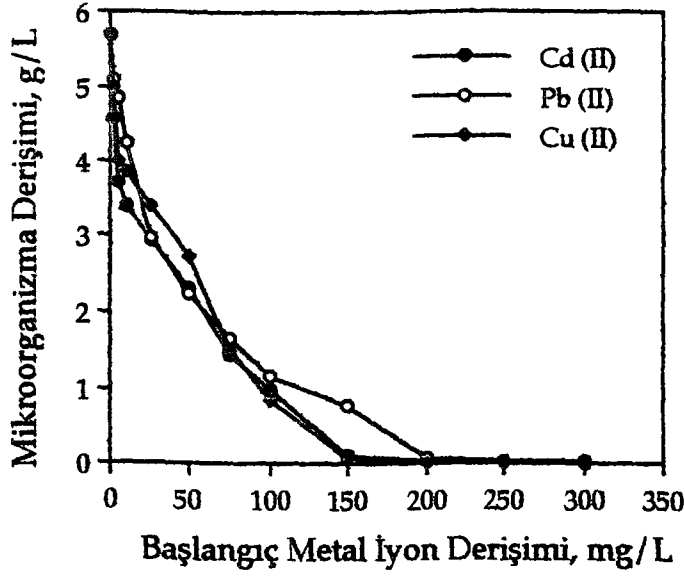
5. 1. 3. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin Etkisi

Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde, üreme ortamında ayrı ayrı bulunan kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimi miktarının artmasıyla birlikte *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç metal iyon derişimlerinden başlayarak metal miktarlarının 100 mg/L değerine kadar bu azalma devam etmekte, daha yüksek derişimlerde ise üreme çok az olmaktadır (Şekil 5. 5). 100 mg/L başlangıç metal iyon derişimlerinden sonra hücre yüzeyinin metal iyonlarınca doygunluğa erişmesi ve yüksek metal iyon derişimlerinin mikroorganizmanın üremesi üzerine inhibisyon etkisi yapması; hem mikroorganizmanın üremesini hem de adsorplanan metal miktarının azalmasına neden olmaktadır.

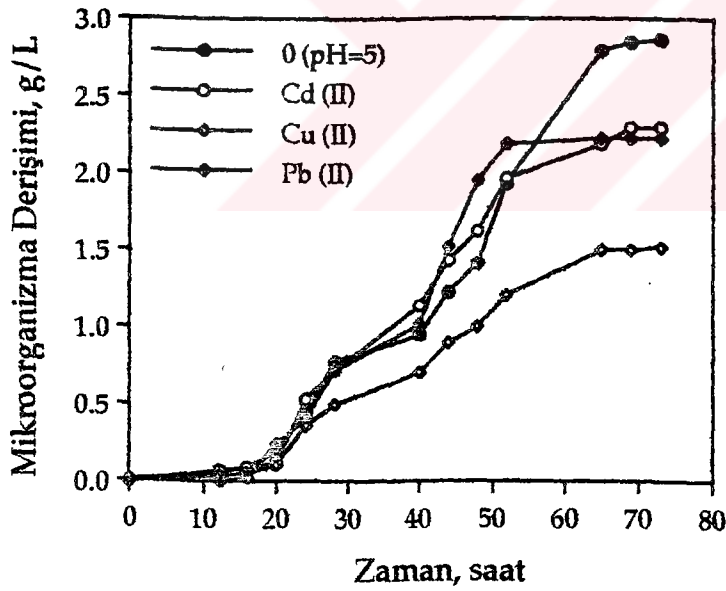
R. arrhizus metal iyonu içermeyen üreme ortamında ilk 12 saatte adaptasyon fazda, 52 saatte ise, logaritmik fazda ürediği, her üç metal iyonunu ayrı ayrı içeren üreme ortamında ise ilk 20 saat adaptasyon fazda, 52 saatte ise logaritmik fazda ürediği Şekil 5. 6' dan görülmektedir. Adaptasyon fazının metalli ortamda daha uzun sürmesi, mikroorganizmanın metalli ortama uyumunun daha zor olduğunu göstermektedir. Üreme ortamında bulunan metal iyon derişimleri arttıkça özgül üreme hızları da artmaktadır. Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde özgül üreme hızlarının başlangıç metal iyon derişimleriyle değişimi ise Şekil 5. 7.' den görülmektedir.



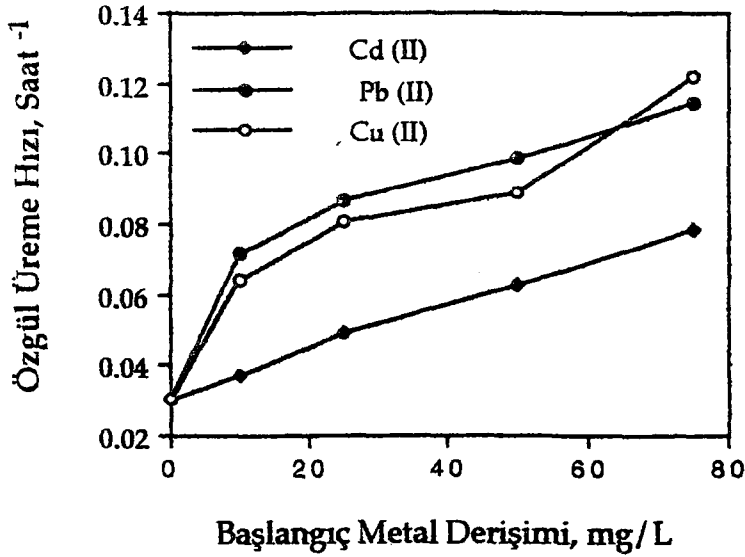
Şekil 5. 4. Sıcaklığın *R. arrhizus* 'un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi
($S_0 = 30$ g/L; Cu (II) İyonu: pH = 4,5; Cd (II) İyonu: pH = 3,5;
Pb (II) İyonu: pH = 3,5-4; KH = 150 rpm)



Şekil 5. 5. Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* Derişimi Üzerine Etkisi ($S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH= 3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH= 4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH= 3,5-4; $T = 25$ °C;)



Şekil 5. 6. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH = 3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH= 4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH = 3,5-4; $T = 25$ °C;)

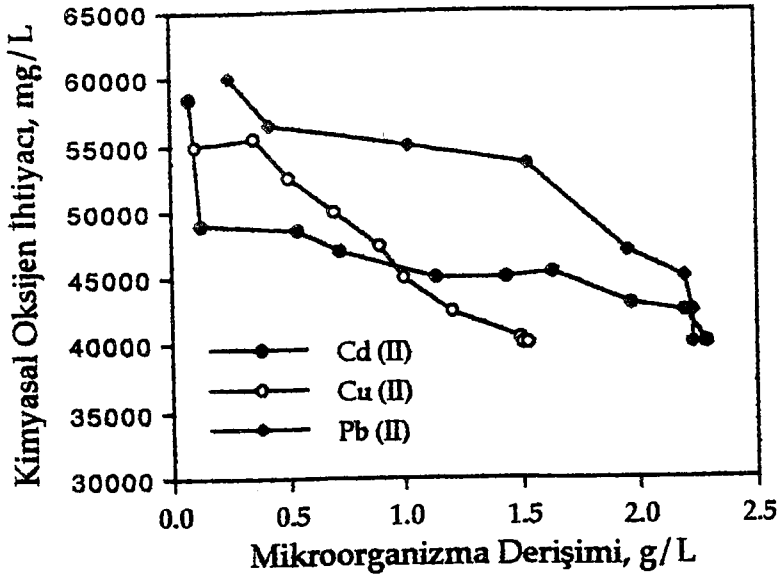


Şekil 5. 7. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin *R. arrhizus*' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi

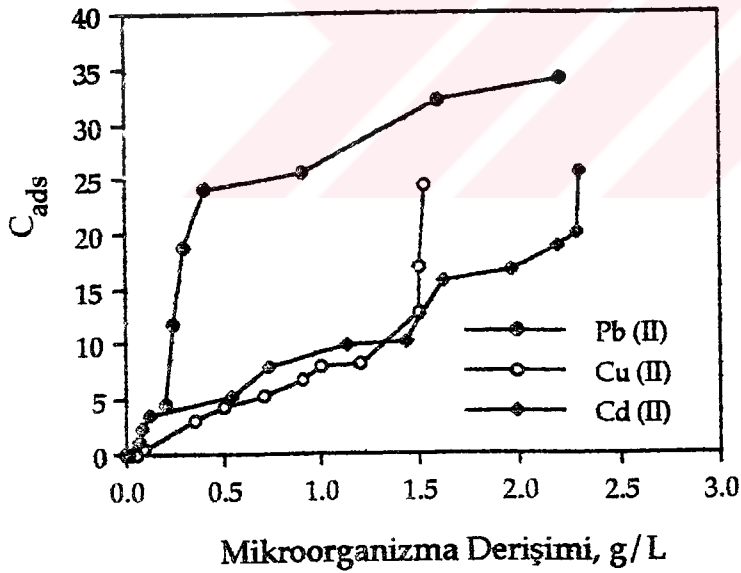
Sularda oksijen ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılan kimyasal oksijen ihtiyacı, sudaki organik maddenin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici tarafından oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarını gösterir. Zamanla üreyen *R. arrhizus* miktarı artarken, kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı Şekil 5. 8' den görülmektedir. Ortamda bulunan organik madde *R. arrhizus* tarafından enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketilmektedir.

Metalli ortamda mikroorganizma derişiminin artması adsorplanan metal miktarının arttığını göstermektedir. Metal derişiminin yüksek olduğu ortamlarda mikroorganizma derişimi az olduğu için mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı azalmaktadır. Zamanla mikroorganizma derişimi artarken, mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı da artmaktadır (Şekil 5. 9).

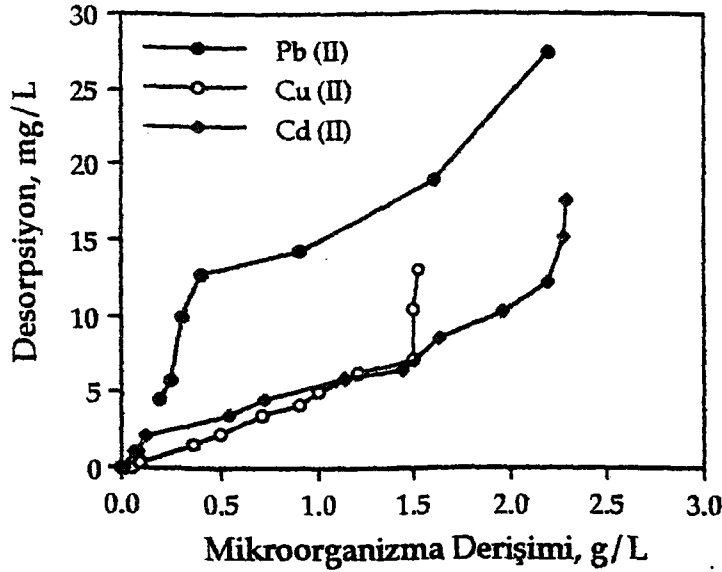
Ortamın asidik olması durumunda; adsorplanan metal iyonları desorplanmaktadır. Adsorplanan metal miktarı arttıkça asidik koşullarda desorplanan metal miktarı da artmaktadır (Şekil 5. 10).



Şekil 5. 8. Kimyasal Oksijen İhtiyacının Mikroorganizma Derişimiyle Değişimi ($S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $K_H = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH=3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH=4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH=3,5-4; $T = 25$ °C;)



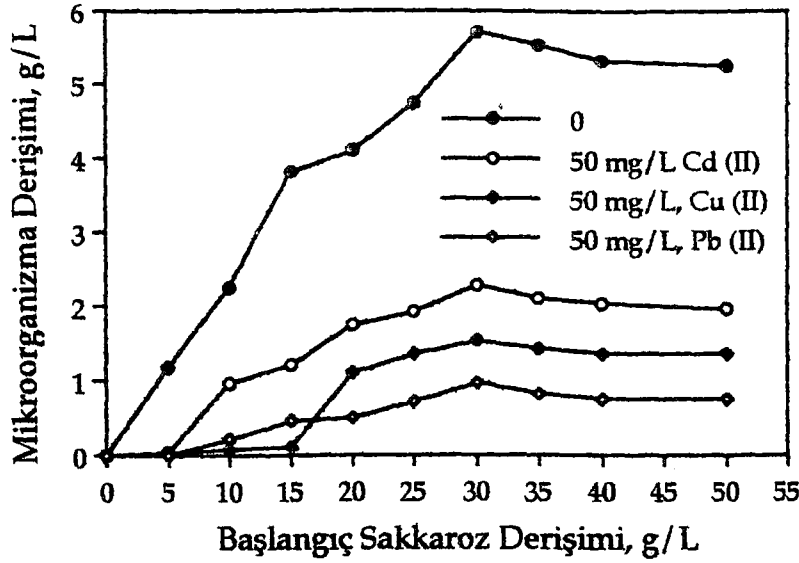
Şekil 5. 9. Mikroorganizma Derişimine Bağlı Olarak Mikroorganizma Tarafından Adsorplanan Metal İyonları Miktarı ($S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $K_H = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH=3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH=4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH=3,5-4; $T = 25$ °C)



Şekil 5. 10. Mikroorganizma Tarafından Desorplanan Metal Miktarının Zamanla Değişimi ($S_0 = 30$ g/L; $C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) İyonu : pH = 3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH = 4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu : pH = 3,5-4; $T = 25$ °C)

5. 1. 4. Başlangıç sakkaroz derişiminin etkisi

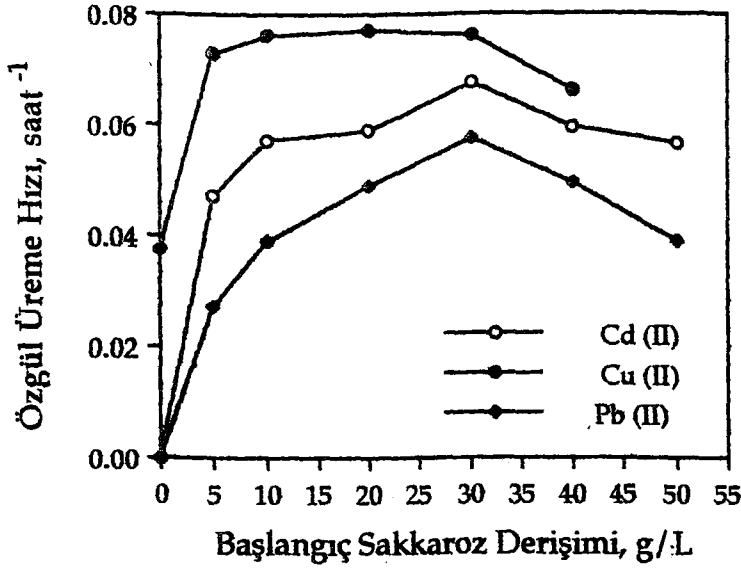
Üreme ortamında besi maddesi derişimlerinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük derişimler sınırlama, yüksek derişimler ise, inhibisyon etkisi yapmaktadır. Sabit metal iyon derişimlerinde; sakkaroz miktarının aynı olmadığı koşullarda; metali ortama alıştırılmadan ve her üç metale alıştırılarak üretilen *R. arrhizus* derişimi sakkaroz derişiminin artışına bağlı olarak değişmektedir. Sakkaroz derişiminin 30 mg/L' ye kadar arttırılmasıyla mikroorganizma derişimi artmakta, 30 mg/L değerinden daha büyük değerlerde ise, mikroorganizma derişimi yaklaşık sabit kalmaktadır (Şekil 5. 11). Şekil 5. 11 incelendiğinde; *R. arrhizus* ' un kadmiyum (II) iyonları içeren üreme ortamında maksimum ürediği; kurşun (II) iyonları içeren ortamda ise minimum düzeyde ürediği görülmektedir ($Cd > Cu > Pb$). Bu da bize metal iyonlarından kurşun (II) iyonunun farklı substrat derişimlerinde *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine diğer metallere göre daha fazla inhibisyon etkisi yaptığını göstermektedir.



Şekil 5. 11. Metalli ve Metalsiz Ortamda Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Farklı Sakkaroz Derişimleri İle Değişimi ($C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH= 3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu : pH= 4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH= 3,5; $T = 25$ °C)

Lineer bölgede elde edilen özgül üreme hızlarının başlangıç sakkaroz derişimi ile değişiminde; ortamda bulunan sakkarozun düşük derişimlerinde hızların düşük olduğu, sakkaroz derişiminin arttırılması ile hızların arttığı ve 30 g/L sakkaroz derişiminden sonra hızların azalmaya başladığı Şekil 5. 12' den görülmektedir. Aynı durum her üç metal içinde geçerlidir. Tablo 5. 1' de ise kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını tek tek içeren üreme ortamında üreyen *R. arrhizus* 'un maksimum özgül üreme hızları ve substrat doygunluk derişimleri görülmektedir. Bakır (II) iyonları içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un maksimum özgül üreme hızına sahip olduğu hem Şekil 5. 12' den hem de Tablo 5. 1' den görülmektedir.

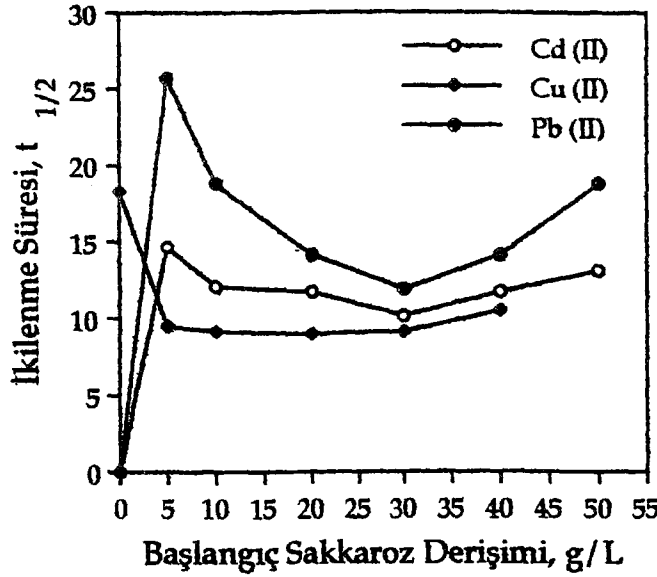
Başlangıç sakkaroz derişimine bağlı olarak ikilenme süresinin değişimi Şekil 5. 13' de görülmektedir. Şekil incelendiği zaman; *R. arrhizus*, en yüksek ikilenme süresine kurşun (II) iyonları bulunan ortamda ulaşırken, en düşük ise, bakır (II) iyonları bulunan üreme ortamında ulaşmaktadır. Özgül üreme hızları ile karşılaştırıldığı zaman birbirleriyle uyum içinde oldukları görülmektedir. İkilenme süresi özgül üreme hızının tersidir.



Şekil 5. 12. *R. arrhizus* 'un Özgül Üreme Hızının Başlangıç Sakkaroz Derişimi ile Değişimi ($C_0 = 50$ mg/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) İyonu: pH = 3,5; $T = 30$ °C; Cu (II) İyonu: pH = 4,5; $T = 30$ °C; Pb (II) İyonu: pH = 3,5-4; $T = 25$ °C;)

Tablo 5. 1. *R. arrhizus* 'un Maksimum Özgül Üreme Hızları ve Substrat Doygunluk Derişim Değerleri

Metal İyonları	Maksimum Özgül Üreme Hızı, μ_m	Substrat Doygunluk Derişimi, K_s , g/L
Kadmiyum (II)	0,0623	1,445
Kurşun (II)	0,0553	4,917
Bakır (II)	0,0912	6,166



Şekil 5. 13. *R. arrhizus* 'un İkilenme Süresinin Başlangıç Sakkaroz Derişimi İle Değişimi ($C_0 = 50 \text{ mg/L}$; $V_R = 00 \text{ mL}$; $KH = 150 \text{ rpm}$; Cd (II) İyonu: $\text{pH} = 3,5$; $T = 30^\circ\text{C}$; Cu (II) İyonu: $\text{pH} = 4,5$; $T = 30^\circ\text{C}$; Pb (II) İyonu: $\text{pH} = 3,5-4$; $T = 25^\circ\text{C}$)

5. 2. *R. arrhizus* 'un Üremesi Üzerine Metal İyonlarının Birlikte Etkisi

5. 2. 1. Başlangıç pH'ının etkisi

Ağır metal iyonlarını tek tek ve birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi üzerinde başlangıç pH' ısı önemli bir parametredir. Karıştırma hızı, sıcaklık metal derişimi ve sakkaroz derişimi sabit tutularak; farklı başlangıç pH değerlerinde yapılan deneylerde; her iki metalin tek tek bulunduğu koşullara uygunluğu açısından kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda $\text{pH} = 3,5$ değerinde; kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonları ile kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının birlikte bulunduğu koşullarda ise $\text{pH} = 4,0$ değerinde çalışılmıştır.

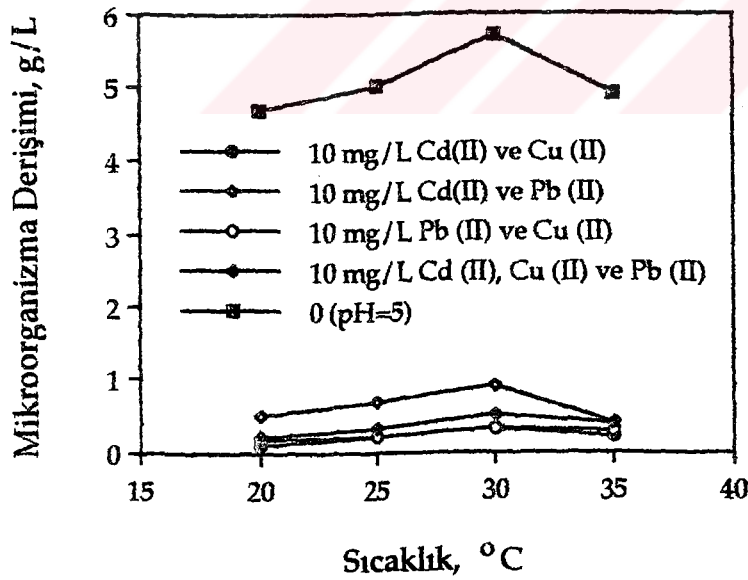
Kadmiyum (II) iyonu için $\text{pH} = 5$; kurşun (II) iyonu için $\text{pH} = 4,5$ ve bakır (II) iyonları için $\text{pH} = 5,5$ değerinden daha yüksek pH değerlerinde metal iyonlarında çökme görüldüğü için birlikte bulundukları koşullarda da üreme çalışmaları yapılamamıştır.

5. 1. 2. Sıcaklığın Etkisi

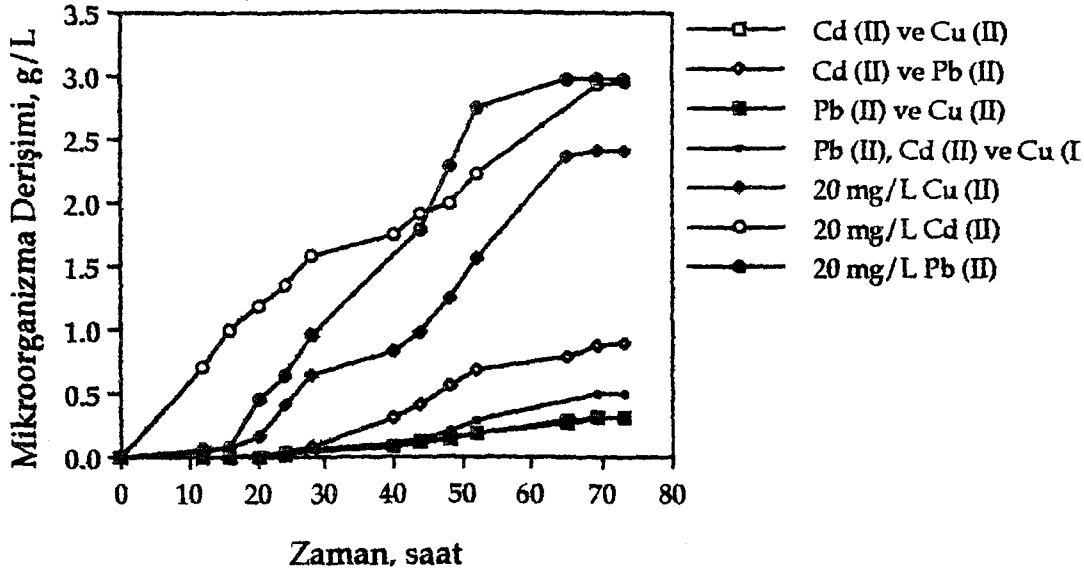
R. arrhizus ' un üremesi için optimum sıcaklık hem metalsiz ortam hem de metalleri birlikte içeren koşullarda 30 °C ' dir. (Şekil 5. 14).

Metal iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ilk 28 saatte adaptasyon fazda, 28-52 saatte logaritmik fazda, 52 saatten sonra ise sabit fazda üremektedir. Oysa metal iyonları üreme ortamında tek tek bulundukları koşullarda mikroorganizma logaritmik faza ilk 16 saatten sonra ulaşmaktadır (Şekil 5. 15). Metal iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunmaları durumunda adaptasyon fazının uzun sürmesi ise, mikroorganizmanın metal iyonlarının birlikte bulunması durumunda üreme ortamına daha geç adapte olduklarını göstermektedir.

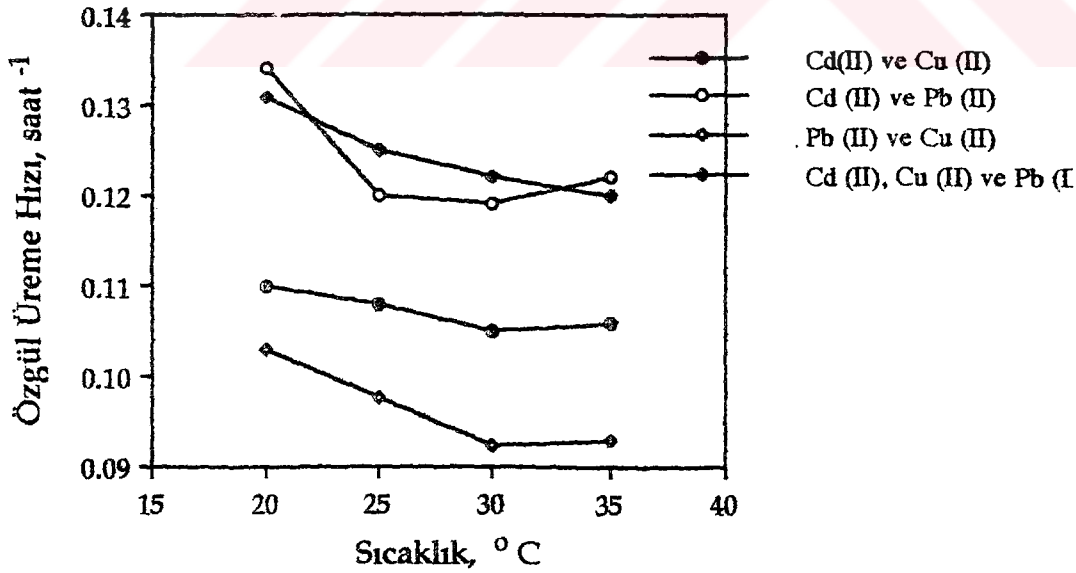
Sıcaklık değişimi mikroorganizma derişimini etkilediği gibi mikroorganizmanın özgül üreme hızını da etkilemektedir. Her üç metal iyonunun eşit derişimlerde birlikte bulundukları üreme ortamında sıcaklığın artmasıyla birlikte mikroorganizmanın özgül üreme hızları azalmaktadır (Şekil 5. 16)



Şekil 5. 14 Sıcaklığın *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi ($S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; KH = 150 rpm; Cd (II) ve Pb (II) İyonu: pH= 3,5; Cd (II) ve Cu (II) İyonu: pH= 4; Pb (II) ve Cu (II) İyonu: pH= 4,0)



Şekil 5. 15. Metal İyon Derişimlerinin Tek Tek ve Eşit Derişimlerde Birlikte Bulundukları Üreme Ortamında Optimum Sıcaklıkta Üreyen *R. arrhizus* Derişiminin Zamanla Değişimi ($S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $T = 30$ °C; $KH = 150$ rpm; Cd (II) ve Pb (II) pH = 3,5; $C_{(Cd)} = 10$ mg/L; $C_{(Pb)} = 10$ mg/L; Cd (II) ve Cu (II): pH = 4,0; $C_{(Cd)} = 10$ mg/L; $C_{(Cu)} = 10$ mg/L; Pb (II) ve Cu (II): pH = 4,0; $C_{(Cu)} = 10$ mg/L; $C_{(Pb)} = 10$ mg/L; Cd (II), Pb (II) ve Cu (II) pH=4; $C_{(Cu)} = 10$ mg/L; $C_{(Pb)} = 10$ mg/L; $C_{(Cd)} = 10$ mg/L; Cd (II): pH= 3,5 Pb (II) : 3,5-4,0; $T = 25$ °C; Cu (II) : pH= 4,5)

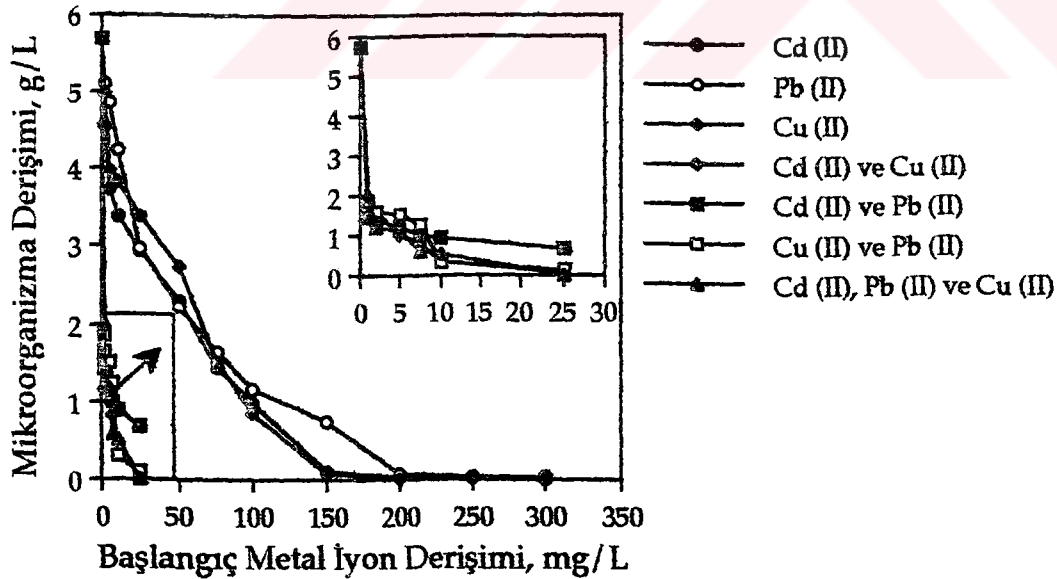


Şekil 5. 16. Sıcaklığın *R. arrhizus* 'un Özgöl Üreme Hızı Üzerine Etkisi ($S_0 = 30$ g/L; $V_R = 100$ mL; $KH = 150$ rpm; Cd (II) ve Pb (II) İyonu: pH = 3,5; Cd (II) ve Cu (II) İyonu: pH = 4,0; Pb (II) ve Cu (II) İyonu: pH = 4,0)

5. 2. 3. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin Etkisi

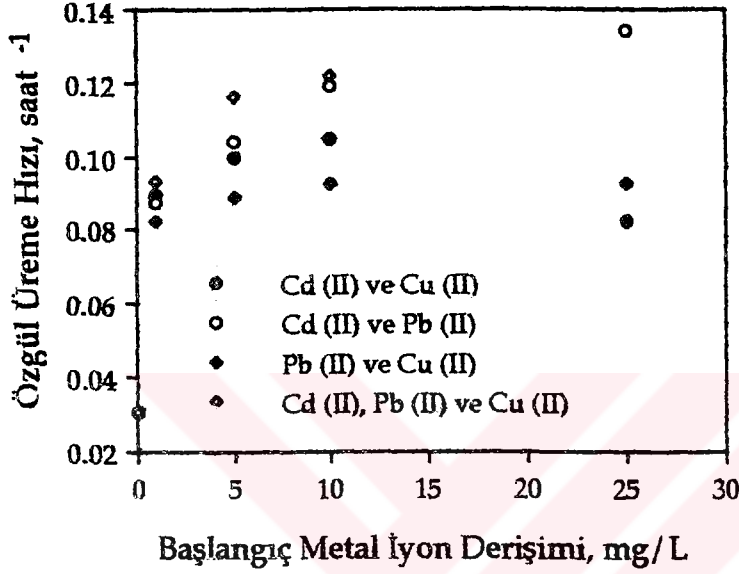
Farklı başlangıç kadmiyum (II) ve kurşun (II), kadmiyum (II) ve bakır (II), kurşun (II) ve bakır (II) ile kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının eşit derişimlerde birlikte bulunduğu üreme ortamında; metal iyon derişimlerinin artmasıyla birlikte üreyen *R. arrhizus* miktarı azalmaktadır. Düşük başlangıç metal iyon derişimlerinden başlayarak 25 mg/L değerine kadar bu azalmanın devam ettiği, daha yüksek derişimlerde ise üremenin olmadığı gözlenmiştir. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek bulunduğu üreme ortamında ise üreme 100 mg/L değerine kadar azalmakta, daha yüksek derişimlerde ise üreme hemen hemen durmaktadır (Şekil 5. 17). Ağır metal iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* ' un üremesinin metal iyon derişimlerinin artışına bağlı olarak azalması, metal iyonlarının *R. arrhizus* üzerindeki inhibisyon etkisinin bir sonucudur.

Şekil 5. 17' den de görüldüğü gibi *R. arrhizus*, kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını tek tek içeren üreme ortamında, eşit derişimlerde birlikte bulundukları ortama göre daha fazla üremektedir. Bu da bize metallerin ikili karışımlarının *R. arrhizus* üzerinde daha fazla inhibisyon etkisi yaptığını göstermektedir.

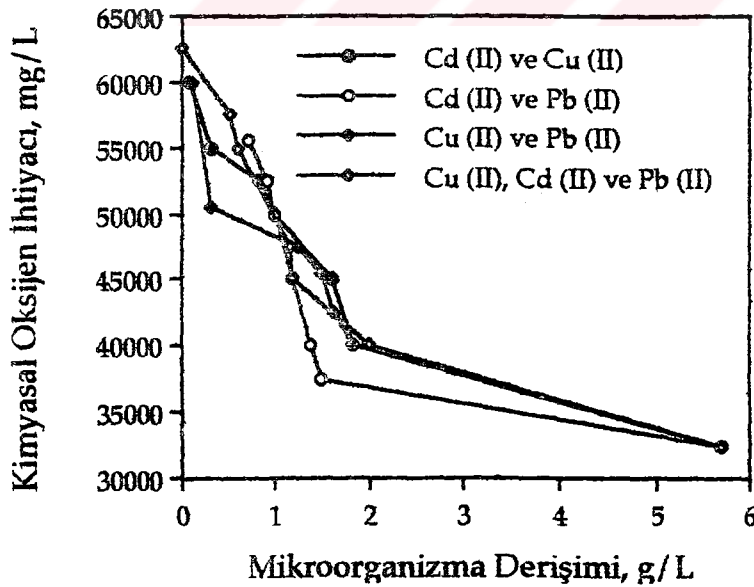


Şekil 5. 17. Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Üremesi Üzerine Etkisi

R. arrhizus ' un kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında logaritmik fazda üremesinden elde edilen lineer doğrunun eğiminden özgül üreme hızları bulunmuştur. Üreme ortamında eşit derişimlerde bulunan metal iyonlarının düşük derişimlerinde özgül üreme hızı artarken, metal derişimlerinin artırılması ile özgül üreme hızı azalmaktadır (Şekil 5. 18). Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağlı olarak kimyasal oksijen ihtiyacı azalmaktadır (Şekil 5. 19).



Şekil 5. 18. Başlangıç Metal İyon Derişimlerinin *R. arrhizus* ' un Özgül Üreme Hızı Üzerine Etkisi



Şekil 5. 19. Kimyasal Oksijen İhtiyacının, Farklı Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Mikroorganizma Derişimi İle Değişimi

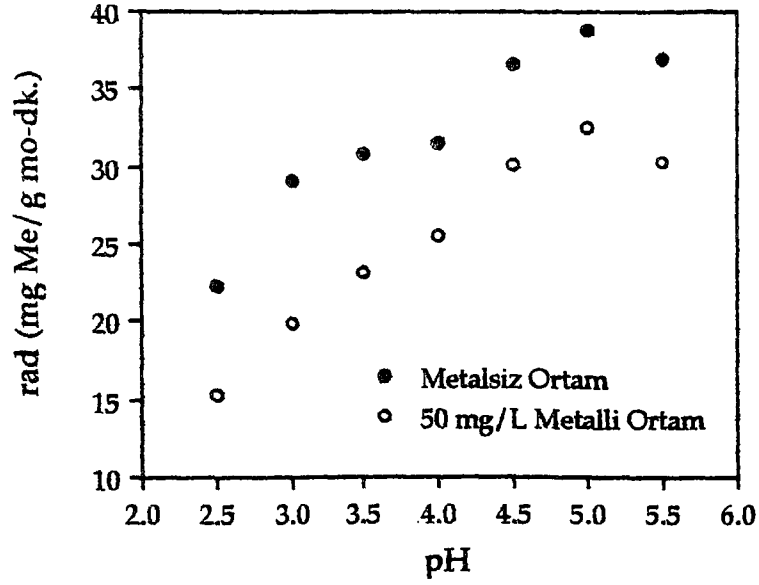
5. 3. Kesikli Düzende Karıştırılmalı Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilip İnaktif Hale Getirilen *R. arrhizus* 'a Metal Adsorpsiyonu

5. 3. 1. Kadmiyum (II) adsorpsiyonu

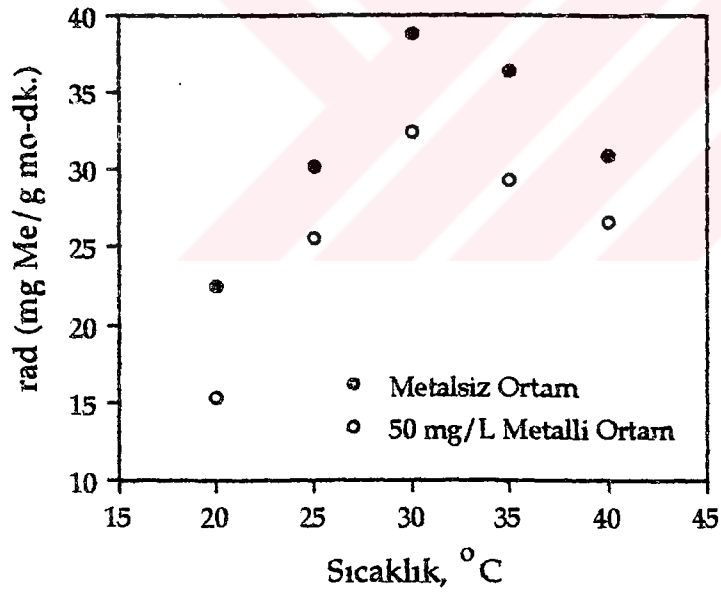
Kadmiyum (II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH' sı ve sıcaklık önemli bir parametredir. Hem metalsiz hem de metalli (50 mg/L, Cd(II)) ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ile kadmiyum (II) iyonlarının en iyi etkileşiminin başlangıç pH= 5,0 ve 30 °C sıcaklıkta olduğu Şekil 5. 20 ve 5. 21' den görülmektedir.

Çeşitli başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimlerinde yapılan adsorpsiyon çalışmalarında optimum başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimi 100 mg/L bulunmuştur (Şekil 5. 22). Kadmiyum (II) iyon derişimlerinin; hem metalsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda hem de 50 mg/L kadmiyum (II) iyonu içeren üreme ortamında üretilip kurutulan *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda 100 mg/L başlangıç kadmiyum (II) iyon derişimlerine kadar hızların arttığı daha yüksek derişimlerde ise hızların yaklaşık sabit kaldığı Şekil 5. 22' de görülmektedir.

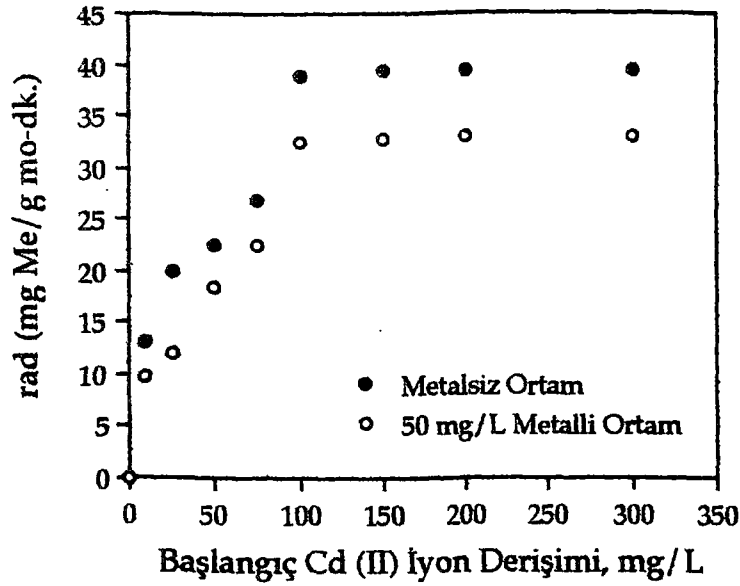
Ayrıca yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin düşük olduğu Tablo 5. 2' den görülmektedir. Metal iyon derişimi arttıkça hem metalli ortamda üretilen hem de metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un metal alma etkinlik değerleri azalmaktadır. Ayrıca metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un metal alma etkinlik değerleri, metalli ortamda üretilen *R. arrhizus* ' a göre daha yüksektir. Bu da metalli ortamda üretilen mikroorganizmanın metalsiz ortamda üretilen mikroorganizmaya göre daha düşük adsorplama kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 20. Başlangıç pH'ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)



Şekil 5. 21. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $pH = 5,0$; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)



Şekil 5. 22. Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 5,0$; $KH = 120$ rpm)

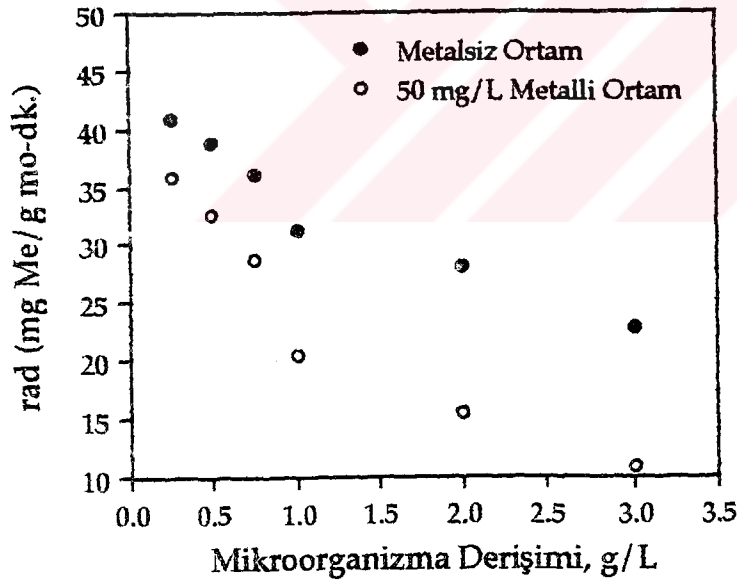
Tablo 5. 2. Çeşitli Başlangıç Metal İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Metalsiz Ortam				Metalli Ortam			
C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}	C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}
12,24	5,15	10,30	0,842	10,24	4,25	8,5	0,830
25,43	9,89	19,78	0,778	27,43	7,79	15,58	0,568
51,32	19,32	38,64	0,753	55,72	15,39	30,78	0,552
74,72	24,22	48,44	0,648	70,72	19,83	35,66	0,504
100,95	25,74	51,48	0,509	101,45	23,85	47,70	0,470
205,40	27,01	54,02	0,263	200,45	23,41	46,82	0,233
301,21	31,00	62,00	0,206	300,78	29,40	58,80	0,195

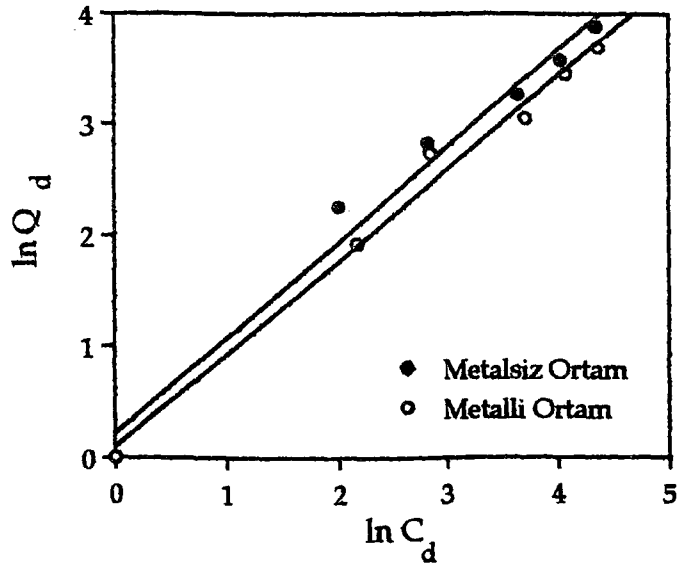
Adsorpsiyon ortamındaki mikroorganizma derişiminin artması ile kadmiyum (II) iyonlarının hem metalli hem de metalsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda ilk adsorpsiyon hızları azalmaktadır (Şekil 5. 23). Yüksek mikroorganizma derişimlerinde mikroorganizmaların birbirleriyle temaslarının artmasıyla, yığınların oluşması sonucu metal iyonlarıyla etkileşiminin azalması hızı azaltmaktadır.

Optimum başlangıç pH ve sıcaklıkta Freundlich ve Langmuir Modeline göre elde edilen adsorpsiyon izotermi 5. 24 ve Şekil 5. 25' de, adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 5. 3' de verilmiştir. Kadmiyum (II) iyonları hem metalli hem de metalsiz ortamda *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda Freundlich ve Langmuir izotermine uygunluk göstermektedir.

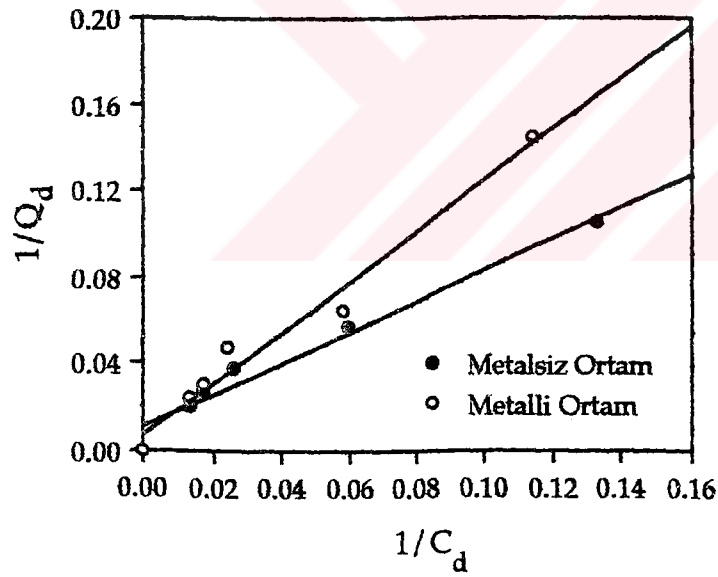
Şekillerden ve tablodan da görüldüğü gibi Metalsiz ortamda üretilerek inaktif hale getirilen *R. arrhizus*, kadmiyum (II) iyonlarını daha çok adsorplamaktadır. Bunun sebebi ise, metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* 'un adsorpsiyon kapasitesinin daha fazla olmasındandır.



Şekil 5. 23. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi
(pH = 5,0; T = 30 °C; C₀ = 100 mg/L; KH = 120 rpm)



Şekil 5. 24. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (pH = 5,0; T = 30 °C; $X_0 = 0,5$ g/L; KH = 120 rpm)



Şekil 5. 25. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (pH = 5,0; T = 30 °C; $X_0 = 0,5$ g/L; KH = 120 rpm)

Tablo 5. 3. Kadmiyum (II) İyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

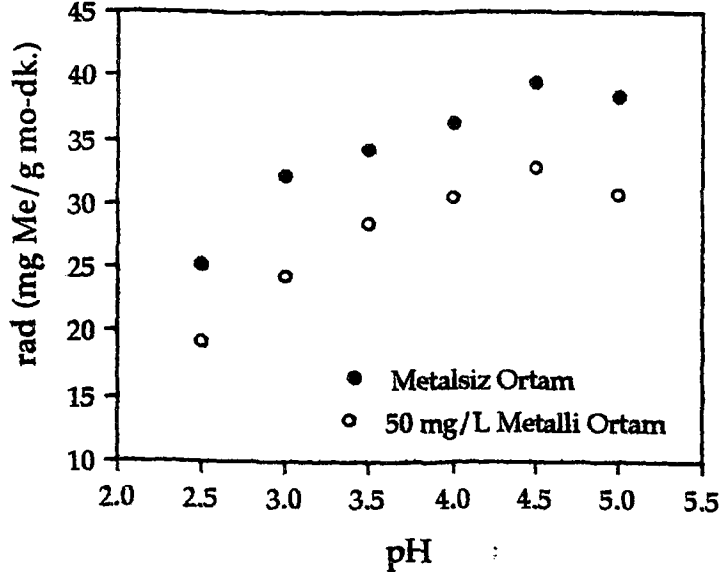
<i>R. arrhizus</i>	Freundlich İzotermi		Langmuir İzotermi	
	K _f	n	Q ^o	b
Metalsiz Ortam	2,478	1,496	60,03	0,0250
Metalli Ortam (50 mg/L)	1,527	1,349	85,26	0,0104

5. 3. 2. Kurşun (II) adsorpsiyonu

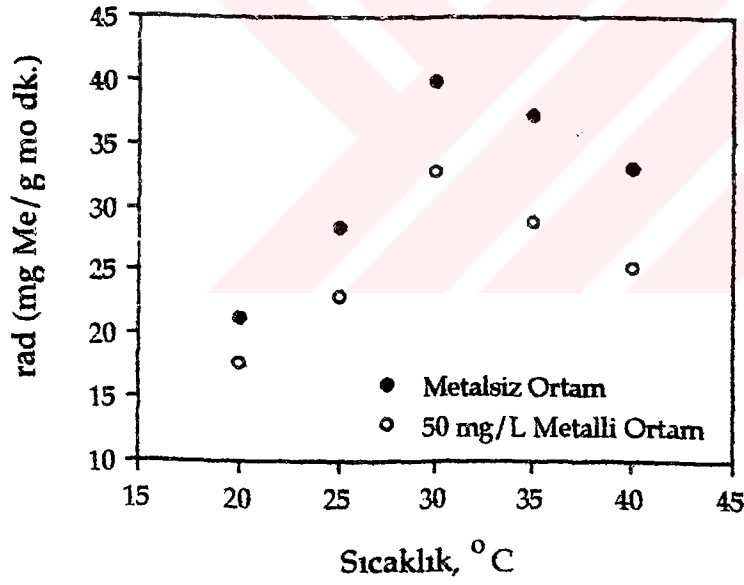
Kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH ' sı ve sıcaklık önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde adsorpsiyon hızları düşük, yüksek pH değerlerinde ise hızlar yüksektir. Hem metalsiz hem de metalli (50 mg/L, Pb (II)) ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ile kurşun (II) iyonlarının en iyi etkileşimi pH = 4,5 aralığında sağlanmaktadır (Şekil 5. 26). Kurşun (II) iyonlarının bu pH aralığında iyi adsorplanmasının nedeni hücrelerin izoelektrik noktası üzerindeki pH değerlerinde hücre üzerindeki net bir negatif yükün varlığıdır.

Kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonunda sıcaklık çok fazla etkili olmamakla beraber, her iki durumda da mikroorganizmaya adsorpsiyonunda optimum sıcaklık değeri 30 °C olarak bulunmuş, daha yüksek ve daha düşük sıcaklık değerlerinde hızlarda azalma gözlenmiştir (Şekil 5. 27).

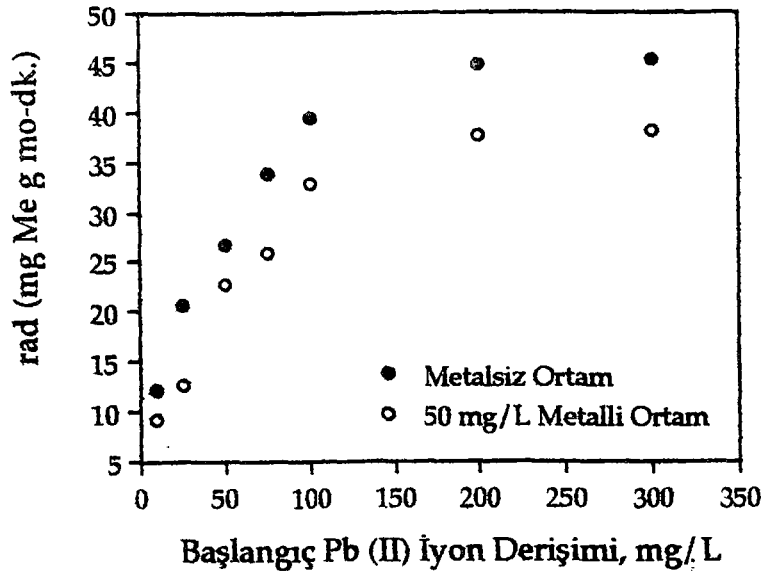
Başlangıç kurşun (II) iyon derişimlerinin; hem metalsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda hem de 50 mg/L kurşun (II) iyonu içeren üreme ortamında üretilip kurutulan *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda ilk adsorpsiyon hızlarına etkisi incelendiğinde 100 mg/L başlangıç derişimine kadar olan derişimlerde ilk adsorpsiyon hızları artmakta, daha yüksek derişimlerde ise metal iyonlarının bir kısmı adsorplanırken bir kısmı inhibisyon etkisi yaparak hızların sabit kalmasına neden olmaktadır (Şekil 5. 28). Ayrıca yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmanın metalalma etkinlik değeri düşüktür (Tablo 5. 4).



Şekil 5. 26. Başlangıç pH'sının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)



Şekil 5. 27. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $pH = 4,5$; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)



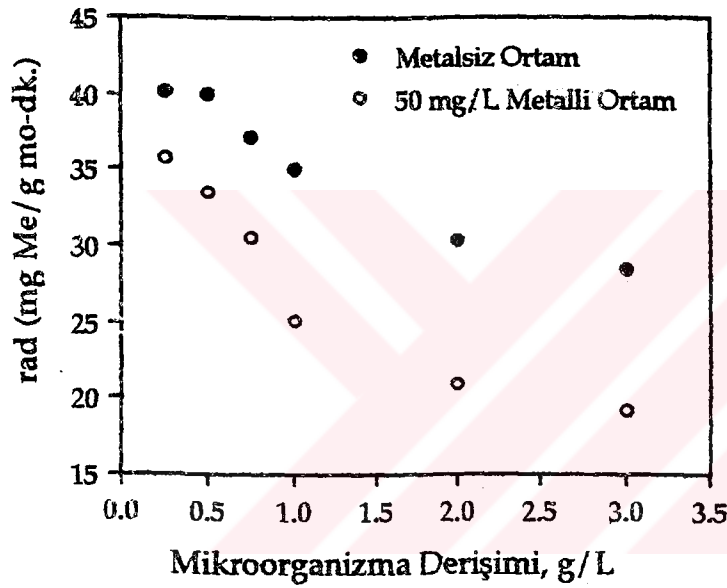
Şekil 5. 28. Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 4,5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 5. 4. Çeşitli Başlangıç Kurşun (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması

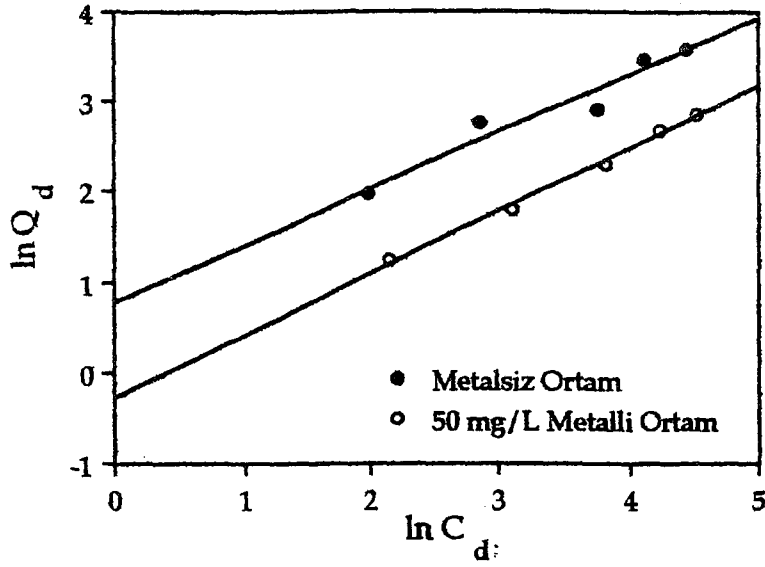
Metalsiz Ortam				Metalli Ortam			
C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}	C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}
10,31	3,11	6,22	0,603	13,31	3,25	6,50	0,488
25,45	7,92	15,84	0,622	26,75	5,85	11,70	0,437
51,49	9,29	18,58	0,360	52,25	7,91	15,82	0,303
76,09	16,08	32,16	0,422	76,47	12,30	24,60	0,322
102,31	18,31	36,62	0,357	103,52	15,04	30,08	0,291
203,41	21,41	42,82	0,210	205,41	20,55	41,10	0,200
303,29	23,19	46,38	0,153	300,65	19,55	39,10	0,130

Adsorpsiyon ortamındaki mikroorganizma derişiminin artırılması kurşun (II) iyonlarının hem metalli hem de metalsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda ilk adsorpsiyon hızları azalmaktadır (Şekil 5. 29). Yüksek mikroorganizma derişimlerinde mikroorganizmaların birbirleriyle temaslarının artması ile yığınların oluşması sonucu metal iyonlarıyla etkileşiminin azalması hızı azaltmaktadır.

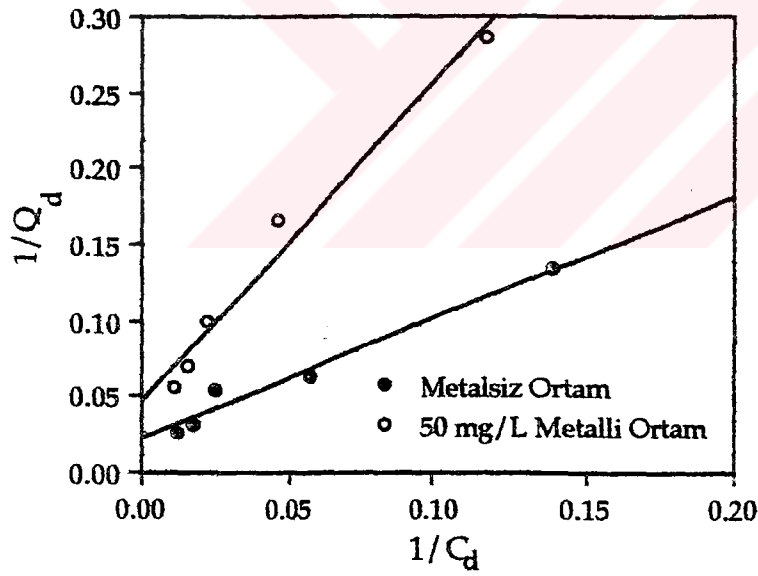
Optimum adsorpsiyon koşullarında elde edilen Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi Şekil 5. 30 ve Şekil 5. 31' de adsorpsiyon sabitleri ise Tablo 5. 5' de verilmiştir. Metallsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un kurşun (II) iyonlarını daha fazla adsorpladığı gözlenmiştir.



Şekil 5. 29. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi
(pH = 4,5; T = 30 °C; C₀ = 100 mg/L; KH= 120 rpm)



Şekil 5. 30. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini ($\text{pH} = 4,5$; $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_0 = 100\text{ mg/L}$; $\text{KH} = 120\text{ rpm}$)



Şekil 5. 31. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermini ($\text{pH} = 4,5$; $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_0 = 100\text{ mg/L}$; $\text{KH} = 120\text{ rpm}$)

Tablo 5. 5. Kurşun (II) iyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermelerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

<i>R. arrhizus</i>	Freundlich İzotermi		Langmuir İzotermi	
	Kf	n	Q ^o	b
Metalsiz Ortam	2,704	1,782	48,15	0,0255
Metalli Ortam (50 mg/L)	0,762	1,452	21,30	0,0224

5. 3. 3. Bakır (II) adsorpsiyonu

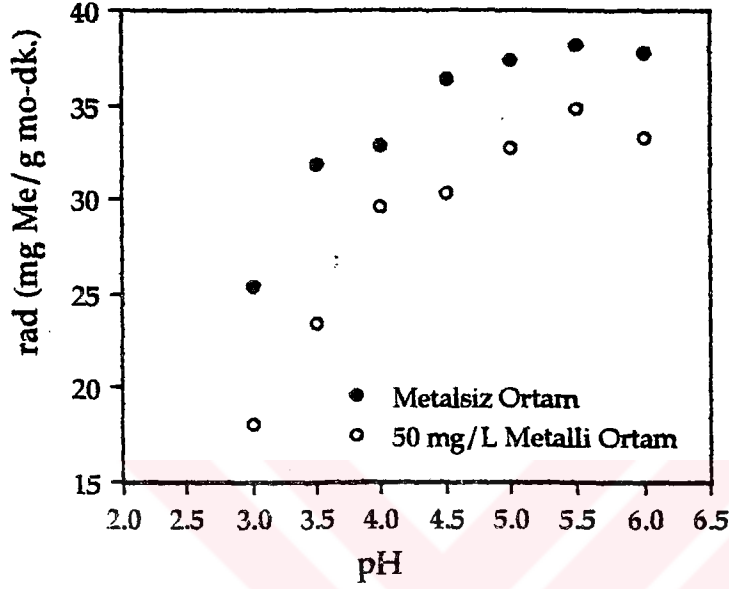
Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda başlangıç pH' ısı ve sıcaklık önemli bir parametredir. Düşük başlangıç pH değerlerinde adsorpsiyon hızları düşük, yüksek pH değerlerinde ise hızlar artmaktadır. Hem metalsiz hem de metalli (50 mg/L, Cu (II)) ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ile bakır (II) iyonları arasında pH = 5,5 aralığında en iyi etkileşim sağlanmaktadır (Şekil 5. 32). Bakır (II) iyonlarının bu pH aralığında iyi adsorplanmasının nedeni hücrelerin izoelektrik noktası üzerindeki pH değerlerinde hücre üzerindeki net bir negatif yükün varlığıdır.

Bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda sıcaklık çok fazla etkili olmamakla beraber, her iki durumda da mikroorganizmaya adsorpsiyonunda optimum sıcaklık değeri 30 °C olarak bulunmuş, daha yüksek ve daha düşük sıcaklık değerlerinde hızlarda azalma gözlenmiştir (Şekil 5. 33).

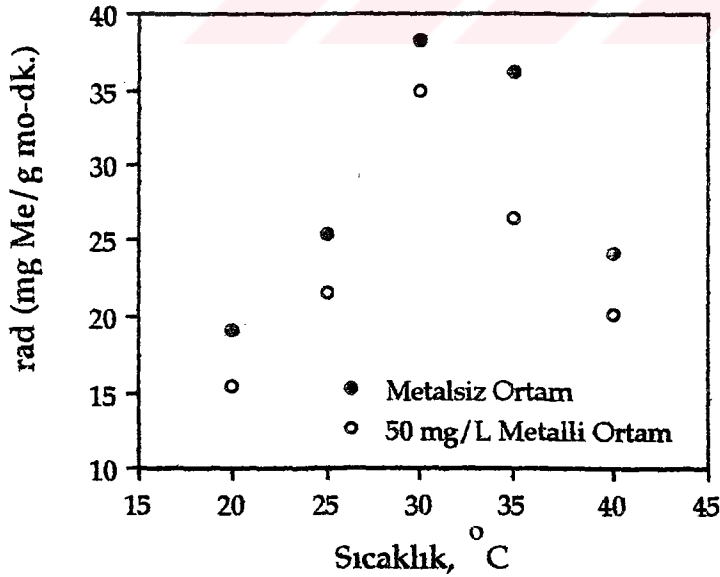
Bakır (II) iyonlarının hem metalsiz ortamda üretilen hem de 50 mg/L metal içeren üreme ortamında üreyen *R. arrhizus* 'a adsorpsiyonunda 100 mg/L başlangıç bakır (II) iyon derişimlerine kadar hızlar artmış, daha yüksek metal iyon derişimlerinde ise yaklaşık sabit kalmıştır (Şekil 5. 34).

Yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmanın metal alma etkinliğinin azalması hızı azaltma eğilimi göstermesine neden olmaktadır. Tablo 5. 6' da düşük metal iyon derişimlerinde yüksek; yüksek metal iyon derişimlerinde ise daha düşük adsorpsiyon hız ve mikroorganizmaların metal alma etkinlik değerlerinin bulunduğu görülmektedir.

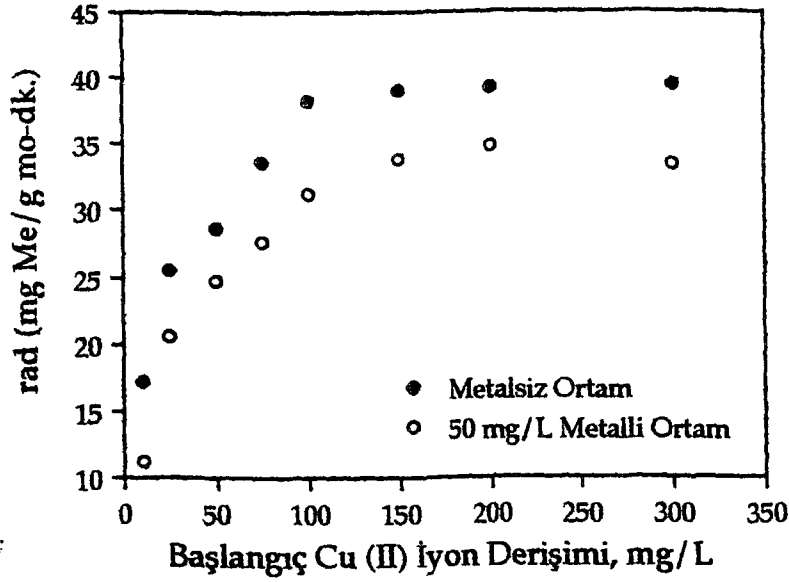
Adsorpsiyon ortamındaki mikroorganizma derişiminin değişimi, kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonlarının adsorpsiyonuna benzer davranışlar göstermekte, mikroorganizma derişiminin arttırılması hızı azaltmaktadır (Şekil 5. 35).



Şekil 5. 32. Başlangıç pH'ının İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)



Şekil 5. 33. Sıcaklığın İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $pH = 5,5$; $C_0 = 100$ mg/L; $KH = 120$ rpm)

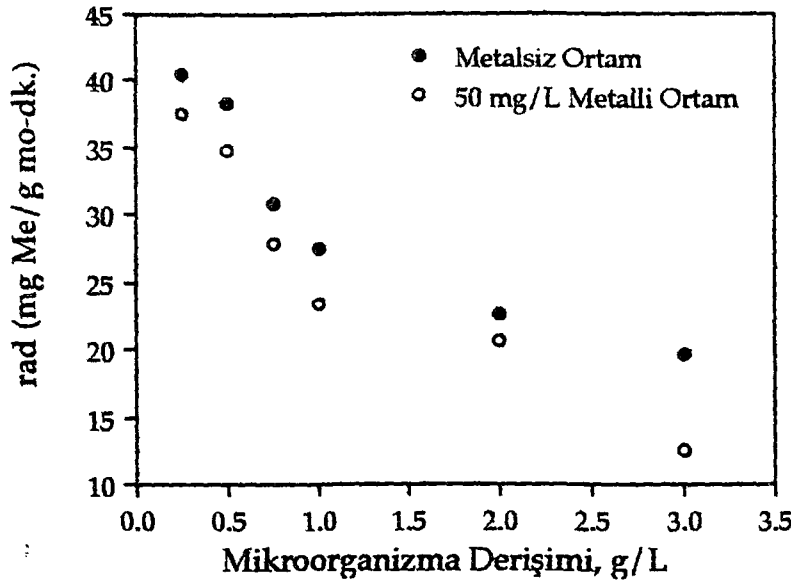


Şekil 5. 34. Başlangıç Bakır (II) İyon Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi ($X_0 = 0,5$ g/L; $T = 30$ °C; $pH = 5,5$; $KH = 120$ rpm)

Tablo 5. 6. Çeşitli Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Maksimum Adsorplanan Metal İyonu Derişimleri ve Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Metalsiz Ortam				Metalli Ortam			
C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}	C_0 , mg/L	C_{xmax} mg/L	q_{max} , mg/g	Y_{qmax/C_0}
-	-	-	-	10,58	7,75	15,5	1,465
25,59	20,60	41,20	1,610	28,59	19,76	39,52	1,382
57,00	22,59	45,18	0,792	50,59	23,60	47,20	0,933
78,00	26,00	52,00	0,667	78,00	26,00	52,00	0,667
109,11	29,40	58,80	0,539	103,45	32,58	65,16	0,629
200,21	49,88	99,76	0,498	205,33	39,98	79,96	0,389
300,81	30,85	61,96	0,205	301,59	28,75	57,50	0,191

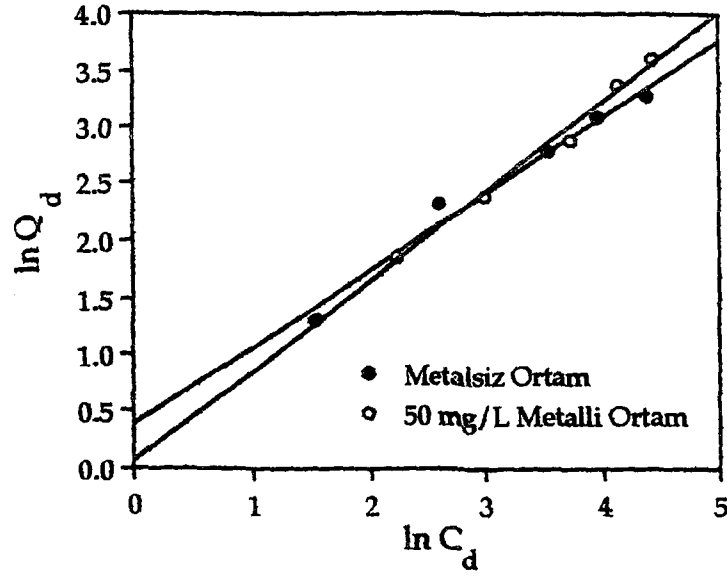
Tablo 5. 6 incelendiği zaman; metalli ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un metal alma etkinlik değerinin, metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' a göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki durumda da yüksek metal iyon derişimlerinde mikroorganizmanın metal alma etkinlik değerinin daha düşük olduğu da gözlenmiştir.



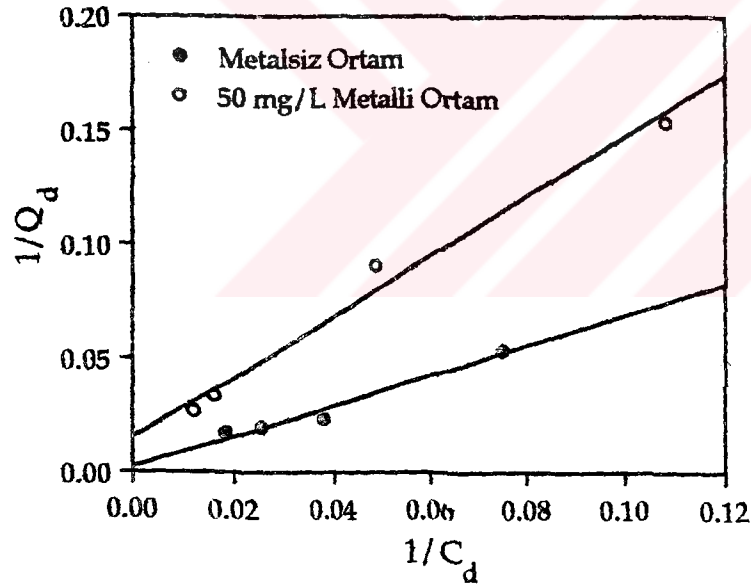
Şekil 5. 35. Mikroorganizma Derişiminin İlk Adsorpsiyon Hızına Etkisi
(pH = 5,5; T = 30 °C; C₀ = 100 mg/L; KH = 120 rpm)

Bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda optimum ortam koşullarında elde edilen Freundlich ve Langmuir İzotermi Şekil 5. 36 ve Şekil 5. 37' de, izotermielerden elde edilen sabitler ise, Tablo 5. 7' den görülmektedir.

İzotermielerden ve adsorpsiyon sabitlerinden görüldüğü gibi metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus* ' un bakır (II) iyonlarına ilgisi, 50 mg/L bakır (II) iyonları içeren ortamda üretilen *R. arrhizus* ' a ilgisinden daha fazladır. Dolayısıyla da bakır (II) iyonlarını metalsiz ortamda üretilen *R. arrhizus*, metalli ortamda üretilen *R. arrhizus* ' dan daha fazla adsorplamaktadır.



Şekil 5. 36. Optimum Koşullarda Freundlich Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (pH = 5,5; T = 30 °C; ; KH= 120 rpm)



Şekil 5. 37. Optimum Koşullarda Langmuir Modeline Göre Elde Edilen Adsorpsiyon İzotermi (pH = 5,5; T = 30 °C; $C_0 = 100$ mg/L; KH= 120 rpm)

Tablo 5. 7. Bakır (II) İyonlarının Metalsiz ve 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamında Üretilen *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Freundlich ve Langmuir Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen Adsorpsiyon Sabitleri

<i>R. arrhizus</i>	Freundlich İzotermi		Langmuir İzotermi	
	Kf	n	Q ^o	b
Metalsiz Ortam	8,959	3,633	50,97	0,609
Metalli Ortam (50 mg/L)	1,054	1,249	64,55	0,012

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' un özgül üreme hızı üzerine etkisi kesikli düzende karıştırmalı tepkime kabında araştırıldı.

Ağır metallerden kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine hem tek tek hem de birlikte etkileri ve mikroorganizmanın üremesi için gerekli optimum ortam koşulları kesikli düzende çalışan karıştırmalı tepkime kabında belirlenmiştir. Ayrıca; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metalli hem de metallsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* 'a adsorbsiyonunda optimum ortam koşulları da kesikli düzende karıştırmalı tepkime kabında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdadır.

1- Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının tek tek bulundukları ortamda *R. arrhizus* ' un üretilmesinde optimum başlangıç pH' ları sırasıyla 3,5, 4,0 ve 4,5 olarak bulunmuştur. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını ikili karışımlarla eşit derişimlerde birlikte içeren ortamda; kadmiyum (II) ve kurşun (II) iyonları için pH= 3,5; kadmiyum (II) ve bakır (II) iyonları; kurşun (II) ve bakır (II) iyonları ile her üç metal iyonunu birlikte içeren ortam için pH = 4,0; olarak alınmıştır. Metal iyonları içermeyen ortamda ise optimum pH = 5 olarak bulunmuştur. Bu üç metal iyonu asidik pH' larda mikroorganizmaya bağlanmaktadır. Optimum pH' lardan daha düşük pH' larda metal iyonları mikroorganizmaya bağlanmak için ortamdaki H⁺ iyonları ile yarışmaktadır. Ayrıca düşük pH değerlerinde hücre yüzey yükü pozitif olacağından, pozitif yüklü metal katyonları, hücre yüzeyinden uzaklaşacaktır. Bu durumda da mikroorganizma hücreleri ile metal iyonları arasındaki etkileşim azalmaktadır.

2- Ağır metal iyonlarının bulunduğu üreme ortamında mikroorganizmanın üremesi üzerine sıcaklık, pH kadar önemli bir parametre değildir. *R. arrhizus* , kurşun (II) iyonlarının bulunduğu ortamda 25 °C'de; kadmiyum (II), bakır (II) ve metal iyonlarını eşit derişimlerde birlikte içeren üreme ortamında ise optimum sıcaklık 30 °C olarak bulunmuştur. Bu metal iyonlarının her iki durumda mikroorganizmaya adsorbsiyonunun düşük sıcaklıklarda

gerçekleşmesi fiziksel adsorpsiyonunun bir sonucudur. Ayrıca adsorpsiyonun ekzotermik olması, metal iyonlarının düşük sıcaklıklarda *R. arrhizus* 'a daha iyi bağlandığını göstermektedir.

3- Üreme ortamındaki metal iyon derişimlerinin artırılması ile *R. arrhizus* derişimi azalmaktadır. Kesikli düzende çalışan karıştırmalı tepkime kabında; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının ayrı ayrı bulundukları üreme ortamında *R. arrhizus* 'un maksimum özgül üreme hızı (μ_m) ve substrat doygunluk derişimi (K_s), "Monod Eşitliği"nin tersi alınıp, $1/\mu$ 'ye karşı $1/S_0$ grafiğe geçirilerek bulunan değerleri Tablo 6. 1' de verilmiştir. Başlangıç metal iyon derişimlerinin artması sürücü gücü (ΔC) artırdığı için adsorpsiyon hızını da artırmaktadır. Ancak belli bir başlangıç metal derişiminden sonra, metal iyonlarının belli bir kısmının mikroorganizma tarafından bağlanması, bir kısmının da mikroorganizmayı inhibe etmesi ve hücre yüzeyinin metal iyonlarınca doygunluğa erişmesiyle hızlar sabitleşmektedir.

Tablo 6. 1. Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Tek Tek Bulundukları Üreme Ortamında *R. arrhizus*'un Üretilmesinde Optimum Koşullarda Elde Edilen Özgül Üreme Hızı ve Substrat Doygunluk Derişimi Değerlerinin Karşılaştırılması

Metal İyonu	Optimum pH	Optimum Sıcaklık, °C	C_0 mg/ L	Özgül Üreme Hızı μ_m (Saat ⁻¹)	Substrat Doygunluk Derişimi, K_s (g/L)
Cd +2	3,5	30	50	0,0623	1,445
Pb +2	4,0	25	50	0,0553	2,632
Cu +2	4,5	30	50	0,0912	4,917

4- Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde *R. arrhizus* derişiminin artışına bağlı olarak kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı bulunmuştur. Kimyasal oksijen ihtiyacı ile elde edilen oksijen ihtiyacı, genellikle suda bulunan mikroorganizmaların metabolik aktiviteleri sırasında sentez ve solunum için ihtiyaç duydukları miktardan daha fazladır. Üreme ortamında bulunan organik madde *R. arrhizus* tarafından enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla tüketilmektedir.

5- Ağır metallerin bulunduğu üreme ortamında besi maddesi derişimi mikroorganizmaların büyümelerini en az sıcaklık, pH ve başlangıç metal iyon derişimi kadar etkilemektedir. Üreme ortamında besi maddesi derişimlerinin belli değerler arasında olması gerekmektedir. Düşük derişimlerin, *R. arrhizus* ' un üremesi üzerine sınırlama; yüksek derişimlerin ise inhibisyon etkisi yaptığı bulunmuştur. Farklı sakkaroz derişimlerinde sakkaroz miktarı arttıkça *R. arrhizus* derişiminin arttığı gözlenmiştir. 30 mg/L' ye kadar sakkaroz derişimlerinde, mikroorganizma derişimi artarken, 30 mg/L' den daha büyük sakkaroz derişimlerinde ise mikroorganizma derişimi azalmaktadır. Sakkaroz miktarının aynı olmadığı koşullarda; metalli ortama alıştırılmadan ve metalli ortama alıştırılarak üretilen *R. arrhizus* derişiminin metal derişiminin artışına bağlı olarak azaldığı bulunmuştur.

6- Başlangıç sakkaroz derişimine bağlı olarak; özgül üreme hızının tersine ikilenme süresi $S_0 = 30$ g/L değerine kadar azaldığı, daha sonra ise tekrar artmaya başladığı bulunmuştur.

7- Sakkaroz derişimi arttıkça mikroorganizma derişiminin arttığı, buna bağlı olarak da kimyasal oksijen ihtiyacının azaldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni ise, kimyasal oksijen ihtiyacının mikroorganizma derişimi ile değişmesidir.

8- Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metalli hem de metallsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda optimum başlangıç pH' ları sırasıyla 5,0, 4,0-4,5, 5,5 olarak bulunmuştur. Kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının her iki durumda da kuru *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda optimum başlangıç pH' ları aynıdır. Bu üç metal iyonu asidik pH' larda mikroorganizmaya bağlanmaktadır. Optimum pH' lardan daha düşük pH' larda metal iyonları mikroorganizmaya bağlanmak için ortamdaki H^+ iyonları ile yarışmaktadır. Ayrıca düşük pH değerlerinde hücre yüzey yükü pozitif olacağından, pozitif yüklü metal katyonları, hücre yüzeyinden uzaklaşacaktır. Bu durumda da mikroorganizma hücreleri ile metal iyonları arasındaki etkileşim azalmaktadır.

9- Ağır metal iyonlarının mikroorganizmaya adsorpsiyonunda sıcaklık pH kadar önemli bir parametre değildir. Metalli ve metallsiz ortamda üretilip kurutulan *R. arrhizus* ' a kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda optimum sıcaklık 30 °C olarak bulunmuştur. Bu metal iyonlarının her iki durumda mikroorganizmaya adsorpsiyonunun

düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi fiziksel adsorpsiyonunun bir sonucudur. Ayrıca adsorpsiyonun ekzotermik olması, metal iyonlarının düşük sıcaklıklarda *R. arrhizus* ' a daha iyi bağlandığını göstermektedir.

10- Adsorpsiyon ortamındaki metal iyon derişimlerinin artırılması ile hem metalsiz ortamda hem de 50 mg/L metal içeren ortamda üretilerek inaktif hale getirilen *R. arrhizus* ' a adsorplanan metal iyon derişimleri zamanla artmaktadır. Kesikli düzende çalışan karıştırmalı tepkime kabında metalsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda elde edilen adsorpsiyon hızı, denge ve etkinlik değerleri Tablo 6. 2' de; metalli ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının adsorpsiyonunda elde edilen adsorpsiyon hızı, denge ve etkinlik değerleri ise Tablo 6. 3' de verilmiştir. Başlangıç metal iyon derişimlerinin artması sürücü gücü (ΔC) artırdığı için adsorpsiyon hızını da artırmaktadır. Ancak belli bir başlangıç metal derişiminden sonra, metal iyonlarının belli bir kısmının mikroorganizma tarafından bağlanması, bir kısmının da mikroorganizmayı inhibe etmesi ve hücre yüzeyinin metal iyonlarınca doygunluğa erişmesiyle hızlar sabitleşmektedir.

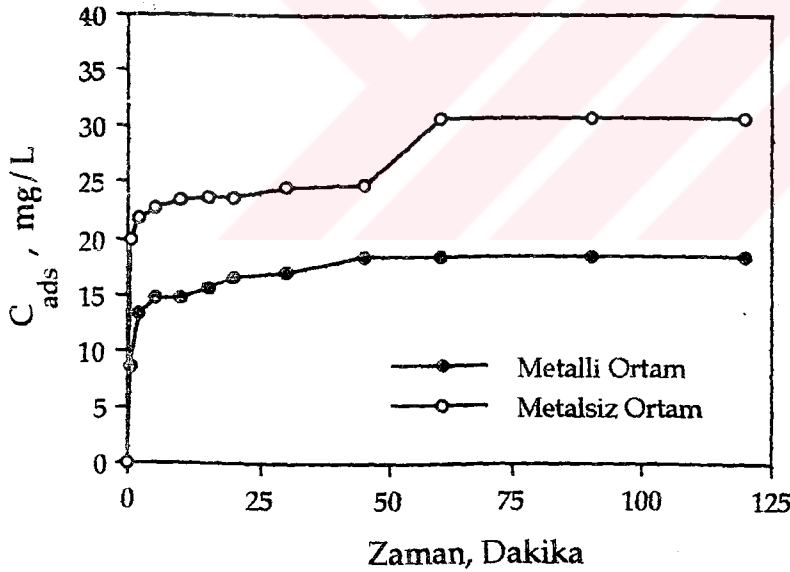
Tablo 6. 2. Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulan *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda Optimum Koşullarda Elde Edilen Adsorpsiyon Hızı Denge ve Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması ($X_0 = 0,5$ g/L)

Metal İyonu	Optimum pH	Optimum Sıcaklık, °C	C_0 mg/L	t_{den} dak.	C_{xden} mg/L	q_{den} mg/g	q_{max} mg/g	Y_{qmax}/C_0 1/g
Cd ⁺²	5,0	30	100,95	2-30	76,86	48,18	51,48	0,509
Pb ⁺²	4,5	30	102,31	10-30	84,02	36,59	36,62	0,357
Cu ⁺²	5,5	30	109,11	10-30	80,15	57,92	58,80	0,539

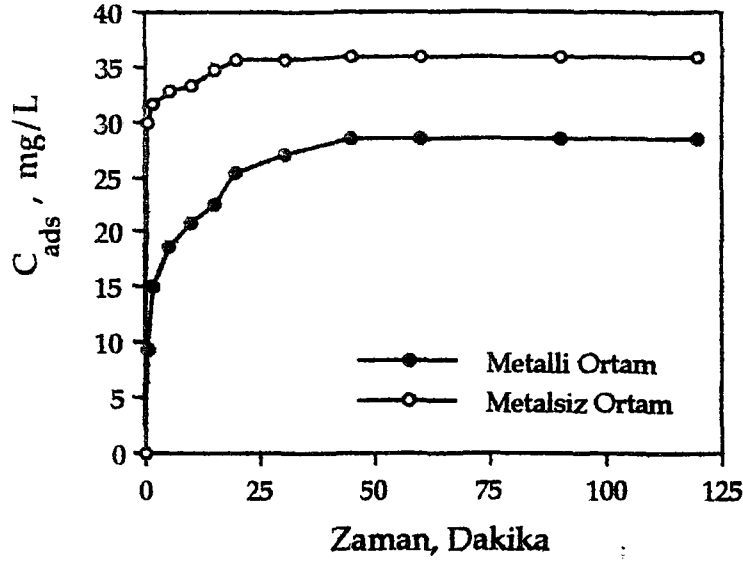
Tablo 6. 3. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının 50 mg/L Metal İçeren Üreme Ortamda Üretilip Kurutulan *R. arrhizus*'a Adsorbsiyonunda Optimum Koşullarda Elde Edilen Adsorbsiyon Hızı Denge ve Etkinlik Değerlerinin Karşılaştırılması ($X_0 = 0,5$ g/L)

Metal İyonu	Optimum pH	Optimum Sıcaklık, °C	C_0 mg/L	t_{den} dak.	C_{xden} mg/L	q_{den} mg/g	q_{max} mg/g	Y_{qmax}/C_0 1/g
Cd +2	5,0	30	101,45	2-30	76,86	48,18	47,70	0,470
Pb +2	4,5	30	103,52	10-30			30,08	0,291
Cu +2	5,5	30	103,45	10-30			65,16	0,629

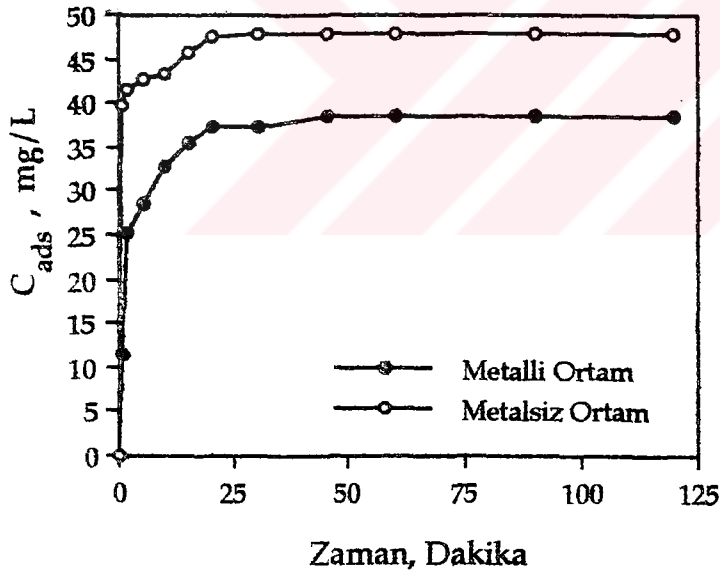
11- Başlangıç metal iyon derişiminin 100 mg/L olması durumunda, kesikli sistemde çalışan karıştırılmalı kaptaki metalsiz ve 50 mg/L metal içeren üreme ortamında üretilen *R. arrhizus*'un adsorpladığı kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonları yaklaşık olarak aynıdır (Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3).



Şekil 6. 1. Kadmiyum (II) İyonlarının Kesikli Karıştırılmalı tepkime kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen *R. arrhizus*'a Adsorbsiyonunda Adsorplanan Kadmiyum (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,0; T = 30 °C; KH = 120 rpm)

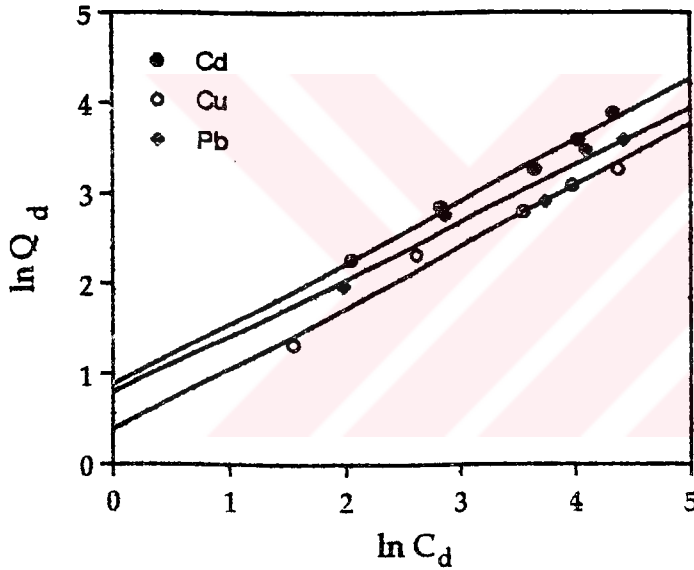


Şekil 6. 2. Kurşun (II) İyonlarının Kesikli Karıştırma Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen *R. arrhizus*'a Adsorpsiyonunda Adsorplanan Kurşun (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 4,5; $T = 30$ °C; KH = 120 rpm)

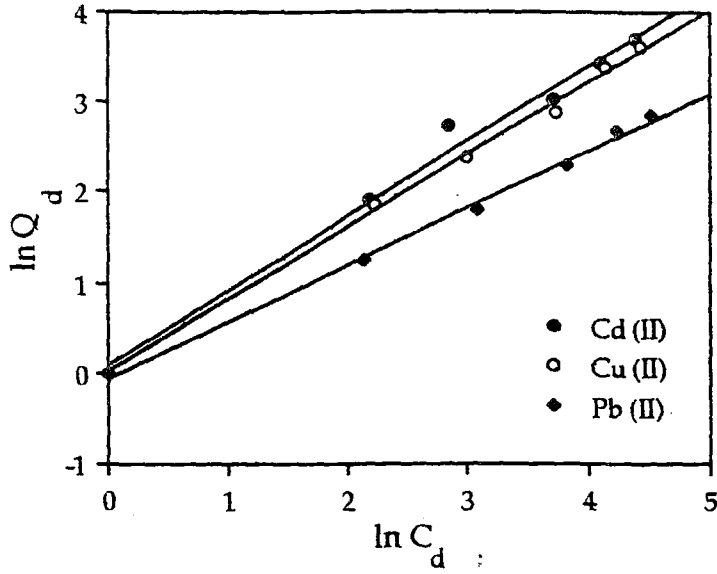


Şekil 6. 3. Bakır (II) İyonlarının Kesikli Karıştırma Tepkime Kabında Metalsiz ve Metalli Ortamda Üretilen *R. arrhizus*'a Adsorpsiyonunda Adsorplanan Bakır (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; $C_0 = 100$ mg/L; pH = 5,0; $T = 30$ °C; KH = 120 rpm)

12- Kesikli düzende çalışan karıştırılmalı kapta kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının metalsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda optimum ortam koşullarında elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 6. 4' de; metalli ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda optimum ortam koşullarında elde edilen Freundlich adsorpsiyon izotermi Şekil 6. 5' de görülmektedir. Metal iyonlarının, metalli ve metalsiz ortamlarda üretilip inaktif hale getirilen mikroorganizmaya adsorpsiyonunda 30 °C sıcaklıkta elde edilen adsorpsiyon izotermlerinden hesaplanan K_f , n ve Q^0 değerleri Tablo 6. 4 ve Tablo 6. 5' de verilmiştir. Tablolardan da görüldüğü gibi; *R. arrhizus* ' un en yüksek adsorpsiyon kapasite ve derecesine bakır (II) iyonları sahiptir. Bu durum da *R. arrhizus* ' un metalleri seçici olarak adsorpladığını göstermektedir.



Şekil 6. 4. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Optimum Ortam Koşullarında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarını Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus*' a Adsorpsiyonunda Elde Edilen Freundlich Adsorpsiyon İzotermi



Şekil 6. 5. Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Optimum Ortam Koşullarında Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyonlarının Metalli Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* ' a Adsorbsiyonunda Elde Edilen Freundlich Adsorbsiyon İzotermi

Tablo 6. 4. Herbir Metal İyonunun Optimum pH ve 30 °C Sıcaklıkta Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* ' a Adsorbsiyonunda, Adsorbsiyon İzotermelerinden Elde Edilen K_f , n ve Q^0 Değerleri

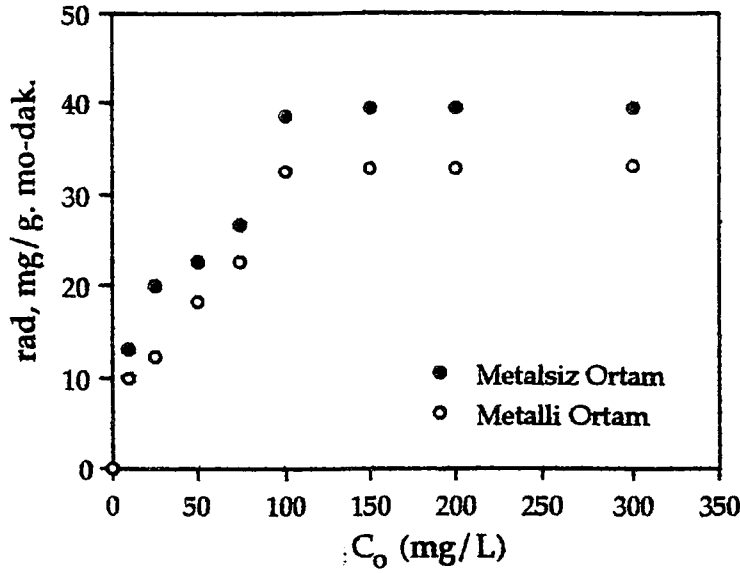
Metal İyonu	K_f	n	Q^0 (mg Me/g-mo)
Cd +2	2,478	1,496	60,03
Pb +2	2,704	1,782	48,15
Cu +2	8,959	3,363	50,97

Tablo 6. 5. Her bir Metal İyonunun Optimum pH ve 30 °C Sıcaklıkta Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Metalli Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* ' a Adsorpsiyonunda, Adsorpsiyon İzotermlerinden Elde Edilen K_f , n ve Q^0 Değerleri

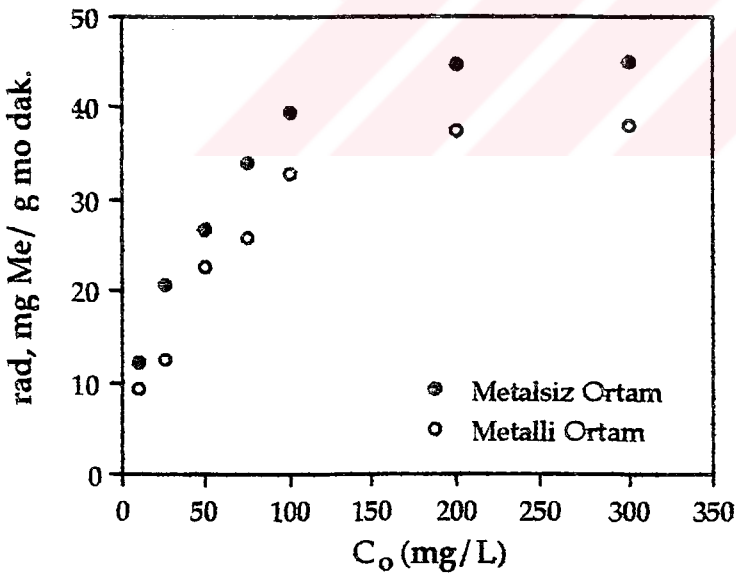
Metal İyonu	K_f	n	Q^0 (mg Me/g-mo)
Cd +2	1,4527	1,349	85,26
Pb +2	0,762	1,452	21,30
Cu +2	1,054	1,249	64,55

13- Kesikli karıştırmalı tepkime kabında kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının metalli ve metalsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda, en yüksek adsorpsiyon hızı 0,25 g - kuru mo/L derişiminde elde edilmiştir. Ortamdaki mikroorganizma derişimi çözeltiden uzaklaştırılan metal miktarını etkilemekte, mikroorganizma derişimi arttıkça adsorplanan metal iyon derişimleri de artmaktadır. Yüksek derişimlerde, mikroorganizmaların birbirleriyle daha çok etkileşmeleri ile topaklaşma ve yığınların oluşması sonucu adsorpsiyon için gerekli olan yüzey alanı azalmaktadır. Böylece yüksek mikroorganizma derişimlerinde adsorpsiyon hızları azalmaktadır.

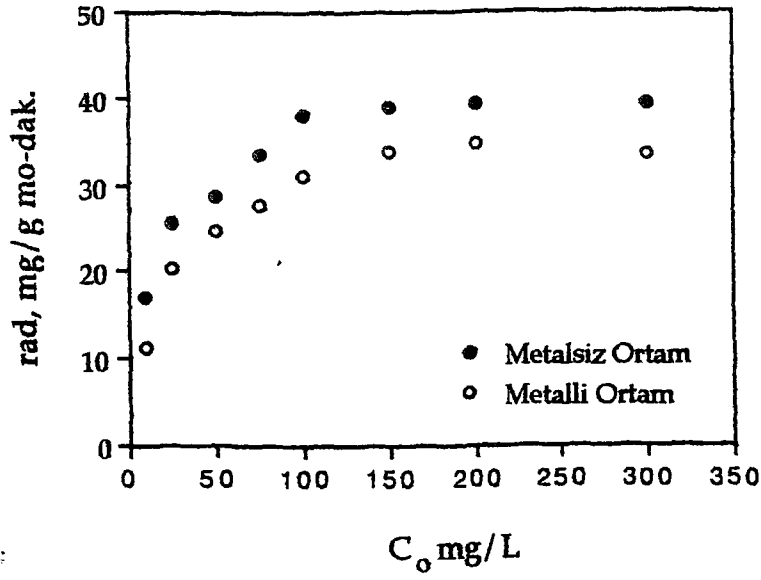
14- Kesikli karıştırmalı tepkime kabında kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının metalli ve metalsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonu karşılaştırıldığında; metalli ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyon hızları oldukça düşük bulunmuştur (Şekil 6. 6, 6. 7 ve 6. 8).



Şekil 6. 6. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri İle Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; pH = 4,5; T = 30 °C; KH = 120 rpm)



Şekil 6. 7. Kesikli Karıştırılmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Kurşun(II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsiz Ortamda Üretilip Kurutulmuş *R. arrhizus* 'a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri İle Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; pH = 5,0; T = 30 °C; KH = 120 rpm)



Şekil 6. 8. Kesikli Karıştırmalı Tepkime Kabında Farklı Başlangıç Bakır (II) İyon Derişimlerinde Metalli ve Metalsız Ortamda Üretilip Kurutulmuş *Rarrhizus*' a Adsorpsiyonunda İlk Adsorpsiyon Hızlarının Başlangıç Metal İyon Derişimleri ile Değişimi ($X_0 = 0,5$ g/L; pH = 5,5; T = 30 °C; KH = 120 rpm)

7. ELEŞTİRİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarını ayrı ayrı ve birlikte içeren üreme ortamında *R. arrhizus* 'un üremesi kesikli düzende çalışan karıştırmalı tepkime kabında araştırılarak; çeşitli üreme parametreleri geliştirilmiştir. Ayrıca kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyonlarının hem metalli hem de metalsiz ortamda üretilip kurutulmuş *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonu kesikli düzende çalışan karıştırmalı tepkime kabında incelenmiş ve çeşitli adsorpsiyon parametreleri tayin edilmiştir.

Üreme çalışmalarında kullanılan *R. arrhizus* ' un çok iyi sterillenmesi gerekmektedir. Canlı sistemlerle çalışmada en önemli sorun sterilizasyondur. Mikroorganizmanın metalli ve metalsiz ortamda üretilmesi sırasında kullanılan tüm ekipman, malzeme, besiyeri ve çözeltilerin steril olması gerekmektedir. Ayrıca üretim sırasında mikroorganizmanın başka mikroorganizmalarla kontamine olma riskini de göz önüne alarak sterilliğin devamlılığını sağlamak şarttır.

R. arrhizus ' un üremesinin son derece yavaş olması, sterilizasyon koşullarının devamlılığının sağlanarak kontaminasyona engel olunması, metal çözeltisi ile besiyerinin biraraya gelmesi durumunda metal iyonlarının çökmesinin engellenmesinin gerekliliği ve sonuçların güvenilirliğini artırmak amacı ile deneylerin birkaç kez tekrarlanması üreme çalışmalarının yavaş ilerlemesine neden olmuştur. Ancak üreme çalışmaları sırasında; mikroorganizmanın 30 °C gibi düşük sıcaklıkta gelişmesi, çok sayıda 250 mL' lik erlenlerin kullanılabilirdiği bir orbital inkübatörün kullanılması ve metal iyon derişimlerinin atomik absorpsiyon spektrofotometresinde tayin edilebilmesi bir avantaj olarak kabul edilebilir.

Adsorpsiyon çalışmalarında ise; adsorpsiyonun hızlı olması, sterillik koşullarının bulunmayışı, adsorpsiyon deneylerinin kolay hazırlanması, çok sayıda 250 mL' lik erlenlerin kullanılabilirdiği bir orbital inkübatörde yapılabilmesi ve metal iyon derişimlerinin atomik absorpsiyon spektrofotometresinde tayin edilebilmesi adsorpsiyon çalışmalarının hızlı yürütülmesini sağlamıştır. Ayrıca üreme deneylerinde üretilen mikroorganizmanın daha sonra adsorpsiyon çalışmaların kullanılması da

süre kaybını azaltmıştır.

R. arrhizus 'un hem metalli ortamda hem de metalsiz ortamda üretilmesi düşük pH ve sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Pahalı pH yükseltici ve çöktürücü kimyasallara ihtiyaç olmayacağından, mikroorganizmalarla ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması düşük maliyetlerde gerçekleştirilebilir.

Hem üreme hem de adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan ağır metal iyon derişimleri, atıksularda yer alan metal iyonu derişim limitlerini içermektedir. Bu durumda atıksulardaki ağır metal iyonları yüksek hız ve etkinlikte mikroorganizma larla uzaklaştırılabilir. Eğer atıksu daha yüksek derişimlerde ağır metal iyonu içeriyorsa, su ile seyreltmeler yapılmalıdır. Daha iyi bir arıtımın olup olmayacağını anlamak için ard arda seri olarak bağlanmış ve herbiri bir denge kademesi olan birkaç tane kap ile çalışmaların devam edilebilir.

Kesikli düzende canlı sistemlerde ağır metal adsorpsiyonunda; karışık kültürlerle çalışarak, metal iyonlarının üreme hızı üzerindeki artırıcı ve azaltıcı etkileri incelenmiştir

Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen bu çalışmanın endüstriyel bir atıksu arıtım prosesine dönüştürülebilir. Kesikli düzende çalışan karıştırmalı kapta yapılan bu çalışma sürekli düzende çalışan tepkime kaplarında incelenebilir.

Daha ileriki çalışmalarda mikroorganizma sayısı artırılarak aynı üreme ortamında bulunan birden fazla mikroorganizmanın üremesi üzerine ağır metal iyonlarının etkisi araştırılabilir. Ayrıca formaldehitte inaktif hale getirilmiş *R. arrhizus* ' a ağır metal adsorpsiyonu dolgulu yatak reaktöründe incelenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.

Sürekli düzendeki karıştırmalı ve dolgulu yatak reaktörlerinde metal adsorpsiyonuna difüzyon etkileri araştırılabilir. Sürekli sistemde mikroorganizmalarla kademeli arıtma denenebilir.

Canlı mikroorganizma yüzeyinde tutulan ağır metal iyonlarının geri kazanımı üzerinde daha fazla durularak, desorpsiyon hızına ortam parametrelerinin etkisi araştırılabilir. Ayrıca üreme sırasında

mikroorganizmanın adsorpladığı metalin tamamını desorplayamadığı ve desorplanmayan bu metal iyonlarının nerede biriktiği, elektron mikroskopuyla çekilen fotoğraflarla kanıtlanabilir.

Mikroorganizmaların bulundukları ortamdan ağır metal iyonlarını seçici olarak bünyelerinde biriktirebilme özelliklerinden yararlanılarak, atıksu arıtımında kullanılması, klasik yöntemlere göre pratik ve ekonomik bir prosestir.

Sonuç olarak bu çalışma, atıksularda bulunan ağır metal iyonlarının hem canlı hem de cansız mikroorganizmalarla giderimi ve geri kazanımı konusunda endüstriyel arıtım prosesleri için bir laboratuvar ön çalışması olarak düşünülebilir.



KAYNAKLAR

- AKSU, Z., KUTSAL, T., (1990). A Biosorption Process for Removing Lead (II) Ions from Wastewater by Using *C. vulgaris*. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**.
- AKSU, Z., KUTSAL, T., (1994). Atıksulardaki Kurşun (II), Krom (VI) ve Bakır (II) İyonlarının Yeşil Alglerden *Chlorella vulgaris*'e Adsorpsiyonunun Karıştırmalı ve Akışkan Yatak Reaktörlerde İncelenmesi. **Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences**, 18, 403-410.
- AKSU, Z., SAĞ, Y., NOURBAKHS, M., KUTSAL, T., (1995). Atıksulardaki Bakır (II), Krom (VI) ve Kurşun (II), İyonlarının Çeşitli Mikroorganizmalara Adsorplanarak Giderilmesinin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi. **Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences**, 19, 285-293.
- BAILEY, J. E., OLLIS, D. F., (1986). **Biochemical Engineering Fundamentals**, Mc - Graw Hill, USA.
- BEVERIDGE, T. J., (1977). The Response of Cell Walls of *Bacillus subtilis* to Metals and to Electron - Microscopic Stains, **Journal of Bacteriology** 24, 89 - 104.
- BÜYÜKGÜNGÖR, H., (1986). "Atıkların İşlenmesinde Mikrobiyolojik Proseslerin Rolü". **Çevre 86' Sempozyumu Tebliğleri**, 2 - 5 Haziran S. 8, İzmir.
- CHANG, S. J., and HONG, S., (1994). "Bisorption of Mercury by The Inactivated Cells of *Pseudomonas aeruginosa* PU 21 (Rip 64) " **Biotechnology and Bioengineering**. John Wiley and Sons.
- CLARK, W., J., VIESZMAN, W., HANMER, M. J., (1971). **Water Supply and Pollution Control**, International Textbook Company, 2, 285 - 566.

- CRIST, H. R., OBERHOLSER, K., SHANT, N., NGUYEN, M. Y., (1981). Nature of Bonding Between Metallic Ions and Algal Cell Walls, *Env. Sci. and Tech.*, 15, 10, 1212-1217.
- COONEY, E., vd., (1992). "Toxicity Reduction Evaluation and Control". Water Quality Manegement Library, Vol: 3, Sa. 237 USA.
- CULP, L., CULP, L. R., (1974). "New Concepts in Water Purification". Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series. El Dorado Hills, California.
- DARNALL, D. W., GREENE, B., HOSEA, M., MC PHERSAN, R. A., HENZL, M., ALEXANDER, M. D., (1986). Recovery of Heavy Metals by Immobilized Algae, *Industrial Division of the Royal Society of Chemistry Annual Chemical Congress* (Ed. R. Thomson), p: 1-24.
- DEAN, G. I., vd., (1972). "Removing Heavy Metals from Wastewater ". *Environ. Sci and Technol.* Vol 6.
- DUNCAN, J. R., WILHEMI, B. S., (1995). Metal Recovery From *Saccaromyces cerevicia* Biosorbsion Columns, *Biotechnology Letters*, Vol: 17, No: 9.
- D. S. İ., (1980). *Metal Kaplama Sanayii Atıksuları*, D. S. İ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı Yayını, No: KI-703, Ankara.
- EKİZ, H. İ., ÖZER, A., ÖZER, D., KUTSAL, T., ÇAĞLAR, A., (1993). Lead (II) Biosorption by Immobilized Dead *Rhizopus arrhizus* in Packed Bed Reactor, *Sixth European Congress on Biotechnology*, IV, TH 256-TH 257, Firenze.
- FRIIS, N., MYESR - KEITH, P., (1986). Biosorption of Uranium and Lead by *Streptomyces logwoodensis* , *Biotechnology and Bioengineering*, 28, 21 - 28.
- GADD, G. M., (1988). "Accumulation of Metals by Microorganisms and Algae". *Biotechnology*. Vol 6b. VCH, Weinheim, Germany.
- GURNHAM, C. F., (1965). *Industrial Wastewater Control*. Academic Press, USA.

- HAMMER, M. J., (1986). **Water and Wastewater Technology.** John Wiley Sons. N.Y. USA.
- HORAN, N. J., (1990). **Biological Wastewater Treatment Systems Theory and Operation.** John Wiley and Sons Ltd.
- JAWETZ, vd., (1989). **Medical Microbiology.** Eighteenth Edition. USA.
- KARGI, F., (1993). "**Çevre Mühendisliğinde Biyoprosesler**" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 234, İzmir.
- KARPUZCU, M., (1991). "**Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü**", İTÜ Yayınları, İstanbul
- KONG, S., JOHNSTONE, D. L., YANGE, D. R., PETERSON, J. N., BROUNS, T. M., (1992). Comparison of Chromium Adsorption to Starved and Fresh Subsurface Bacterial Consortium, **Biotechnology Techniques**, 6, 2, 143-148.
- KUYUCAK, N., VOLESKY, B., (1987). Biosorbents for Recovery of Metals from Industrial Solutions, **37 th Canadian Chemical Engineering Conference Proceedings**, 283-286.
- KUYUCAK, N., VOLESKY, B., (1988). Biosorbents for Recovery of Metals from Industrial Solutions, **Biotechnology Letters**, Vol. 10, No: 2, 137-147.
- KUYUCAK, N., VOLESKY, B., (1988). Recovery of Cobalt by a New Biosorbent, **Metallurgy CIM Bulletin**, 95-99
- KUYUCAK, N., VOLESKY, B., (1989). The Mechanism of Cobalt Biosorption, **Biotechnology and Bioengineering**, 33, 823-831.
- LANOUTTE, H. K., POULSON, G. E., (1976). "Treatment of Heavy Metals in Wastewater". **Industrial Pollution Control**.
- Mc CABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P., (1985). **Unit Operations of Chemical Engineering**, Mc Graw - Hill, Tokyo.

- METCALF, L., EDDY, H.P., (1972). "Wastewater Engineering". Mc Graw Hill Publishing Company Ltd. New Delhi USA.
- MURALEEDHARAN, T. R., VENKOBACHER, C., (1990). Mechanism of Biosorption of Copper (II) by *Gonedarma lucidum*, *Biotechnology and Bioengineering*, 35, 320-325.
- NORBERG, A., RYDİN, S., (1984). Development of a Continous Process for Metal Acumulation by *Zoogloea ramigera*, *Biotech. and Bioengineering*, 26, 265-268.
- NOURBOSKSH, M., SAĞ, Y., ÖZER, D., AKSU, Z., KUTSAL, T., ÇAĞLAR, A., (1993). A Comparative Study of Various Biosorbents for Removal of Chromium (VI) Ions From Industrial Wastewaters, *Process Biochemistry*, 29, 1-5
- OĞUZ, M., (1986). Fizikokimyasal Arıtım, TMMOB Kimya Mühendisliği Odası Ankara Şubesi Bilgi Dizini, No: 13, 202 s, Ankara
- ÖNER, M., (1992). "Genel Mikrobiyoloji", Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi Kitapları Serisi, No: 94, İzmir.
- ÖZÇELİK, S., (1996). "Genel Mikrobiyoloji". Süleyman Demirel Üniv. Ziraat Fak. Isparta.
- ÖZER, A., (1994). "Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının *Rhizopus arrhizu s* ve *Schizomeris leibleinii kütz*'e Adsorpsiyonunun Farklı Reaktör Tiplerinde İncelenmesi". Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Yayınlanmamış Doktora Tezi, Elazığ.
- ÖZER, A., ÖZER, D., AKSU, Z., KUTSAL, T., ÇAĞLAR, A., (1995). Kademeli Kesikli Proseslerde Bakır (II) İyonlarının *C. crispata*' ya Adsorpsiyonu, *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, Vol: 19.
- ÖZER, A., ÖZER, D., EKİZ, H. İ., KUTSAL, T., ÇAĞLAR, A., (1995). Kurşun (II), Demir (II) ve Kadmiyum (II) İyonlarının Hava ile Karıştırılmalı Kolonda *S. leibleinii kütz* ve *R. arrhizus*' a adsorpsiyonu, *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, Vol: 20.

- PATTERSON, J. W., (1977). **Wastewater Treatment**, Sci. Publishers Inc.USA.
- PEKİN, B., (1982). **Biyoteknoloji**, Ege Üni. Kimya Fakültesi Yayınları, İzmir.
- PEKİN, B., (1983). **Biyokimya Mühendisliği (Biyoteknoloji)**, 2. Cilt, Ege Üni. Kimya Fakültesi Yayınları, 4, İzmir.
- PORRO, S., POGLIANI, C., DONATI, E., TEDESCO, P., (1993). Use of Packed Bed Bioreactors Application to Ores Bioleaching, **Biotechnology Letters**, 15, 2, 207-212.
- RICE, T. R., (1956). The Accumulation and Exchange of Strontium by Marine Planktonic Algae, **Lim. Ocean.**
- ROSS, S., OLIVIER, J. P., (1964). **On Physical Adsorption**, Interscience Publishers, USA.
- SAĞ, Y., KUTSAL, T., (1989). Application of Adsorption Isotherms to Chromium Adsorption on *Z. ramigera*, **Biotechnology Letters**, 11, 41-44.
- SAĞ, Y., NOURBAKHS, M., ÖZER, D., AKSU, Z., KUTSAL, T., ÇAĞLAR, A., (1992). Atıksulardaki Kurşun (II) Kirliliğinin Adsorpsiyon Yöntemi İle Giderilmesinde Çeşitli Biyosorbentlerin Karşılaştırılması, VIII. Kimya ve Kimya Mühendisliği Sempozyumu, IV, 271-2276, İstanbul.
- SAĞ, Y., KUTSAL, T., (1993). A Comparative Study of the Adsorption of Chromium (VI) Ions to *R. arrhizus* in Batch Stirred, Fluidized Bed, and Packed Bed Column Reactors, Sixth European Cogress on **Biotechnology**, IV, TH 256-TH 257, Firenze.
- SHUMATE, S. E., STANDBERG, G. W., PARROTT, J. R., (1978). Biological Removal of Metal Ions From Aqueous Process Streams, **Biotechnology and Bioengineering, Symp.**, No: 8, 13-20.
- SHUTTLEWORTH, K. L., UNZ, R. F., (1993). Sorption of Heavy Metals to the Filamentous Bacterium *Thiothrix* Strain A1, **Applied and Environment Microbiology**, 1274-1282.

- SITTING, M., (1973). **Pollutant Removal Hendbook**, Noyes Data Corporation Park Ridge, New Jersey, London-England
- SMITH, J. M., (1970). "Chemical Engineering Kinetics", 2nd ed., Kogakusha, Japon.
- ŞENGÜL, F., KÜÇÜKGÜL, Y. E., (1990). "Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler", Dokuz Eylül Üniv. Müh. Mimarlık Fak. Yayınları, 2. Baskı, İzmir.
- TARHAN, M. O., (1983). **Catalytic Reactor Design**, Mc Graw-Hill, Inc., USA
- TİNG, Y. P., LAWSON, F., PRINCE, I. G., (1989). Uptake of Cadmium and Zinc by the Alga *Chlorella vulgaris*, Part 1. **Industrial Ion Species, Biotechnology and Bioengineering**, 34, 990-999.
- TREYBEL, R. E., (1981). **Mass Transfer Operations**. Mc Graw-Hill, Singapore.
- T. S. E., (1972). İçme Suları (TSE - 266, VDK 663-6, 543), 3. Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSEZOS, M., VOLESKY, B., (1981). Biosorption of Uranium and Thorium, **Biotechnology and Bioengineering**, 23, 583-604.
- UNAT, K. E., (1993). "Temel Mikrobiyoloji". İstanbul Üni. Cerrahpaşa Tıp Fak. Yayınları, İstanbul.
- USLU, O., ŞENGÜL, F., (1984). "Endüstride Su Arıtımı". SECEM Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- VOLESKY, B., (1986). Biosorbent Materials. **Biotechnology and Bioengineering**, 34, 180-188.
- WANG, P. K., KWOK, S. C., (1992). Accumulation of Nickel Ion (Ni^{+2}) by Immobilised Cells of *Enterobacter* Species, **Biotechnology Letters**, 14, 7, 629-634.
- WEBER, J. W., (1972). "Physicochemical Processes For Water Quality Control". John Willey Soons, Inc., New York.

ZAJIC, J. E. (1971). **Water Pollution**, Marcel Dekken, Inc., USA.

ZOGORSKI, J. S., FAUST, S. D., (1976). Operational Parameters for Optimum Removal of Phenololic Compounds from Polluted Waters by Columns of Activated Carbon, **Water 1976, Al Che Symposium Series**, 73, 166, 54-65.



EKLER**EK - 1*****R. arrhizus* Derişiminin Belirlenmesi**

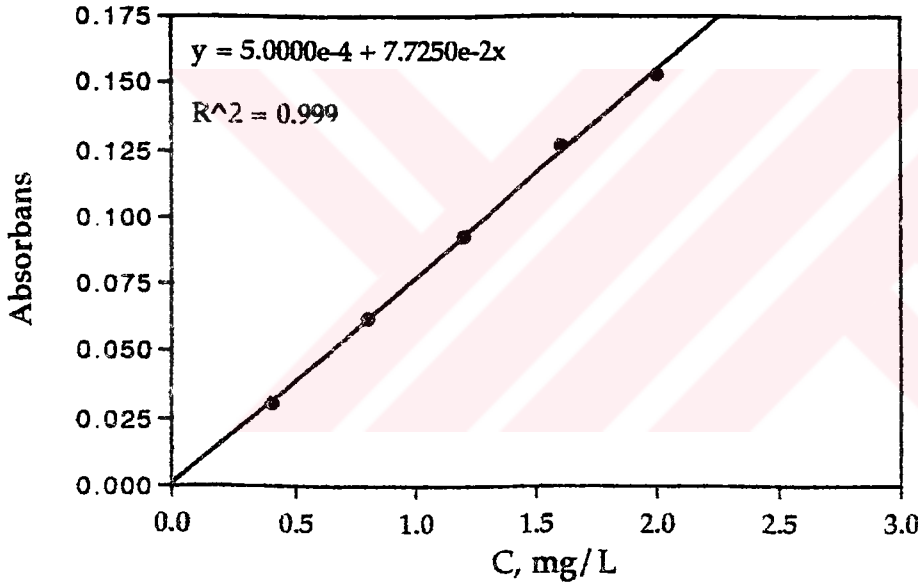
Verilerin değeriendirilmesinde kuru mikroorganizma ağırlıkları esas alınmıştır. Laboratuvarıda ürettiğimiz *R. arrhizus*, darası alınmış alüminyum folyo üzerinde 60 °C' deki etüvde 16 saat süre ile kurutulduktan sonra tekrar tartılarak kuru ağırlıkları tayin edilmiştir.



EK -2

Kadmiyum (II), Kurşun (II) ve Bakır (II) İyon Derişimlerinin Tayini

Atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde kadmiyum, kurşun ve bakır analizi için, 1 g/L' lik stok çözeltiden seyreltilerek çeşitli derişimlerde standart çözeltiler hazırlanır. Hazırlanan bu çözeltilerin absorbens değeri okunarak herbir metal için aletin lineer çalışma doğrusu elde edilir. Bu çalışma doğrularından ortamdaki metal iyon derişimleri mg/L olarak bulunur. Her yapılan analiz grubu için çalışma doğrusu yeniden çıkarılır. Şekil 2. 1' de kadmiyum (II) iyonları için atomik adsorpsiyon spektrofotometresinin lineer çalışma doğrusu verilmiştir.



Şekil - 2. 1. Kadmiyum (II) İyon Derişimi Tayini İçin Kullanılan Çalışma Doğrusu

EK - 3.

R. arrhizus ' un Özgöl Üreme Hızının Bulunması

Özgöl üreme hızlarını hesaplamak için üreme ortamındaki mikroorganizma derişiminin zamanla değışiminin incelenmesi gerekmektedir. Monod Eşitliği,

$$\frac{dx}{dt} = \mu x$$

$$\frac{dx}{x} = \mu dt$$

integrasyonu ile

$$\mu = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1}$$

eşitliğinden özgöl üreme hızı hesaplanır. Şekil -3. 1' den okunan değerler kullanılırsa;

$$\mu = \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{t_2 - t_1}$$

EK - 4.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı Değerinin Hesaplanması

Kimyasal oksijen ihtiyacı evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Bu parametre ile atıksuların bünyesindeki organik maddeler, kimyasal oksidasyonlar için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenir ve kimyasal oksijen ihtiyacı, sudaki organik maddenin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici tarafından oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarını gösterir.

Dikromat metoduna göre gerçekleştirilen kimyasal oksijen ihtiyacı tayini; *R. arrhizus* üremesi tamamlanıp, sıvı ortamdan ayrıldıktan sonra, geriye kalan süzüntüden alınan örneklerde yapılmıştır.

0,4 mL alınıp 20 mL' ye tamamlanan örnekler, $K_2Cr_2O_7$ ve Ag_2SO_4 lı H_2SO_4 ve girişimlere neden olan faktörleri ortadan kaldırmak amacı ile 0,4 g $HgSO_4$ ilave edilerek geri soğutucu altında 2 saat süre ile reaksiyona sokuldu. Reaksiyon sonunda tepkimeye girmeyen $K_2Cr_2O_7$ ferroin indikatörü kullanılarak, 0,25 M $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \times 6H_2O$ çözeltisi ile renk, mavi-yeşilden kırmızı-kahverengine dönene kadar titre edilmiştir. Aynı işlemler şahit çözeltisi kullanılarak tekrarlanmıştır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$KOİ \text{ (mg/L } O_2) = \frac{(A-B) \times M \times 8000}{\text{Numune Hacmi, mL}}$$

Burada;

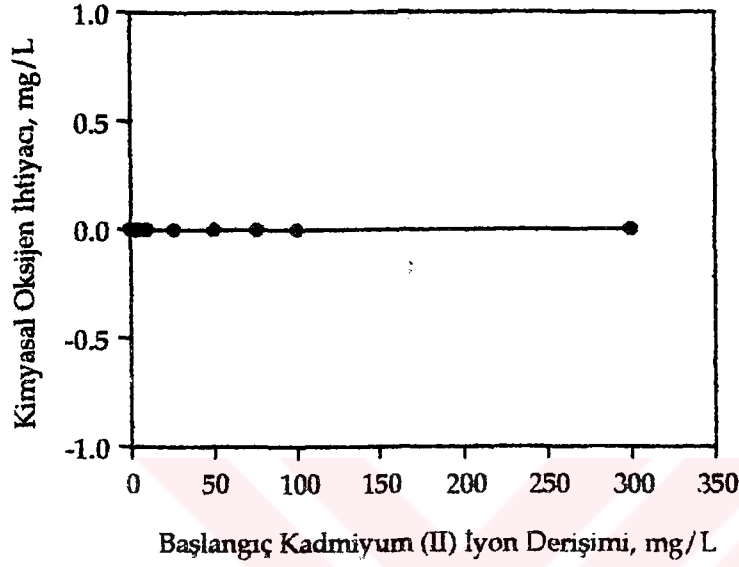
A : Şahit çözeltisi için sarfedilen titrant (mL)

B : Numuni için sarfedilen titrant (mL)

M : Kullanılan titrant çözeltinin molaritesi

Kullanılan titrant çözelti : $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \times 6H_2O$

Mikroorganizma derişimi ve üreme ortamının (besiyeri) olmadığı sadece farklı başlangıç kadmiyum (II), kurşun (II) ve bakır (II) iyon derişimlerinin olduğu ortamda, kimyasal oksijen ihtiyacı sıfırdır (Şekil -4.1) Kadmiyum (II) iyonu için çizilen grafik aşağıda örnek olarak verilmiştir. Aynı durum diğer metaller için de geçerlidir.



Şekil -4. 1. Mikroorganizma Derişimi ve Üreme Ortamının (besiyeri) Olmadığı Durumda Kimyasal Oksijen İhtiyacının Başlangıç Kadmiyum (II) İyon Derişimiyle Değişimi

EK-5

Üreme Tamalandıktan Sonra Besiyerinde Adsorplanmadan Kalan Metal Miktarının Belirlenmesi

Farklı başlangıç metal iyon derişimlerinde; *R. arrhizus* üremesi tamalandıktan sonra üreme ortamında kalan metal iyon derişimlerinin tayininde atomik absorbsiyon spektrofotometresi kullanılmıştır.

Üreme tamamlandıktan sonra sıvı kısımdan ayrılan katı, mikroorganizma derişiminin tayini için işleme tabii tutulurken, sıvı kısımdan alınan örnekler, atomik absorbsiyon spektrofotometresinde absorbens değerleri okunarak, herbir metal iyonu için EK - 2' de verilen lineer çalışma doğrusundan yararlanılarak ortamdaki metal iyon derişimleri mg/L olarak bulunmuştur. Örnek olarak kadmiyum (II) iyonlarını farklı derişimlerde içeren üreme ortamında, üreme tamamlandıktan sonra adsorplanmadan kalan metal miktarının hesaplanmasını verecek olursak;

İlk olarak aletin lineer çalışma doğrusunu elde etmek için hazırladığımız standart çözeltiler ve absorbens değerlerini bilmemiz gerekmektedir.

Derişim mg/L	Absorbans
0,25	0,021
0,50	0,042
1,00	0,085
1,50	0,125
2,00	0,158

İkinci adımda ise, kendi örneklerimizdeki metal derişimlerini lineer bölgeye düşecek şekilde gerekirse seyreltme yaparak, alette absorbens olarak okuduk. Okuma işlemini bitirdikten sonra lineer çalışma doğrusundan elde ettiğimiz eşitlikten yararlanarak metal derişimini mg/ L olarak hesapladık.

Baş.Derişimi, Absorbans	Başlangıç Derişimi, mg/L	Örneğin Absorbans Değeri	Adsorplanmadan Metal İyon Derişimi, mg/L	Kalan
0	0	0	0	
0,058 (1/10)	4,3	0,091 (1/5)	3,75	
0,111 (1/25)	23,55	0,083 (1/25)	16,8	
0,101 (1/50)	42,28	0,105 (1/50)	44,21	
0,080 (1/100)	64,33	0,071 (1/100)	55,65	
-	100	0,085 (1/100)	69,15	
0,180 (1/100)	160,7	0,093 (1/100)	153,24	

Elde edilen sonuçlar seyreltme oranı ile çarpılmıştır.



EK - 6

Adsorplanan Metal Miktarının Hesaplanması

Üreme tamamlanıp EK-5' deki işlemler yapıldıktan sonra başlangıç metal iyon derişiminden, ortamda kalan metal iyon derişimi çıkarıldığı zaman mikroorganizma tarafından adsorplanan metal miktarı hesaplanır. EK -5 ' de verilen değerleri kullanarak adsorplanan metal miktarını hesaplarsak;

$$C_o = 64,33 \text{ mg/L}; C_B = 55,65 \text{ mg/L}$$

Buradan;

$$C_{ads} = C_o - C = 64,33 - 55,65 = 8,68$$

$C_{ads} = 8,68 \text{ mg/L}$ olarak hesaplanır.

EK - 7

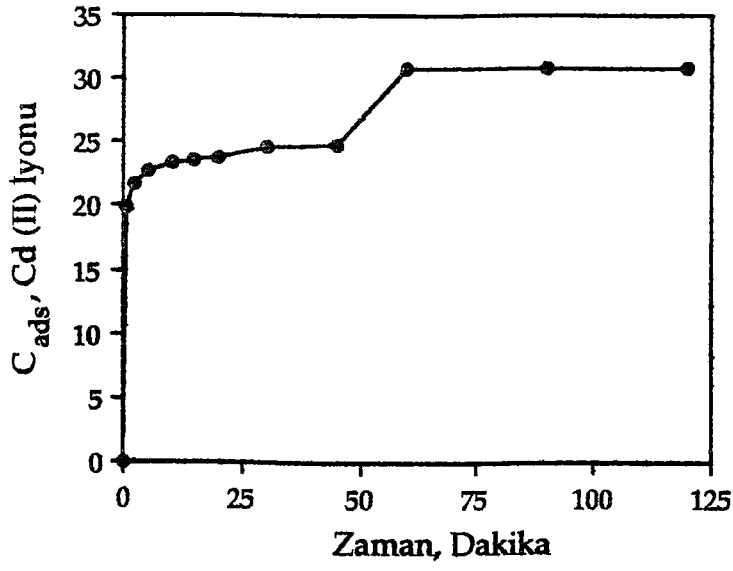
Metal Adsorpsiyon Hızının Bulunması

Metal iyonlarının mikroorganizmalar tarafından adsorpsiyonunda ilk basamak oldukça hızlı olup, birkaç dakika sürmekte, ikinci basamak ise, oldukça yavaş olup, sistem dengeye gelmektedir. Metal adsorpsiyon hızları ilk basamakta birim zamanda (dakikada) birim kuru mikroorganizma kütlesi (gram kuru kütle) başına adsorplanan metal iyonu miktarı (miligram metal iyonu) olarak hesaplanır. Şekil 7. 1' de görüldüğü gibi adsorplanan metal iyon derişimi (mg/L) zamana (dk) karşı grafiğe geçirilerek, eğimden $\Delta C_{ads}/\Delta t$ hesaplanmış ve bulunan değer adsorplayıcı derişimine (g/L) bölünerek, adsorpsiyon hız değeri elde edilmiştir. Örnek olarak kadmiyum (II) iyonlarının *R. arrhizus*' a adsorpsiyon hızı $X_0 = 0,5$ g/L, $C_0 = 100,95$ mg/L, $T = 30$ °C ve başlangıç pH' ısı 5,0' de 38,80 mg/g-dk. olarak bulunmuştur.

$$rad = \frac{1}{X} \frac{dC}{dt}$$

$$rad = \frac{1 \text{ mg/L}}{\text{g/L}} \frac{\text{mg/Me}}{\text{dk}} = \frac{\text{mg/Me}}{\text{g mo.dk}}$$

$$rad = \frac{100,95 - 91,25}{0,25} = 38,80 \text{ mg/g-dk.}$$



Şekil 7. 1. Adsorplanan Kadmiyum (II) İyon Derişiminin Zamanla Değişimi

EK - 8

Mikroorganizmanın Metal Alma Etkinlik Katsayısının Hesaplanması

Metal iyonlarının kuru mikroorganizma ile adsorpsiyonunda mikroorganizmanın metal alma etkinliği aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır.

$$Y_{qmax}/C_0 = q_{max}/C_0$$

Kadmiyum (II) iyonlarının kuru *R. arrhizus* ' a adsorpsiyonunda;

$$C_0 = 100,95 \text{ mg/L}$$

$$C_{max} = 25,74 \text{ mg/L}$$

$$m_0 = 0,5 \text{ g/L}$$

$$q_{max} = 51,48$$

değerlerinde mikroorganizmanın metal alma etkinlik değeri :

$$Y_{qmax}/C_0 = 51,48/100,95 = 0,509 \text{ L/g}$$

olarak bulunur.

E. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ