

TC
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



TOPRAK FUNGUSLARININ AĞIR METAL BİYOSORPSİYON POTANSİYELLERİ

ELVAN ARSLANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TC
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK FUNGUSLARININ AĞIR METAL BİYOSORPSİYON POTANSİYELLERİ

ELVAN ARSLANOĞLU

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SAMSUN
2020

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Elvan ARSLANOĞLU tarafından hazırlanan “Toprak Funguslarının Ağır Metal Biyosorpsiyon Potansiyelleri” adlı tez çalışması 13/05/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Feza GEYİKÇİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Doç.Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğretim Üyesi Sema ARIMAN
Samsun Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım....../.../20..

.....imza.....

Prof. Dr. Ali BOLAT
Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

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

İmza

Elvan ARSLANOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAK FUNGUSLARININ AĞIR METAL BİYOSORPSİYON POTANSİYELLERİ

Elvan ARSLANOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ

Biyosorpsiyon, atık sudan ağır metallerin uzaklaştırılması için mikroorganizmaların kullanıldığı umut verici, düşük maliyetli bir metodolojidir. Çalışmanın amacı abiyotik koşullarda ağır metallerin toprak fungusları tarafından alınımının, birikiminin, organizma sayılarında meydana getirdiği değişimlerin, adsorpsiyon ve absorpsiyon kapasitelerinin ve izotermelerinin incelenmesidir. Çalışmada fungusların kullanılma nedeni, diğer biyosorpsiyon ajanlarına kıyasla fungus biyokütleleri, fizyolojik aktivitenin yokluğunda bile önemli miktarlarda ağır metal biriktirebildiği, üstün metal bağlama özelliklerine sahip hücre duvarına sahip olmalarıdır. Çalışmamızda besin zincirinde önemli olan toprak funguslarından *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* kontrol organizmaları ve ağır metal olarak ise Cu kullanılmıştır. 72 sa üremesi gözlenen organizmalarının bulunduğu ortama 5-10-20-25 mg/L Cu ilave edilerek 96 sa sorpsiyonu sonunda sıvı ortam (Fraksiyon A), durulama suyu (Fraksiyon B), kurutulmuş fungus (Fraksiyon C) elde edilmiştir. Sıvı ortamda ve funguslar tarafından biyosorlanan metal konsantrasyonları AAS (Atomik Absorpsiyon Spektrometresi) ile belirlenmiştir. *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* fungusları için pH değerlerinin zamana bağlı olarak yükseldiği görülmüştür. *Fusarium lateritium* fungusu için 5-10-20-25 mg/L bakır konsantrasyonlarında sırasıyla %66,80-68,00-72,02-52,79 adsorpsiyon verimine, *Fusarium verticillioides* fungusu için ise sırasıyla %56,22-47,68-57,87-52,07 adsorpsiyon verimine ulaşılmıştır. *Fusarium lateritium* fungusunda biyobirikim (BA) değerleri 5-10-20-25 mg/L Cu konsantrasyonları için sırasıyla 11,417-24,646-60,597-51,496 µg/g; *Fusarium verticillioides* fungusunda ise aynı konsantrasyonlarda sırasıyla 15,690-19,937-48,963-51,854 µg/g elde edilmiştir. Her iki fungus içinde metal konsantrasyonu arttıkça Biyobirikim (BA) değerlerinde düzenli bir artış olmuştur. Biyokonsantrasyon (BCF) değerleri ise *Fusarium lateritium* fungusunda BA değerleri ile paralellik gösterirken, *Fusarium verticillioides* fungusunda farklılıklar gösterdiği gözlenmiştir. Fungusların ikisi içinde Freundlich İzoterm Modeli'nin uygun olduğu gözlenmiştir. Bu çalışma PYO.MÜH.1904.18.023 Nolu Yüksek Lisans Tez Projesi tarafından desteklenmiştir.

Haziran, 2020, 83 sayfa

Anahtar kelime: Bakır, Toprak Fungusu, *Fusarium lateritium*, *Fusarium verticillioides*, Biyosorpsiyon, Biyosorpsiyon ve kapasitesi, Biyobirikim (BA), Biyokonsantrasyon Faktörü (BCF), pH, Langmuir izotermi, Freundlich izotermi

ABSTRACT

Master Thesis

HEAVY METAL BIOSORPTION POTENTIALS OF SOIL FUNGI

Elvan ARSLANOĞLU

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Environmental Engineering Department

Danışman: Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ

Biosorption is a promising, low-cost methodology that uses microorganisms to remove heavy metals from wastewater. The aim of the study was to investigate the absorption, accumulation, changes in the number of organisms, adsorption and absorption capacities and isotherms of heavy metals by soil fungi under abiotic conditions. The reason for the use of fungi in the study was that when compared to other biosorption agents, fungus biomass had a cell wall with superior metal binding properties, where they could accumulate significant amounts of heavy metal even in the absence of physiological activity. In our study, *Fusarium lateritium* and *Fusarium verticillioides* as control organism, which are important in the food chain, and Cu as heavy metals were used. By adding 5-10-20-25 mg/L Cu to the environment where the organisms observed to grow for 72 h were found, liquid medium (Fraction A), rinsing water (Fraction B), dried fungus (Fraction C) were obtained after 96 h of sorption. The metal concentrations biosorbed in the liquid medium and by fungi were determined by AAS (Atomic Absorption Spectrometry). It has been observed that pH values for *Fusarium lateritium* and *Fusarium verticillioides* fungi increase depending on time. *Fusarium lateritium* fungus has been attained an adsorption efficiency of %66,80-68,00-72,02-52,79, respectively, for copper concentrations of 5-10-20-25 mg / L, and %56,22-47,68-57,87-52,07 of adsorption efficiency at the same concentrations for *Fusarium verticillioides* fungus, respectively. Bioaccumulation (BA) values in *Fusarium lateritium* fungi has been found 11,417-24,646-60,597-51,496 µg/g for 5-10-20-25 mg/L Cu concentrations, respectively; and also 15,690-19,937-48,963-51,854 µg/g in *Fusarium verticillioides* fungi at the same concentrations, respectively. As the metal concentration increased for both fungi, there was a regular increase in Bioaccumulation (BA) values. It has been reached that bioconcentration (BCF) values are in parallel with BA values in *Fusarium lateritium* fungi, while in fungi *Fusarium verticillioides*, differences are observed. It has been observed that the Freundlich Isotherm Model is suitable for both of the fungi. This study was supported by PYO.MÜH.1904.18.023 No. Master's Thesis Project.

June, 2020, 83 pages

Anahtar kelime: Copper, Soil Fungus, *Fusarium lateritium*, *Fusarium verticillioides*, Biosorption, Biosorption and capacity, Bioaccumulation (BA), Bioconcentration Factor (BCF), pH, Langmuir isotherm, Freundlich isotherm

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında önerileri ve bilgileriyle bana yardımcı olan, ilgisini ve desteğini eksik etmeyen saygı değer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hülya BÖKE ÖZKOÇ'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans laboratuvar çalışmalarımda bilgilerini paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim ÖZKOÇ'a, yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Bilge AYDIN ER'e, Arş. Gör. Sevda Esma DARAMA'ya, Arş. Gör. Handan ATALAY EROĞLU'na, Arş. Gör. İsa IŞIK'a, yanımda olup zorlukları beraber aştığımız laboratuvar arkadaşım Mirac Tansu ALIUSTAOĞLU'na ve yardımlarıyla bana öncü olan arkadaşım Ayşenur ÇOLAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen ve yolun başında olduğumu söyleyen canım babama ve canım anneme, daha ne yaptığım konusunda kendimi sorgulamamı sağlayan canım kardeşime, çalışmalarımın zorlu süreçlerinde yanımda olan canım ablama, manevi ablam Büşra Yıldız'a, sevgili ve değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2020, Samsun

Elvan Arslanoğlu

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
RESİM LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ.....	3
2.1. Ağır Metaller ve Kaynakları.....	3
2.1.1. Tez Çalışmasında Kullanılan Metal Bakır (Cu).....	5
2.2. Ağır Metallerin Uzaklaştırılmasında Kullanılan Yöntemler	6
2.2.1. Biyosorpsiyon.....	7
2.2.2. Adsorpsiyon	10
2.2.2.1. Adsorpsiyon İzotermi.....	11
2.3. Mikrobiyal Ekolojide Funguslar.....	12
2.3.1. Fungusların Genel Özellikleri	13
2.3.2. Funguslarda Üreme	14
2.3.3. Fungusların Büyüme Kinetiği	17
2.3.4. Fungus Çeşitleri.....	18
2.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Funguslar.....	19
2.4.1. Fusarium.....	19
2.4.1.1. Fusarium lateritium.....	21
2.4.1.2. Fusarium verticillioides	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Sterilizasyon	25
3.2. Katı Besiyeri Hazırlanması ve Ekimi	25
3.3. Sıvı Besiyeri Hazırlanması ve Ekimi	26
3.4. Ortama Ağır Metalin Eklenmesi	27
3.5. Fungusdaki Metal Tayini.....	29
3.6. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi(AAS) ile Ölçüm.....	30
3.7. Sıvı Ortamda pH Ölçümü.....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Bakıra Maruz Kalması	37
4.1.1. Ortamdaki <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Çoğalmasındaki pH Değişimi	37
4.1.2. Ortamdaki <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Üremesi.....	39
4.1.3. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Çoğalma Hızı ve Engelleme Yüzdesi	41
4.1.4. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Adsorpsiyon ve Absorpsiyon Kapasiteleri.....	44

4.1.5. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Verimi	45
4.1.6. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Biyobirikim ve Biyokonsantrasyon Faktörleri	47
4.1.7. <i>Fusarium Lateritium</i> Fungusunun Adsorpsiyon İzotermi	50
4.2. <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Bakıra Maruz Kalması.....	53
4.2.1. Ortamdaki <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Çoğalmasındaki pH Değişimi	53
4.2.2. Ortamdaki <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Üremesi	56
4.2.3. <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Çoğalma Hızı ve Engelleme Yüzdesi.....	58
4.2.4. <i>Fusarium verticillioides</i> Fungusunun Adsorpsiyon ve Absorpsiyon Kapasiteleri.....	60
4.2.5. <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Verimi	61
4.2.6. <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Biyobirikim ve Biyokonsantrasyon Faktörleri	63
4.2.7. <i>Fusarium Verticillioides</i> Fungusunun Adsorpsiyon İzotermi.....	66
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
6. KAYNAKLAR	72
EKLER.....	79
EK –A	79
EK-B	80
EK-C	81
C.1. Yıkama Çözeltisinin Hazırlanması.....	81
C.2. Ortama Eklenen Ağır Metalin (Cu) Hazırlanması.....	81
C.3. Ağır Metal Tayini İçin Uygulanan Toplam Sindirim Metodu	81
C.4. Metal Analizi İçin Standart Çözeltilerin Hazırlanması	82
EK-D	83
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR

AAS	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi
AKM	Askıda Katı Madde
As	Arsenik
APHA	American Public Health Association
ATP	Adenozin Trifosfat
AWWA	American Water Works Association
BA	Biyobirikim
BCF	Biyokonsantrasyon Faktörü
BET	Brunauer, Emmett ve Teller
Cu	Bakır
$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2^{2+}$	Tetraammin diaqua bakır (II) iyonu
Cd	Kadmiyum
Cl^-	Klorür İyonu
CLD	Klorotik Yaprak Bozunması
Cr^{+6}	Hekzavalent Krom
Hg	Cıva
ISO	International Standardization Organization
KOI	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
Na^+	Sodyum İyonu
Ni	Nikel
NO_3^-	Nitrat
Pb	Kurşun
TS EN	Türk Standardları Enstitüsü
Zn	Çinko
WEF	Water Environment Federation

RESİM LİSTESİ

Resim 2. 1: Fungus mikroskopik görünümü	13
Resim 2. 2: <i>Fusarium</i> mikroskopik görünümü	19
Resim 2. 3: Çeşitli <i>Fusarium</i> türlerinin neden olduğu tipik hastalık belirtileri	20
Resim 3. 1: Çalışmada kullanılan ekim kabini - Katıya ekim işlemi.....	25
Resim 3. 2: Sırasıyla <i>Fusarium lateritium</i> 'un katı besiyerlerindeki üremeleri; a) 24. saat; b) 120. saat; c) 168. saat	26
Resim 3. 3: Sırasıyla <i>Fusarium verticillioides</i> 'un katı besiyerlerindeki üremeleri; d) 24. saat; e) 120. saat; f) 168. saat.....	26
Resim 3. 4: Sıvı besiyerine ekim yapıldıktan sonra iklim odasında bulunan ekim kabini ve <i>Fusarium verticillioides</i> örnekleri	27
Resim 3. 5: 72 saat sonunda çalkalayıcıda bulunan <i>Fusarium lateritium</i> fungusları	28
Resim 3. 6: 96 saat bakır metaline maruziyet sonunda çalkanması tamamlanmış <i>Fusarium lateritium</i> fungusu.....	28
Resim 3. 7: Sindirime hazır Fraksiyon A, Fraksiyon B, Fraksiyon C	29

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2. 1: Fungusların hem eşeysiz hem de eşeyli üreme aşamaları.....	16
Şekil 2. 2: Fungus büyümesinin lineer grafiği	18
Şekil 3. 1: Sıvı ortamda biyosorpsiyon deneyinin şematik gösterimi.....	23
Şekil 4. 1: <i>Fusarium lateritium</i> 'un konsantrasyona bağlı pH ölçümleri.....	37
Şekil 4. 2: <i>Fusarium lateritium</i> 'un zamana bağlı pH değerleri.	38
Şekil 4. 3: <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun büyümesinin katı besiyerindeki mikroorganizma çaplarının zamana karşı lineer grafiği.....	40
Şekil 4. 4: Farklı Cu konsantrasyonlarına karşı sıvı besiyerlerindeki <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun ağırlığının değişimi.....	41
Şekil 4. 5: <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun çoğalma hızları	42
Şekil 4. 6: <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun engelleme yüzdeleri.....	43
Şekil 4. 7: Metal maruziyetinden sonra fungus biyosorpsiyonu, absorpsiyon ve adsorpsiyon yüzdeleri.....	46
Şekil 4. 8: <i>Fusarium lateritium</i> Fungusunun BA Değişimi	48
Şekil 4. 9: <i>Fusarium lateritium</i> Fungusunun BCF Değişimi	49
Şekil 4. 10: <i>Fusarium lateritium</i> Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Langmuir İzotermi.....	51
Şekil 4. 11: <i>Fusarium lateritium</i> Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Freundlich İzotermi	52
Şekil 4. 12: <i>Fusarium verticillioides</i> 'nın konsantrasyona bağlı pH ölçümleri	54
Şekil 4. 13: <i>Fusarium verticillioides</i> 'nın zamana bağlı pH değerleri	55
Şekil 4. 14: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun büyümesinin katı besiyerindeki mikroorganizma çaplarının zamana karşı lineer grafiği.....	56
Şekil 4. 15: Farklı metal konsantrasyonlarına karşı <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun ağırlığının sıvı besiyerindeki değişimi	57
Şekil 4. 16: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun çoğalma hızları	59
Şekil 4. 17: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun engelleme yüzdeleri.....	60

Şekil 4. 18: Metal maruziyetinden sonra <i>Fusarium verticillioides</i> fungus biyosorpsiyonu, absorpsiyon ve adsorpsiyon yüzdeleri.....	62
Şekil 4. 19: <i>Fusarium verticillioides</i> Fungusunun BA Değişimi.....	64
Şekil 4. 20: <i>Fusarium verticillioides</i> BCF Değişimi.....	65
Şekil 4. 21: <i>Fusarium verticillioides</i> Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Langmuir İzotermi.....	67
Şekil 4. 22: <i>Fusarium verticillioides</i> Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Freundlich İzotermi	68
Şekil D. 1: Bakır(Cu) Kalibrasyon Grafiği	83



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2. 1: Ağır metal kaynakları	3
Çizelge 2. 2: Ağır metallerin toksik etkileri.....	4
Çizelge 3. 1: Tez çalışmasında yapılan deneylerin listesi.....	24
Çizelge 3. 2: Tez çalışmasında kullanılan bakır (Cu) metalinin AAS için ölçüm ve konsantrasyon şartları.....	31
Çizelge 4. 1: Besiyeri ortamında <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun bakıra 96 saat maruz kalması sonunda ortalama çoğalma hızları ve engelleme yüzdesi	42
Çizelge 4. 2: <i>Fusarium lateritium</i> 'un farklı Cu konsantrasyonlarına bağlı değişimi	44
Çizelge 4. 3: <i>Fusarium lateritium</i> 'un farklı Cu konsantrasyonlarındaki q_{ad} ve q_{ab} değerleri.....	45
Çizelge 4. 4: <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun absorpsiyon, adsorpsiyon, biyosorpsiyon yüzdeleri	45
Çizelge 4. 5: <i>Fusarium lateritium</i> Fungusunun Bakıra 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA, BCF değerleri.....	47
Çizelge 4. 6: <i>Fusarium lateritium</i> fungusunun adsorpsiyon parametreleri.....	50
Çizelge 4. 7: Yapılan izoterm deneylerinde Langmuir ve Freundlich modelleri için hesaplanmış katsayılar.....	52
Çizelge 4. 8: Besiyeri ortamında <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun bakıra 168 saat maruz kalması sonunda ortalama çoğalma hızları ve engelleme yüzdesi	58
Çizelge 4. 9: <i>Fusarium verticillioides</i> 'in farklı metal konsantrasyonlarındaki değişimi	61
Çizelge 4. 10: <i>Fusarium verticillioides</i> 'in farklı Cu konsantrasyonlarındaki q_{ad} ve q_{ab} değerleri.....	61
Çizelge 4. 11: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun absorpsiyon, adsorpsiyon, biyosorpsiyon yüzdeleri	62
Çizelge 4. 12: <i>Fusarium verticillioides</i> Fungusunun Bakıra 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA, BCF değerleri.....	63

Çizelge 4. 13: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusunun adsorpsiyon parametreleri	66
Çizelge 4. 14: <i>Fusarium verticillioides</i> fungusu için yapılan izoterm deneylerinde Langmuir ve Freundlich modelleri için hesaplanmış katsayılar.....	68
Çizelge D. 1: Atomik Absorpsiyon Spektrometre’de (AAS) ölçüm için hazırlanan standart bakır çözelti konsantrasyonu ve abs değerleri	83



1. GİRİŞ

Endüstride yaygın olarak kullanılan ağır metallerin, çoğu canlılar tarafından metabolizma edilemediğinden çevrede birikmekte, önemli bir sağlık ve çevre sorunu oluşturmaktadır. Genellikle, bazı ağır metaller, fungus büyümesi ve metabolizması için iz elementler olarak esastır ve aşırı miktarda bulunduğu toksiktir. Organizmanın metal kirliliğine yanıt olarak bir mekanizma kullanarak metal toksisitesinde hayatta kalabilme durumuna metal toleransı denmektedir. Ağır metaller, mikrobiyal popülasyon yapılarında morfolojik, fizyolojik değişikliklere neden olmakta ve mikroorganizmanın üremesine etki etmektedir (Albert vd, 2018; Mohammadian vd, 2017; Zhao vd, 2016).

Ağır metalleri atık sularından uzaklaştırılması için, iyon değişimi, adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, elektrokimyasal işlem, flotasyon, membran ayırma ve benzeri gibi geleneksel yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden adsorpsiyon oldukça etkili ve ekonomik bir yöntemdir. Birçok araştırmacı, deniz yosunları, alginat, killer, aktif çamur biyokütlesi, vb. gibi düşük maliyetli ve çevresel açıdan güvenli yöntemler bulmaya çalışmışlardır. 1990'lardan beri yeni bir bilimsel alan olan biyosorpsiyon, metal ayırma özellikleri ile metalleri çözeltiden ayıran biyokütlenin, kontamine atık suların arıtılması için yeni bir yaklaşım sağlamıştır. Sulu çözeltiden metallerin uzaklaştırılması için maya, funguslar, bakteriler ve algler gibi çeşitli doğal malzemelerle yapılan çalışmalarda elde edilen teşvik edici sonuçlar ile ağır metaller içeren atık suyu arıtmak için biyosorpsiyon uygulamasına geleneksel teknolojilere alternatif bir yöntem olarak giderek daha fazla önem verilmiştir (Zhou vd, 2009).

Funguslar ve küfler iyi bilinen toprak düzenleyiciler, öncü sakinler ve potansiyel metal biyoakümülatörleridir. Funguslarda, hücre içi çöktürme, metallerin geçişi ve hücre duvarına biyosorpsiyon dahil olmak üzere metalleri tolere etmek ve detoksifiye etmek için çeşitli mekanizmalar bulunmaktadır (Albert vd, 2018; Mohammadian vd, 2017).

Funguslar, pH, sıcaklık, besin kullanılabilirliği ve yüksek metal konsantrasyonu koşulları altında büyüebildikleri için çok yönlü biyosorpsiyon organizma grubudur. Diğer biyosorpsiyon ajanları arasında, fungus biyokütleleri, çok

iyi metal bağlama özellikleri gösteren yüksek oranda hücre duvarı malzemesine sahiptir. Bu mikroorganizmalar atıkların ve atık suların iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Biyoyiileştirme için diğer organizmalara tercih edilirler çünkü sıvı substratlardan alımları daha kolaydır. Fungus biyokütlesi, genellikle metallere ve düşük pH gibi diğer faktörlere karşı belirgin tolerans gösterdiği için biyosorpsiyon süreçlerinde kullanılabilir (Iskandar vd, 2011).

Biyosorpsiyon, hücre duvarındaki (adsorpsiyon) ve hücre içindeki (absorpsiyon) metal bağlama kapasitesidir. Fungus biyosorpsiyonu büyük ölçüde pH, metal iyonu ve biyokütle konsantrasyonu, biyokütlenin fiziksel veya kimyasal ön arıtımı, çözeltide çeşitli ligandların varlığı ve sınırlı bir dereceye kadar sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır (Albert vd, 2018; Kapoor ve Viraraghavan,1995).

Bu çalışmadaki amaç, abiyotik koşullarda toprak funguslarından *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides*'in mikro besin olan bakırı adsorplama ve absorblama kapasitesi belirlenmiştir. 72 saatin sonunda fungusların üremesi kontrol edilmiş, çoğalma hızları ve engelleme (inhibisyon) yüzdeleri hesaplanmıştır. Ortama farklı konsantrasyonlarda ağır metal ilavesi yapılmış ve 96 saatlik maruziyet sonunda metal alım miktarlarına bakılarak biyobirikim (BA) ve biyokonsantrasyon faktörleri (BCF) bulunmuştur. Adsorpsiyon, absorpsiyon ve biyosorpsiyon yüzdeleri hesaplanmıştır. Ayrıca adsorpsiyon izotermlerinden Lagmuir ve Freundlich İzotermi hesaplanarak uygunluğu belirlenmiştir.

2. GENEL BİLGİ

2.1.Ağır Metaller ve Kaynakları

Ağır metaller çevreye, doğal ve antropojenik kaynaklardan girmektedir. En önemli doğal kaynakları; minerallerin ayrışması, erozyon ve volkanik faaliyetlerdir. Antropojenik kaynaklar ise; madencilik, eritme, elektrolizleme, pestisit kullanımı ve (fosfat) gübrelerinin yanı sıra tarımda biyosidlerin kullanımı, çamur boşaltma, endüstriyel deşarj, atmosferik birikim vb. kaynaklardır (Çizelge 2.1). Ağır metallerin organizmalarda meydana getirdiği toksik etkileri de Çizelge 2.2’de belirtilmiştir (Ali vd, 2013).

Çizelge 2.1: Ağır metal kaynakları (Ali vd, 2013).

Ağır Metal	Kaynakları
As	Eritme, madencilik, fosil yakıtlardan enerji üretimi, kaya çökeltileri, pestisitler ve ahşap koruyucuları
Cd	Boyalar ve pigmentler, plastik stabilizatörler, galvanik kaplama, kadmiyum içeren plastiklerin yakılması, fosfatlı gübreler, eritme, alaşımlı imalat, madencilik, rafinaj
Cr	Tabakhaneler, çelik endüstrisi, uçucu kül, galvanik, tekstil, boyama, metal işleme, ahşap koruyucu, boya ve pigmentler
Cu	Pestisitler, gübreler, elektronik kaplama, kaplama, tel çekme, bakır parlatma, boya imalatı, ahşap koruyucu ve baskı işlemleri
Hg	Altın-gümüş madenciliği ve kömür yakma, tıbbi atıklar, civa alanların ayrışması, volkanik püskürmeler, doğal yollardan kaynaklanan orman yangınları, biyogenik emisyonlar, pil üretimi, fosil yakıt yakma, madencilik ve metalurjik işlemler, boya ve kloralkali sanayileri
Ni	Endüstriyel atıklar, mutfak aletleri, cerrahi aletler, çelik alaşımları, otomobil aküleri, mineral işleme, boya formülasyonu, galvanik, porselen emaye, bakır sülfat üretimi ve buharlı elektrik santralleri
Pb	Kurşunlu benzin, pil üretimi, herbisitler ve böcek ilaçlarının yanmasından kaynaklanan hava emisyonları, galvanik, akü imalatı, pigmentler.
Zn	Madencilik ve üretim süreçleri

Çizelge 2.2: Ağır metallerin toksik etkileri (Ali vd, 2013).

Ağır Metal	Toksik Etkisi
As	(Arsenat olarak) fosfatın bir analogudur ve bu nedenle oksidatif fosforilasyon ve ATP sentezi gibi temel hücresel işlemlere müdahale etmektedir. Gastrointestinal semptomlar, kardiyovasküler ve sinir sistemi fonksiyonlarının bozuklukları, hemoliz, hepatomegali, melanom, polinöropati ve ensefalopati, karaciğer tümörü etkilerindedir.
Cd	Kanserojen, mutajenik ve teratojenik; Endokrin bozucu; biyolojik sistemlerde kalsiyum düzenlemesine müdahale eder; böbrek yetmezliği, akciğer yetmezliği, kemik lezyonları, kanser, hipertansiyon, kilo kaybı ve kronik anemiye neden olmaktadır.
Cr	Kanserojen, mutajen, teratojenik, epigastrik ağrı mide bulantısı, kusma, şiddetli ishal, akciğer tümörü ve saç dökülmesine neden olmaktadır.
Cu	Üreme ve gelişme toksisitesi, nörotoksikite ve akut toksisite, baş dönmesi, yüksek seviyelerin beyin ve böbrek hasarı, karaciğer sirozu ve kronik anemi, mide ve bağırsak tahrişine yol açtığı görülmüştür.
Hg	Anksiyete, depresyon, denge zorluğu, uyuşukluk, halsizlik, saç dökülmesi, uykusuzluk, sinirlilik, hafıza kaybı, tekrarlayan enfeksiyonlar, huzursuzluk, görme bozuklukları, titreme, öfke patlaması, ülser ve beyin, böbrek ve akciğerlere zarar, solunum fonksiyonlarında bozulma, cilt, gözler, kaslar, deri hastalığı ve böbrek hasarına neden olmaktadır.
Ni	Kronik bronşite, kaşıntı olarak bilinen alerjik deri hastalığına; inhalasyon, akciğer, burun ve sinüs kanserine; boğaz ve mide kanserleri de teneffüsüne bağlı olarak; hematotoksik, immünotoksik, nörotoksik, genotoksik, üreme toksik, pulmoner toksik, nefrotoksik ve hepatotoksik; saç dökülmesine neden olmaktadır.
Pb	Anemi, halsizlik, iştahsızlık, IQ'nun azalması, zehirlenmesi, çocuklarda gelişim bozuklukları, kısa süreli hafıza kaybı, öğrenme güçlüğü ve koordinasyon problemleri, böbrek yetmezliğine neden olmaktadır.
Zn	Sindirim sorununa, bulantı ve ishale, aşırı dozaj baş dönmesine ve halsizliğe neden olmaktadır.

2.1.1. Tez Çalışmasında Kullanılan Metal Bakır (Cu)

Bakır, elektron taşınımı, redoks ve diğer önemli reaksiyonlarda yer alan birçok metaloenzimlerin ve proteinlerin kurucu maddesi olduğundan canlı organizmaların birçoğu için temel bir mikro besin maddesidir. Mikroorganizmaların bakır gereksinimleri genellikle çok düşük (1-10µM civarında) metal konsantrasyonlarında karşılanmaktadır. Buna karşılık, serbest iyonik formda (Cu^{+2}) daha yüksek seviyelerde bulunan bakır, mikrobik hücreler için toksiktir. Bakır toksisitesi, esasen nükleik asitlerle etkileşimi, enzim aktif bölgelerinin değişmesi ve membran bileşenlerinin oksidasyonu, bakırın toksik hidroksil serbest radikalleri üretme kabiliyeti ile ilgili olabilecek işlemlerden kaynaklanmaktadır. Organik olarak kompleksleşmiş bakır, mikroorganizmalar için nispeten toksik değildir (Cervantes ve Corona, 1994).

Mikroorganizmalar, hücre içi bakırın normal metal dengesine girişimde bulunmayacak veya toksisite riski oluşturmayacak kadar sınırlı bir seviyede tutulması için hassas mekanizmalara sahip olmalıdır. Mikroorganizmalarda bakır taşınımı hakkında metalin uygun bir radyoizotopundan yoksun olduğu bilinmektedir (Cervantes ve Corona, 1994).

Bakır ve bakır içeren bileşikler, bakteri öldürücüler, aljitler, fungus öldürücüler, veterinerlik gıda katkı maddeleri, bitki antibakteriyel maddeleri olarak, doğal ve insan yapımı malzemelerin korunmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortamda yüksek konsantrasyondaki bakır iyonlarının bulunması, bakır direnci için genetik belirleyicilere sahip olan mikroorganizmaların seçimini teşvik etmektedir. Funguslar, biyo-dönüştürücü olarak temel özelliklere sahip, her zamanki ağır metallerin biyojeokimyasında önemli roller oynadığı düşünülen, her yerde bulunan organizmalardır (Cervantes ve Corona, 1994).

Metallerin funguslar üzerine etkilerinde bilinmesi gereken, toksik etkinin metallerin fungus hücre zarından geçişi ile olup olmadığıdır. Eser miktardaki elementler hücreye taşınmaktadır fakat eser miktardan daha fazla seviyedeki metallerin de hücre zarından geçip geçmeyeceği bir sorun teşkil etmektedir. Genellikle, hücre içerisine iyonların taşınması ATP'den oluşan metabolik enerjiyi içeren aktif bir prosestir. Hücre zarının dış yüzeyinde iyonları tutucu ve taşıyıcı moleküler geçiş hareketlerini düzenlemektedir (Köse, 2006).

2.2.Ağır Metallerin Uzaklaştırılmasında Kullanılan Yöntemler

Ağır metaller doğada ve endüstriyel atık sularda bulunmaktadır. Doğal su ekosistemlerindeki davranışları ve toksisiteleri nedeniyle, yüzey suyu ve yeraltı sularındaki ağır metallerin varlığı büyük bir inorganik kontaminasyon sorunu oluşturmaktadır. Ağır metalleri atık sudan uzaklaştırmak için yaygın olarak kullanılan geleneksel teknikler arasında kimyasal (çökeltme/nötralizasyon) ve fiziksel (iyon değişimi, membran ayırma, elektrodiyaliz ve aktif karbon adsorpsiyonu) yöntemler bulunmaktadır. Genel olarak, bu işlemler metal kütlesinin orta veya yüksek konsantrasyonlarda çözeltiden uzaklaştırılmasında etkili yöntemlerdir. Bununla birlikte, kimyasal işlemler yüksek miktarda metalik çamur üretmekte ve bu da metallerin geri kazanılmasını zorlaştırmaktadır. Çamurun ayrıca daha fazla imha edilmesi gerekmektedir. Bu tür bir işlemde sonra atık madde genellikle kabul edilemez derecede yüksek toplam çözölmüş katı madde içermektedir. Seyreltilmiş metal atığı veya daha düşük metal iyonları konsantrasyonuna uygulandığında, bu işlemler ya etkisizdir ya da uygun maliyetli değildir (Anahida vd, 2011; Yan ve Viraraghavan, 2003).

Değerli metallerin geri kazanılması, büyük miktarda tehlikeli atık ve gaz emisyonu üreten asitlerin büyük ölçüde kullanılmasını gerektirmektedir. Daha ucuz ve daha çevre dostu olan canlı funguslara dayanan biyolojik arıtma, metalin uzaklaştırılması için mevcut geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif teknik olarak ortaya çıkmıştır (Anahida vd, 2011; Yan ve Viraraghavan, 2003).

Biyosorpsiyon olarak tanımlanan biyolojik metal giderme yöntemleri daha ucuz ve etkili teknikler olarak önerilmektedir. Biyosorpsiyonda, hücrenin dış yüzeyinde bulunan ligandların veya fonksiyonel grupların etkisiyle metal iyonlarını kompleks yapan canlı mikroorganizmalar, ölü mikroorganizmalar ve türevleri kullanılmaktadır. Bakteriler, algler, funguslar ve maya içeren mikroorganizmaların, ağır metal iyonlarını verimli bir şekilde bünyelerine alabilecekleri yapılan araştırmalar ve incelemeler ile bulunmuştur (Yan ve Viraraghavan, 2003).

2.2.1. Biyosorpsiyon

Son yıllarda biyosorpsiyon, atık sulardan metallerin uzaklaştırılması için umut verici düşük maliyetli bir metodoloji olarak kullanılmaktadır. Bir biyoteknoloji dalı olarak biyosorpsiyon, organik veya inorganik maddeleri ve bileşenlerini, endüstriyel ve tarımsal atıkları ve doğal kalıntıları, canlı veya ölü mikroorganizmalar gibi biyolojik materyal ile çözeltiden uzaklaştırılmasını amaçlamaktadır. Biyosorpsiyon, absorpsiyon, adsorpsiyon, iyon değişimi, yüzey kompleksi ve çökeltme gibi çeşitli mekanizmalara dayanan fiziko-kimyasal ve metabolik olarak bağımsız bir işlemdir. Ayrıca, mikroorganizmalar tarafından metal uzaklaştırma mekanizması, metal iyonlarının kimyası, mikroorganizmaların hücre duvarı bileşimleri, hücre fizyolojisi, pH, sıcaklık, zaman, çalkalama hızı, iyonik güç, bağlanma sahaları veya diğer müdahaleler için diğer kirletici etkilerin rekabeti ve başlangıçtaki kirletici konsantrasyonu gibi faktörlere bağlı karmaşık bir süreçtir (Damodaran vd, 2014; Fomina ve Gadd, 2013).

Farklı yazarlar tarafından "Biyosorpsiyon" terimi, biyo-adsorpsiyon, biyo-absorpsiyon, canlı veya ölü biyokütle ile biyosorpsiyon, çeşitli maddeler ile biyobirikim (örneğin metaller, radyonüklidler ve organikler) gibi farklı şekillerde kullanılmıştır. Biyolojik bir varlığın katılımını gösteren 'bio' ön ekine rağmen, biyosorpsiyon, maddelerin biyolojik materyaller ile çözeltiden uzaklaştırılması olarak tanımlanabilen fiziko-kimyasal bir süreçtir. Sorpsiyon, hem absorpsiyon hem de adsorpsiyon için kullanılan bir terimdir. Absorpsiyon, bir maddenin bir durumdan farklı bir duruma (örneğin bir katı tarafından emilen sıvılar veya su tarafından emilen gazlar), yani üç boyutlu bir matrise dahil edilmesidir. Adsorpsiyon ise, iyonların ve moleküllerin başka bir molekülün yüzeyine, yani iki boyutlu bir yüzeye fiziksel olarak yapışması veya bağlanmasıdır. Adsorpsiyon, uzaklaştırma teknolojilerinde en yaygın sorpsiyon şeklidir. Fakat absorpsiyon veya adsorpsiyon işlemlerinin hangisinin işlevsel olduğu açık olmadığından sorpsiyon tercih edilen terimdir ve bir sorbatın sorbent ile etkileşime girdiği ve sorbat-sorbent arayüzünde birikmeye yol açan herhangi bir sistemi tarif etmek için kullanılabilir (Fomina ve Gadd, 2013).

“Biyosorpsiyon” farklı bir açıdan, pasif ve aktif süreçlerle ilgilidir. Bu süreçler:

- (i) Mikrobiyal biyokütle ile metallerin pasif alımı olarak pasif, metabolik olarak bağımsız bir süreç;
- (ii) Canlı biyokütle durumunda hem pasif hem de aktif süreçleri içeren ve sıklıkla biyobirikim olarak adlandırılan daha geniş bir tanım,
- (iii) Biyolojik bir matris ile herhangi bir sorbatın etkileşimlerinin tüm yönlerini kapsayan temel bir genelleme olarak bu üç tanımla açıklanabilmektedir (Fomina ve Gadd, 2013).

Dolayısıyla biyosorpsiyon işlemi, katı bir fazı (biyosorbent) ve emilecek çözünmüş veya süspanse edilmiş türleri (sorbit) içeren bir sıvı fazı içermektedir (Fomina ve Gadd, 2013).

Metaller ve bunların bileşikleri, metalin, organizmanın ve çevrenin türüne bağlı olarak funguslarla çeşitli şekillerde etkileşime girebilmektedir. Mikroorganizmaların, yüksek konsantrasyonlarda ağır metallere adapte olduğu veya mutasyon yaparak hayatta kalma kabiliyetine sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak, funguslarda ağır metal toleransı için iki mekanizma önerilmiştir:

1. Hücre dışı (şelasyon ve hücre duvarından uzaklaştırma) ayırma ve
2. Metale duyarlı hücresel hedeflere zarar vermesini önlemek için proteinlere veya diğer ligandlara bağlanarak hücre içi fiziksel ayırmadır (Anahid vd, 2011).

Hücre dışı mekanizmalar esas olarak metal girişinin önlenmesinde kullanılırken, hücre içi sistemler hücre sıvısındaki metal yükünü azaltmayı amaçlamaktadır. Mikroorganizmaların hücre yüzeyi, glikan ve kitin gibi çeşitli anyonik yapıların varlığı nedeniyle negatif olarak yüklenmekte ve mikroorganizmalara metal katyonlarını bağlama yeteneği göstermektedir. Hücre içi mekanizmada, metal taşıma proteinleri, toksik metal iyonlarını hücre sıvısından hücre dışına sıkıştırarak veya metalin vakumlama bölmesine ayrılmasına izin vererek metal toleransına dahil olabilmektedir (Anahida vd, 2011).

Ağır metaller canlılar üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Canlıların hücrelerinde birikmekte ve toksik etkilere neden olmaktadır. Ekosistemde bu canlılarla beslenimleri sonucunda diğer birçok canlıda ağır metalleri biyokütlelerine sorplamaktadır. Ağır metallerin genel olarak suda, sedimanda ve sucul canlılarda miktarı ve etkileri yapılan bilimsel çalışmalarda ayrıntılı olarak analiz edilmektedir (Dereli vd, 2017).

Suda bulunan organizmalardaki kirletici biyolojik birikiminin belirlenmesi, canlılar için risk faktörünün değerlendirilmesinde önemli bir bileşendir. Biyobirikim (biyoakümülyasyon) (BA) ve biyokonsantrasyon (BCF), kirleticilerin dış ortamdan bir organizmaya geçişini ifade etmektedir (Barron, 2003).

Biyobirikim, organizmaların vücutlarında, besinlerinde ve yaşadıkları ortamda bulunduğundan daha yüksek konsantrasyonlar elde ettiği durumları tanımlamak için kullanılmaktadır. İnsan faaliyetleri, çevredeki birçok maddenin doğal konsantrasyonlarında büyük değişikliklere uğratmış ve çok sayıda yeni kimyasalın eklenmesine sebep olmuştur. Ekosistemlerin karmaşıklığından dolayı, tüm biyobirikim durumlarını belirlemede tek bir model veya sistem yoktur. Biyobirikim süreçlerinin anlaşılması bazı nedenlerden dolayı önemlidir (Streit, 1992; Walker, 1990);

1. Organizmalardaki biyobirikim, ekosistemdeki endüstriyel kimyasalların bir bütün olarak kalmasını sağlamakta çünkü organizmaların dokularına sabitlenebilmektedir,
2. Depolanan kimyasallar doğrudan fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal bozulmaya uğramamaktadır,
3. Depolanan kimyasallar canlının sağlığını direkt olarak etkileyebilmektedir,
4. Biyobirikimli zararlı maddelere sahip organizmalar, besin zincirine girerek diğer canlılar için tehlike oluşturmaktadır (Streit, 1992).

Biyokonsantrasyon, su yoluyla taşınan kimyasalların suda yaşayan canlılar tarafından, besinsel yollardan birikmesidir. Biyokonsantrasyon, kimyasal alımı ve eliminasyon oranlarının bir sonucu olarak görülebilmektedir. Su kalitesi parametreleri (pH, su sertliği vb.), metal spesifikasyonunu etkileyerek metal birikimine etki etmekte ve çökeltilen, biyolojik konsantrasyon için kullanılamayan çözünmeyen organik ve inorganik kompleksler oluşturabilmektedir. Metaller çözelti içinde serbest iyonlar ve biyoyararlanımı etkileyecek inorganik kompleksler olarak bulunabilmektedir. Su sertliği, metal özellikleri üzerindeki etkilerden bağımsız olarak metal alımını etkileyebilmektedir (Barron, 2003).

Biyolojik prosesler (örneğin, ekoloji, yaşam alışkanlıkları, fizyoloji/biyokimya gibi), sucul ortamın kimyası ve bileşimi dahil olmak üzere, kirletici biyobirikimi ve biyokonsantrasyonunu etkileyen birçok faktör

bulunmaktadır. Organik kimyasallar için, organizma ve sucul çevre arasındaki denge, kirletici madde birikimini sağlayan önemli bir süreçtir. Kirletici maddenin emilimini takiben, iç dağıtım, eleme işlemleri ve ayrıca bölümlene kirletici birikiminin hızını ve boyutunu kontrol etmektedir. Biyobirikimin tahmini ve ölçümü, ekolojik risk değerlendirmesinde giderek daha önemli hale gelmiştir, ancak çevrenin mekansal, zamansal heterojenliği ve sucul organizmaların biyolojik çeşitliliği nedeniyle zordur (Barron, 2003).

Ağır metallerin biyosorpsiyonu uygulamalarında, aktif biyokütlenin kullanılması daha iyi bir seçenektir, çünkü büyüyen hücreler, kendi kendine yenilenme, fiziksel adsorpsiyondan sonra metallerin sürekli metabolik alımı özelliklerine sahiptir. Ayrıca, büyüyen hücreler organik-metalik kompleksleri parçalamak, organik bileşikleri parçalamak ve amonyum, nitrat ve fosfat gibi diğer inorganik iyonları almak için sınırsız kapasiteye sahiptir. Çözünmüş ve ince dağılmış metalik elemanlar da immobilizasyon yoluyla uzaklaştırılabilmektedir. Ölü veya ön işlem görmüş biyokütlenin kullanılması için metaller hücrelere alınmamakta, ancak hücre yüzeylerine adsorbe edilmektedir. Biyobirikim kapasitesinin sadece küçük bir kısmından yararlanıldığı için, tek başına biyosorpsiyon etkili metal ıslahı için yeterli olmayabilir (Pan vd, 2009).

2.2.2. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon iki faz arasındaki ara yüzeyde veya bir maddenin diğer bir madde yüzeyinde konsantrasyonun artması ya da moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetine bağlı olarak o yüzeyle birleşmesi olayıdır. Adsorplayan madde yüzeyi ile adsorplanan arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon olarak üç kısımda incelenmektedir.

Asidik pH'larda adsorban yüzeyinin pozitif yüklenme ihtimali arttığından, yüzey negatif yüklü iyonların adsorpsiyonu için daha uygun olmaktadır. Pozitif yüklü iyonların adsorpsiyonunda, yüksek pH'larda artış beklenmektedir (Kıvanç, 2011).

Adsorpsiyon işlemi genellikle ekzotermik bir tepkime biçiminde gerçekleşmektedir. Bu sebeple azalan sıcaklık ile adsorpsiyon büyüklüğü artış göstermektedir (Kıvanç, 2011).

Adsorplayıcının yüzey alanının büyük, partikül boyutunun küçük ve gözenekli bir yapıya sahip olması adsorpsiyonu artmasını sağlamaktadır. Bu nedenle yüzey alanını arttırmak için genellikle asit veya bazlarla yüzey aktifleştirme işlemi uygulanmaktadır (Kıvanç, 2011).

Adsorblanacak maddenin çözünürlüğünün fazla olması adsorplanan-çözücü bağının kuvvetli olması anlamına gelmekte ve bu durumda adsorpsiyon kapasitesini etkilemektedir. Adsorpsiyon nötral türler için en fazla, yüklü türler için en az olması, iyonlaşmanın artmasıyla adsorpsiyon azaldığını göstermektedir (Kıvanç, 2011).

Adsorpsiyon hızı ya film difüzyonu ya da gözenek difüzyonu ile kontrol edilmektedir. Bu durumda dikkat edilmesi gereken sistemin karıştırma hızıdır. Düşük karıştırma hızlarında tanecik etrafındaki sıvı film kalınlığı fazla olmakta ve film difüzyonu hızı adsorpsiyonu sınırlamaktadır. Sistemde yeterli karışım sağlandığı durumda ise, film difüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan gözenek difüzyon noktasına doğru artmaktadır. Genelde gözenek difüzyonu yüksek hızda karıştırılan kesikli sistemlerde adsorpsiyon hızı sınırlayıcı etmen olabilmektedir (Kıvanç, 2011).

2.2.2.1.Adsorpsiyon İzotermi

Adsorplayıcı ve adsorplanan yanında sıcaklık parametresi sabit tutulduğunda gaz fazından adsorpsiyon sadece basınca, çözültiden ise derişime bağlı olmaktadır. Adsorpsiyon izotermi, bir maddenin sulu gözenekli ortamdan veya su ortamlarından sabit bir sıcaklık ve pH'ta bir katı faza tutulması veya hareketliliğini düzenleyen olayı tanımlayan eğridir. Adsorpsiyon izotermi, adsorbe edilmiş moleküllerin adsorban arayüzlerinde nasıl dağıldığını açıklamaktadır. Adsorpsiyon dengesi, adsorpsiyon izotermi ile ifade edilmektedir. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözültide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam etmektedir. Adsorpsiyon dengesini belirtmek için sabit sıcaklıkta dengede çözültide kalan çözünen derişimine karşı katı sorbentin birim ağırlığında adsorbe edilen çözünen miktarı farklı modeller (Langmuir izotermi, Freundlich izotermi, BET izotermi) kullanılarak grafiğe geçirilmektedir. Adsorpsiyon izotermi genel olarak, bilinen miktardaki bir adsorban ile farklı konsantrasyonlarda adsorbat çözültilerini dengeye ulaştırarak elde edilmektedir. Adsorpsiyon izotermi, en yaygın kullanılan izotermi Langmuir ve Freundlich izoterm denklemleridir. Bunların dışında BET (Brunauer, Emmett ve

Teller) izotermi de kullanılan adsorpsiyon izotermelerindendir (Foo ve Hameed, 2010; İpek, 2014; Kıvanç, 2011; Negm vd, 2018).

Metal adsorpsiyonunda adsorbanların hücre duvarındaki fonksiyonel hidroksit, amid, karboksil ve fosfat grupları, metal iyonlarının alımında önemli rol oynamaktadırlar. Sorpsiyon mekanizması, hem iyon alışverişini hem de fonksiyonel gruplar ve adsorban arasındaki kompleks reaksiyonu içermektedir (Li vd, 2018).

2.3.Mikrobiyal Ekolojide Funguslar

Mikrobiyal topluluklar hastalık, biyojeokimyasal döngü, tarım ve biyolojik ıslahta önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, mikrobiyal toplulukları yöneten ekolojik süreçleri ve bu süreçlerin göreceli etkilerini ortadan kaldırmak zordur. Doğada metabolik olarak birbirleriyle ilişkili mikrobiyal hücreler, popülasyonları, popülasyonlar birlikleri oluşturmakta ve birlikler de mikrobiyal topluluklarla etkileşim içindedir. Mikrobiyal ve makroorganizma toplulukları tüm ekosistemi ifade eden çevre ile etkileşmektedir. Funguslar, yalnızca ekosistem fonksiyonlarındaki hayati rolleriyle değil aynı zamanda insanlar ve insanlarla ilgili faaliyetler üzerindeki etkileri nedeniyle dünyadaki en önemli organizmaları arasındadır. Sürdürülebilir kalkınmanın sağlanmasında funguslar, ayrışma, besin döngüsü ve besin taşıma gibi kritik faaliyetler için önemlidir (Ladau ve Eloie-Fadrosh, 2019; Mueller vd, 2011).

Metal iyonları fungus gelişiminde önemlidirler. Bakır, çinko, demir, manganez, magnezyum, kalsiyum veya stronsiyum ve potasyum gibi çok sayıda metal fungus gelişimi için gereklidir. Bazı fungus türleri kobalta da ihtiyaç duymaktadır. Bu metal iyonları aktivatör olarak enzimlerle zayıf bağ oluşturarak, enzim ve substrat arasında bağlantı oluşturabilmekte veya metaloenzim olarak kuvvetli bağlar kurmaktadır (Köse, 2006). Fungusların mikroskopik görünümü Resim 2.1'deki gibidir.



Resim 2.1: Fungus mikroskopik görünümü (Lupsa, 2009)

2.3.1. Fungusların Genel Özellikleri

Funguslar ökaryotik, heterojen, genellikle filamentli, tek hücreli, spor vererek çoğalırlar ve klorofil içermeyen kemoorganotrofik organizmalardır. Bakteri ile kıyaslandığında besin istekleri basittir. Fungusların metabolik fonksiyonları karmaşık değildir ve bakteriler de olduğu gibi kemolitotrofik özellik göstermemektedir (Akkara ve Tosun, 2014; Benlioğlu ve Özyılmaz, 2017; Samanta, 2015).

Yaprak, kök, gövde gibi farklılaşmış organları ve iletim sistemleri bulunmamakta ve çekirdekleri oldukça kolay görünmektedir. Büyüme apikaldır yani uç kısmından büyümektedir, aynı zamanda vücudun diğer kısımları da gelişme gösterebilmektedir. Kopan ufak bir parça bile yeni bir fungus oluşumuna sebep olabilmektedir (Akkara ve Tosun, 2014; Benlioğlu ve Özyılmaz, 2017).

Neredeyse tüm üyeleri hareketsizdir ve bitkiler gibi hücre duvarına sahiptir. Fotosentetik pigment içermediklerinden besinlerini diğer canlıların hazırladığı organik maddelerden genellikle absorpsiyonla almaktadır (Akkara ve Tosun, 2014).

Genellikle iyi bir mineral kaynağı olan funguslar yüksek konsantrasyonlarda vitamin, mineral, azot ve karbonhidrat içermektedir; bununla birlikte, çoğunlukla enzimleri tarafından sindirilemeyen yapısal karbonhidratlardan oluşmaktadır. Funguslar ham yağı, genellikle yağ asitleri dahil çeşitli sınıflarda yağ bileşikleri olarak bulundurmaktadır. Ham protein seviyeleri, gıdalarda bulunan toplam azot miktarına bağlıdır. Bununla birlikte, fungusların azot muhtevasının büyük bir kısmı birçok tüketici tarafından kolaylıkla temin edilememektedir, çünkü funguslardaki azotun çoğu, sindirilemeyen sporlarda bulunmakta, protein olmayan formda tutulan hücre duvarı bileşenlerine bağlanmakta veya üre, amonyak gibi protein olmayan formda bulunmaktadır. Funguslar, selülozlar, hemiselülozlar, pektinler veya lignin

gibi bitki dokularında yaygın olarak bulunan hücre duvarı bileşenlerini içermemektedir. Bunun yerine, fungal hücre duvarları esas olarak kitin ve selülozik olmayan glikanlardan oluşmaktadır. Funguslar çok sert bir hücre duvarına sahiptirler (Akkara ve Tosun, 2014; Hanson vd, 2006).

Fungusların bazı türleri önemli bitki ve hayvan patojenleridir; diğerleri ise çeşitli bitki türleri, algler, siyanobakteriler ve hayvanlarla karşılıklı simbiyozlar oluşturmaktadır. Funguslar, aynı zamanda insan faaliyetleri üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olan büyük ekonomik öneme sahiptir. Bu organizmalar, demleme, fırınlama, endüstriyel fermantasyon, ilaç ve biyoteknoloji endüstrilerinde kullanım için uygun hale getirilmektedir. Diğer türleri ise yiyecek olarak kullanılmak üzere ekilmekte veya toplanmaktadır. Aynı zamanda, funguslar gıda bozulmaları, insanlar tarafından kullanılan malzemelerin imha edilmesi veya bozunması, bitki ve hayvanların hastalıkları (insanlar dahil) nedeniyle her yıl milyonlarca dolara zarar vermektedir. Fungusların çeşitliliği ve bolluğu, hem doğal hem de değişmiş ekosistemlerin yanı sıra insanla ilgili faaliyetlerde hayati roller nedeniyle, fungusların biyolojik çeşitliliğin korunması, arazi kullanımı planlaması ve yönetimi ile ilgili hususlara dahil edilmesi gerekmektedir (Mueller vd, 2011).

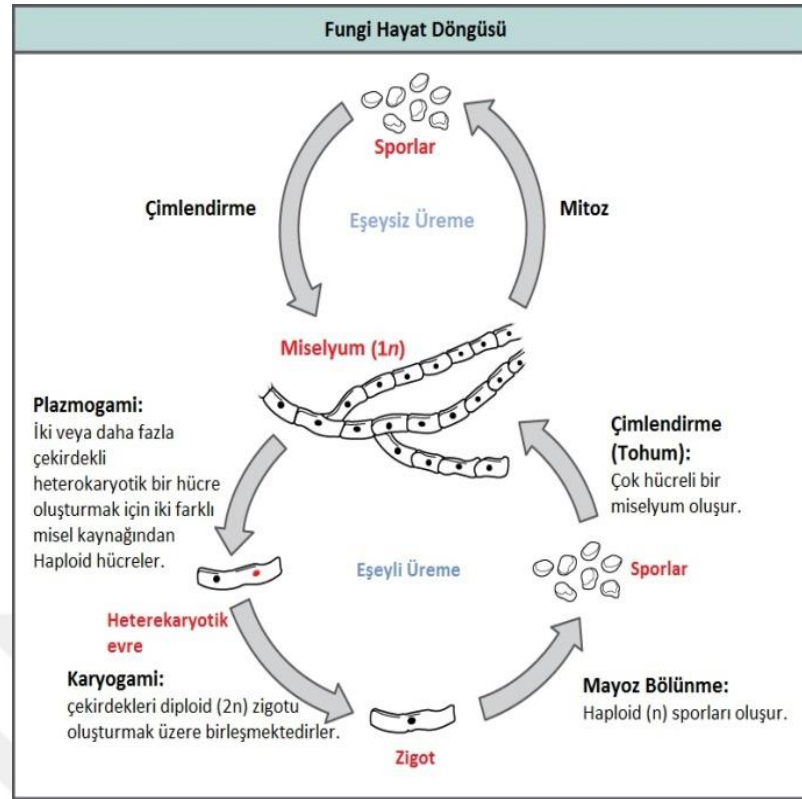
2.3.2. Funguslarda Üreme

Fungus, mayalar ve küfler gibi mikroorganizmalar içeren büyük bir ökaryotik organizma grubunun bir üyesidir. Funguslar, bitkilerden, hayvanlardan ve bakterilerden ayrı bir sınıfta sınıflandırılmaktadır. Selüloz içeren bitkilerin hücre duvarlarının aksine, fungus hücreleri kitin içeren hücre duvarlarına sahiptir. Fungal üreme, farklı organizma grubu içindeki yaşam tarzları ve genetik yapıdaki farklılıklarından dolayı karmaşık yapıdadır. Fungusların üçte birinin farklı çoğalma yöntemleri kullanarak çoğaldığı tahmin edilmektedir. Çevresel koşullar, eşeyli veya eşeysiz üreme için özel yapıların oluşturulmasına yol açan genetik olarak belirlenmiş gelişimsel durumları tetiklemektedir. Bu yapılar sporları veya spor içeren propagülleri etkin bir şekilde dağıtarak üremeye yardımcı olmaktadır. Funguslar 3 çeşit üremeye sahiptirler (Ali, 2013).

- a) Vejetatif üreme, yeni bireylerin mayoz yani tohum ya da spor üretimi olmadan oluşturulduğu fungus thallusunun somatik kısmını içeren üreme

türüdür. Vejetatif üreme, parçalanma, fisyon, tomurcuklanma, oidia, klamidospore, rizomorflar ve sklerotya (Ali, 2013).

- b) Funguslarda eşeysiz üreme, eşeyli üremeden daha yaygın bir üreme türüdür. Genellikle bir mevsimde birkaç kez tekrarlanmaktadır. Spor adı verilen özel üreme hücrelerinin oluşumu ile gerçekleşmektedir. Funguslarda spor oluşumuna sporülasyon denir. Her spor yeni bir miselyum haline gelmektedir. Bu sporlar, ana hücrede mitozun bir sonucu olarak üretilmekte ve bu nedenle aynı zamanda mitospor olarak da adlandırılmaktadır. Sporlar renk, şekil ve ebat, sayı, hifada düzenleme ve bunların taşıma şekli bakımından çeşitlilik göstermektedir. Yeşil, sarı, turuncu, kırmızı, kahverengi ile siyah renkte olabilmektedir. Şekil olarak, küreselden oval, dikdörtgen, iğne şeklinde, helisel olarak değişmektedir. Böylece funguslarda sonsuz çeşitlilikte spor görülebilmektedir. Genellikle sporlar tek hücrelidir. Tek çekirdekli veya çok çekirdekli olabilmektedir. *Alternaria* ve *Curvularia* gibi funguslarda, çok hücrelidir. Funguslarda üretilen mitosporlar üç çeşittir. Bunlar; sporangiospores, zoosporlar, conidiophores (Ali, 2013).
- c) Eşeyli üreme; uyumlu iki cinsiyet hücresinin veya zıt suşların gametlerinin birleşmesini içermektedir. Fungus eşeyli organlarına gametangia denir. Boyut olarak eşit olabilmektedir. Birçok yüksek *ascomycet*'te morfolojik olarak farklı gametangia oluşur. Erkek gametangia antheridia ve dişi askorji olarak adlandırılmaktadır. Funguslarda eşeyli üreme üç fazı içermektedir. Bunlar, plazmogami, karyogami ve meiosis. Bu üç işlem, düzenli bir sıra halinde ve belirli bir zamanda, her bir türün eşeyli aşaması sırasında meydana gelmektedir (Ali, 2013). Funguslarda eşeyli ve eşeysiz üreme aşamaları Şekil 2.1'deki gibidir.



Şekil 2.1: Fungusların hem eşeysiz hem de eşeyli üreme aşamaları (Anonim, 2020)

Çoğu fungusta hücreler haploiddir. Bir fungusun vücudu miselyum olarak adlandırılmaktadır. Miselyum, karışık kütlerde, iplikçi hücre dizileri gibi birçok bireysel filamentli hiflerden oluşmaktadır. Bu yapı her hücrenin çevre ile yakın temas halinde olmasını sağlamaktadır. Hifler, genellikle sert kitin ile yapılmış hücre duvarıyla çevrilidir ve malzemelerin fungusların gövdesinden geçmesine izin veren, delikler içeren duvarlarla (septa) ayrılmaktadır (Ali, 2013).

Sıvı kültürde ve steril topraklarda saprofitik ve patojenik fungus gelişiminde, değişen koşullar altında büyüme oranlarının karşılaştırılması için bir yöntem bulunmamaktadır. İkili fisyon ile bölünen mikroorganizmaların büyüme oranları, hücre sayısındaki artış üssel olduğu için kolaylıkla belirlenmektedir (Marshall ve Alexander, 1960)

Fungus türü filamentli mikroorganizmaların çoğalması çoğunlukla bir agar yüzeyindeki radyal gelişme veya bireysel fungus lifinin doğrusal uzantısı ile tahmin edilmektedir. Fakat bu yöntemler, genellikle farklı fungusların veya aynı fungusun büyüme hızlarını, değişen besin koşullarında geçerli bir karşılaştırma yapamamaktadır çünkü misel kümelerinin yoğunluğundaki farklılıkları hesaba katmamaktadır. Sıvı kültürde üretilen miselyumun ağırlığı, proliferasyonun daha iyi

karşılaştırmalı bir tahminini vermektedir. Sıvı ortamdaki ipliksi yapısının uzaması esasen sınırsız olduğundan, Emerson (1950), böyle bir ortamda *Neurospora crassa*'nın büyümesinin üç boyutlu olduğunu ve misel ağırlığı ve zamanın küp kökü arasında doğrusal bir ilişki elde ettiğini öne sürmektedir (Marshall ve Alexander, 1960).

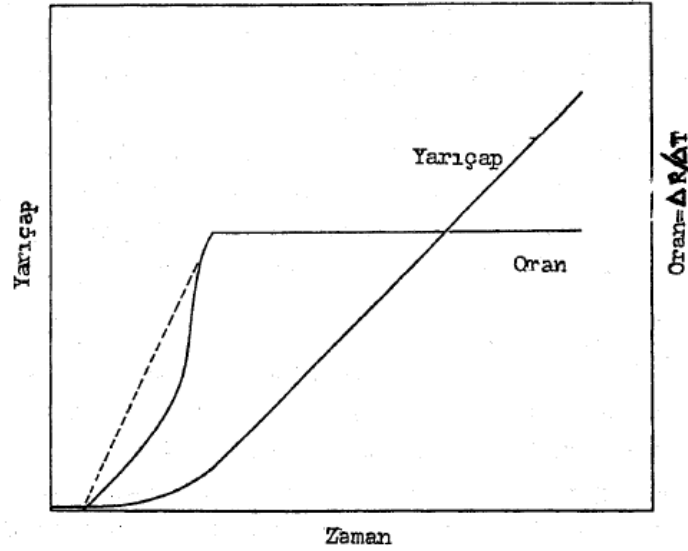
2.3.3. Fungusların Büyüme Kinetiği

Fungusları etkileyen fiziksel çevre koşullarının başında sıcaklık gelmektedir. 0°C altında fungus hücreleri ölmeden yaşayabilmektedir. 40°C'nin üzerinde çoğu hücrelerinin büyümesi durmakta ve çok geçmeden ölmektedir. Kimyasal reaksiyonlarda sıcaklık arttıkça hız ve enzimatik reaksiyonlar artmaktadır. Çoğunlukla belirli sıcaklık limitleri arasında 10°C'lik bir yükselme reaksiyon hızını iki ya da üç kat artmasına neden olmaktadır. Bununla beraber 60°C üzerinde enzim aktiviteleri sıcaklığa bağlı olarak zarara uğramaktadır (Çolakoğlu, 2001).

Diğer tüm organizmalar gibi funguslar da çevremizde bulunan doğal radyasyonlara yani ultraviyole ışınlara, görünebilir ve kızıl ötesi ışınlara, kozmik ışınlara, radyoaktif ışınlara maruz kalmaktadır. Maruz kalınan bu radyasyonlar fungusun ve radyasyonun tabiatına bağlı olarak zararlı veya yararlı olabilmektedir (Çolakoğlu, 2001).

Fungus büyümesinin oranlarının miktarı, çevresel ve genetik faktörlerin fungus üzerindeki etkilerinin niceliksel olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Büyüme, hücre sayılarındaki lineer boyutlarda, kütleinde, hacminde, herhangi bir metabolik sürecin toplam aktivitesinde veya herhangi bir hücre bileşiğinin miktarındaki değişimlerin ölçülmesiyle belirlenebilmektedir (Çolakoğlu, 2001).

Fungus büyümesinin ölçümünün en kolay yöntemi agar gibi besin maddesi olmayan bir maddeyle katılaştırılmış ortamda lineer boyutlardaki artışı belirlemektir (Şekil 2.2). Bu yöntem petri kaplarında katılaştırılan agarda uygun aralıklarda koloninin çapı ya da yarıçapındaki artış kaydedilmektedir (Çolakoğlu, 2001).



Şekil 2.2: Fungus büyümesinin lineer grafiği

Botrytis için Smith (1924) göre gösterilmiş olan kesik çizgi (---) sabit bir seviyedeki lineer artışı belirlemektedir. Fungusun büyüme miktarını belirlemede en yaygın ve en çok uygulanan yöntem kuru ağırlığın ölçülmesidir. Fungusun büyümesi, çevre koşullarına ve organizmaya bağlı olarak oldukça büyük farklılıklar göstermektedir (Çolakoğlu, 2001).

2.3.4. Fungus Çeşitleri

Fungusların habitatları oldukça farklılık göstermektedir. Bir kısmı tatlı sularda bir kısmı ise denizlerde yaşamaktadır. Ancak büyük bir çoğunluğu toprakta ve ölü bitkisel atıklarda yaşamaktadır. Bunların yanında insan, hayvan ve bitkilerde parazit olan türleri de mevcuttur (Mueller vd, 2011).

Funguslar, üç ana morfolojik forma sahiptir; tek hücreli maya, küf ve maya benzeri form. Dimorfik funguslar (*Blastomyces dermatitidis*, *Coccidioides immitis*, *Histoplasma*, *Sporothrix schenckii*) sıcaklığa bağlı olarak (termal dimorfizm) her iki formu da üretebilmektedir (maya ve küf). Maya formu, konakçı gövdesi içinde üretilmekte (37 ° C'de laboratuvar ortamında) ve küf biçimi, ortamda veya yapay kültür ortamında (oda sıcaklığında) gözlenmektedir (Samanta, 2015).

Fungusları mayalar ve küfler ile şapkaklı funguslar ve yer fungusları olarak sınıflandırmak mümkündür (Mueller vd, 2011).

2.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Funguslar

Yapılan çalışmada *Fusarium* türünden *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* fungusları kullanılmıştır.

2.4.1. *Fusarium*

Fusarium birçok tarımsal açıdan önemli bitki patojenleri, mikotoksin üreticileri ve fırsatçı insan patojenlerini içeren ipliksi fungusların bir türüdür. Karşılaştırmalı analizler, *Fusarium* genomunun primer metabolizma ve üremeden (çekirdek genom), patojenliğinden, konakçı oluşundan ve muhtemelen diğer fonksiyonlardan (adaptif genom) sorumlu bölümlere ayrıldığını ortaya koymuştur. *Fusarium* fungusunun üremesi için en uygun pH değer aralığı 5-7, sıcaklık ise 24-32 °C'dır (Ma vd, 2013; Yörük, 2009). *Fusarium* türünün mikroskopik görünümü Resim 2.2'de görülmektedir.



Resim 2.2: *Fusarium* mikroskopik görünümü (Ellis, 2016)

Bir bitki patojeni olarak tahıllarla yakın ilişkileriyle bilinmekte ve mısırdan, buğdaydan izole edilmektedir. Patojenliklerine ek olarak, mikotoksinler olarak bilinen toksik sekonder metabolitler üretme yeteneğine de sahiptirler. *Fusarium* mikotoksinlerinin biyolojik aktivitesi bitkilere zarar verebilmekte, insanlarda ve hayvanlarda kanser ve diğer hastalıklara neden olabilmektedir. Muhtemelen bu cinsin en iyi bilinen mikotoksini olan fumonisinler, insanlarda özofageal kanser, domuzlarda pulmoner ödem sendromu, sıçanlarda karaciğer kanseri ve atlarda lökoensefalomalazi ile ilişkilendirilmiştir. *Fusarium*'un bitki enfeksiyonları, filizlenen tohumlardan olgun bitkisel dokulara, konakçı bitkiye ve ilgili *Fusarium* türlerine bağlı olarak tüm gelişim aşamalarında meydana gelebilmektedir (Moretti, 2009). *Fusarium* türlerinin neden olduğu hastalıklar Resim 2.3 belirtilmiştir.

Genellikle, *Fusarium* kültürünün tanısal tanımlamasının en zor kısmı, sorulan soruyu açıkça tanımlamak, bu soruyu cevaplamak için gereken bilgiyi belirlemek ve elde edilen bilginin soruyu cevaplamak için yeterli olup olmadığını bilmektir. Tanımlama sürecindeki ilk adım, bitki hastalığını ve hastalıklı bitki üzerinde gözlenen semptomları ve hastalığın olduğu hava koşullarını not etmektir. Daha sonra, geri kazanılması muhtemel olan türlerin spektrumunu belirlemek için izolasyon ve geri kazanım protokolleri değerlendirilmelidir. Son olarak, ilgilenilen türler arıtılmalı ve daha sonra morfolojik, moleküler ve çapraz doğurganlık kriterleri kullanılarak değerlendirilmelidir (Summerell vd, 2003).

Fusarium cinsi Ascomycota lifi, Ascomycetes sınıfı, Hypocreales sınıfına aitken, *Fusarium* türlerinin teleomorfları çoğunlukla Gibberella cinsinde ve daha az sayıda tür için Hemanectria ve Albionectria cinslerinde sınıflandırılmaktadır. *Fusarium* 70'ten fazla tür içermektedir (Moretti, 2009; Tewoldemedhin vd, 2011).



Resim 2.3: Çeşitli *Fusarium* türlerinin neden olduğu tipik hastalık belirtileri (Summerell vd, 2003).

Resim 2.3'de gösterilen A'da, *Fusarium* 'un *F. oxysporum*'un neden olduğu muz solması f. sp. Cubense; B'de, *F. oxysporum* 'un neden olduğu *Fusarium* domates solgunluğu f. sp. Lycopersici; C'de, *F. oxysporum*'un neden olduğu vanilya kök çürüklüğü; D'de, *F. manginifera*'nın neden olduğu Mango malformasyonu; E'de, Kanarya Adası hurma *Fusarium* solgunluğu *F. oxysporum* f. sp. Canariensis; F'de, *Fusarium fujikuroi* kaynaklı pirincin Bakanae hastalığı; G'de, *F. thapsinum*'un neden olduğu sorgumun çürüklüğü; H'de, *Fusarium solani*'nin neden olduğu *Aglaonema commutatum*'un kök çürüklüğü; I'da, *F. verticillioides* neden olduğu çürük mısır koçanının resimleri görülmektedir (Summerell vd, 2003).

Sharma ve Malaviya(2014) yapmış olduğu çalışmada, tabakhane atıksuyunun zenginleştirilmiş toprağından izole edilen *Fusarium chlamydosporium* SPFS2-g'nin biyoremediasyon potansiyelini değerlendirmiştir. Tabakhane atıksularının *Fusarium chlamydosporium* ile arıtılması, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), renk, Cr^{+6} , toplam askıda katı maddelerin (AKM), bulanıklık, Na^{+} , Cl^{-} ve NO_3^{-} altı günlük tedavi süresinden sonra sırasıyla %71,80-64,69-100-36,47-22,77-11,69-27,87 ve %62,33 giderim verimi ile sonuçlanmıştır.

2.4.1.1.Fusarium lateritium

Fusarium, bitki patojenleri, saprofitleri ve endofitleri içeren her yerde bulunan fungus türünün geniş bir cinsidir. *Fusarium lateritium* Nees, *Lateritium* bölümündeki ana türdür ve çok sayıda konakta rapor edilmiştir, esas olarak odunsu ve meyve ağaçları başta olmak üzere, çalılıklar ve bitkilerde solgunluğa, uçtan tepeye kadar kurumaya ve kansere neden olmaktadır. Önemli meyve ve odunsu türleri içeren 80180 konak-patojen kombinasyonları vardır. *F. lateritium*, ağaç türlerinin bir yara patojeni olarak sayısız raporun konusu olmuştur ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki tatlı patates üzerindeki klorotik yaprak bozulmasının (CLD) nedensel ajanı olarak yoğun biçimde araştırılmıştır (Vitale vd, 2011).

2.4.1.2.Fusarium verticillioides

Fusarium verticillioides, dünya çapında mısırın önemli bir patojenidir ve mısırdaki en sık bildirilen *Fusarium* türüdür. Fungus ilk kez Filipinler'de 1918'de mısır kulaklarında Reinking tarafından rapor edilmiş ve fide, sap ve kulak çürüklerine neden olmuştur. Patojen, moniliformin, fusarin C, fusarik asit ve ürettiği fumonisinler gibi mikotoksinlerin bir sonucu olarak insan ve hayvan sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadır (Cumagun vd, 2009).

Mohammadi vd (2012), İran'daki başlıca şeker kamışı üretim bölgelerinden pokkah boeng hastalığından etkilenen şeker kamışı bitki örnekleri toplanmışlardır. Elli *Fusarium verticillioides* izolatu hastalıklı şekerlerden elde etmişlerdir. Patojenite testlerinin sonuçları tüm izolatların şeker kamışı için patojenik olduğunu ortaya koyup, *F. verticillioides* izolatlarından dört yüz seksen beş nitrat kullanmayan mutant üretildiğini gözlemişlerdir.

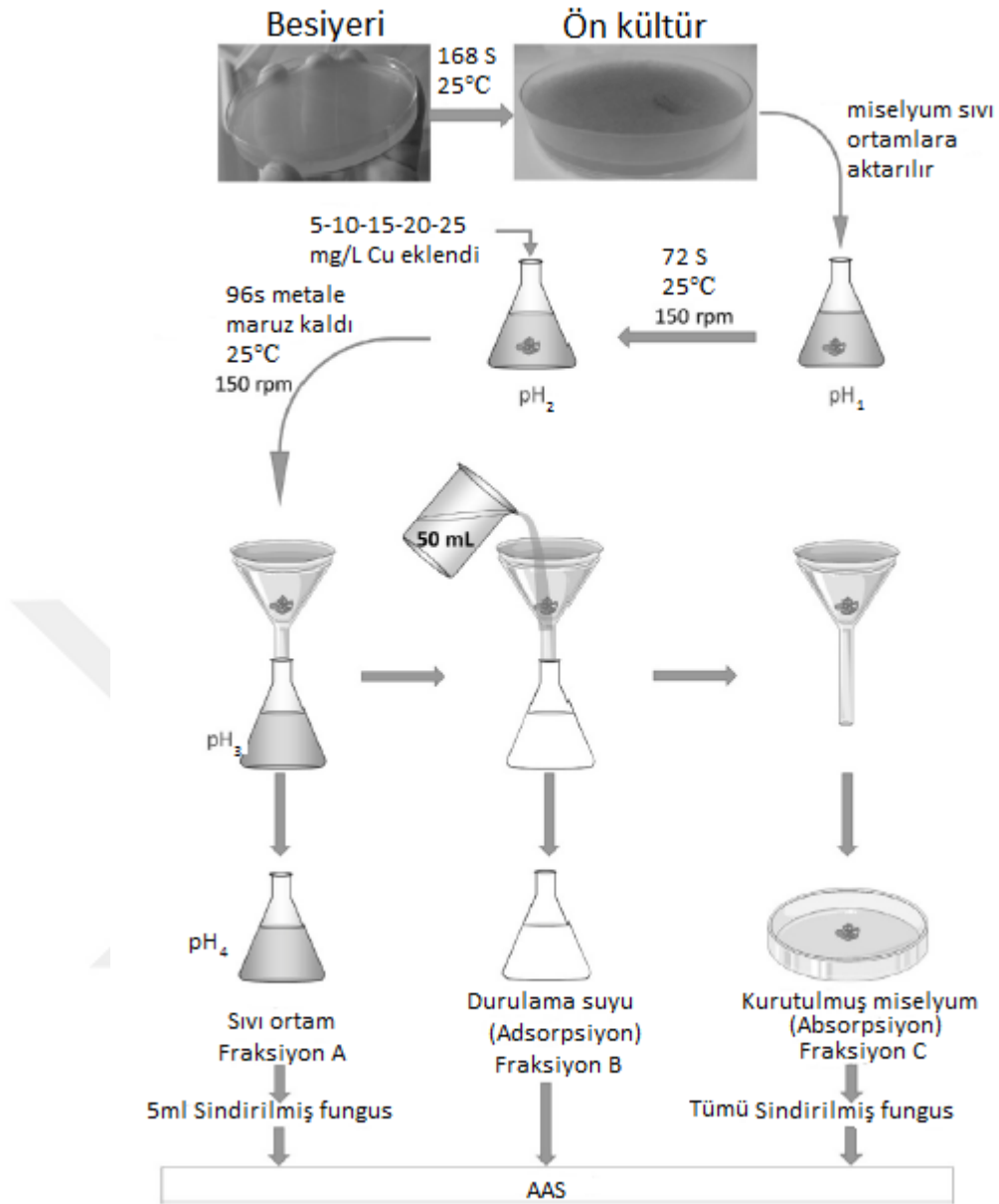
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde kullanılan *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* mikroorganizmaları saf kültür olarak Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümünden temin edilmiştir.

Yapılan laboratuvar çalışmalarında metal olarak CuSO₄ kullanılmıştır. Diğer kullanılan kimyasal maddeler Ek-A'da, kullanılan laboratuvar aletleri Ek-B'de, kimyasal çözeltiler Ek-C'de verilmiştir.

Yapılan tez çalışmada fungusların ağır metalleri adsorplama ve absorplama kapasiteleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle, *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* funguslarının ağır metal olarak bakır (Cu) adsorplama ve absorplama potansiyelleri incelenmiştir. Bakır giderimi üzerinde etkili olan pH, mikroorganizma ağırlığı ve ortama eklenen farklı bakır konsantrasyonu parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada aktif funguslar kullanılmıştır. Deneyler her fungus için 3 tekrarla yapılmıştır. Tez çalışmasında yapılan deneylerin listesi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Fusarium lateritium ve *Fusarium verticillioides* fungusunun toleransı metal bakımından zenginleştirilmiş Malt Ekstrakt Broth üzerinde değerlendirilmiştir. Fungusların 72 saat üremeleri gözlemlendikten sonra 96 saat bakır meteline maruz kalmıştır (Çizelge 3.1). 96 saatlik maruziyet sonunda 3 yeni fraksiyon elde edilmiştir: sıvı ortam (Fraksiyon A), durulama suyu (Fraksiyon B), kurutulmuş fungus (Fraksiyon C). Fraksiyon A'dan 5ml'lik bir kısım, Fraksiyon C'nin ise tümü bakır konsantrasyonlarını belirlemek için toplam sindirim metodu uygulanmıştır. Fraksiyon A, Fraksiyon B, Fraksiyon C'deki bakır konsantrasyon değerleri Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi(AAS) ile ölçülmüştür (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Sıvı ortamda biyosorpsiyon deneyinin şematik gösterimi(Albert vd, 2018)

Belirli konsantrasyonlarda bakırın *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* fungus türlerinde 168 (72sa+96sa) saat sonunda çoğalma hızları ve engelleme yüzdeleri, 96 saat sonunda metal alım miktarına bakılarak biyobirikim (BA) ve biyokonsantrasyon faktörü (BCF), absorpsiyon, adsorpsiyon ve biyosorpsiyon yüzdeleri hesaplanmıştır. Adsorpsiyon izoterm parametreleri belirlenmiş ve modelleri çizilmiştir.

Çizelge 3.1: Tez çalışmasında yapılan deneylerin listesi

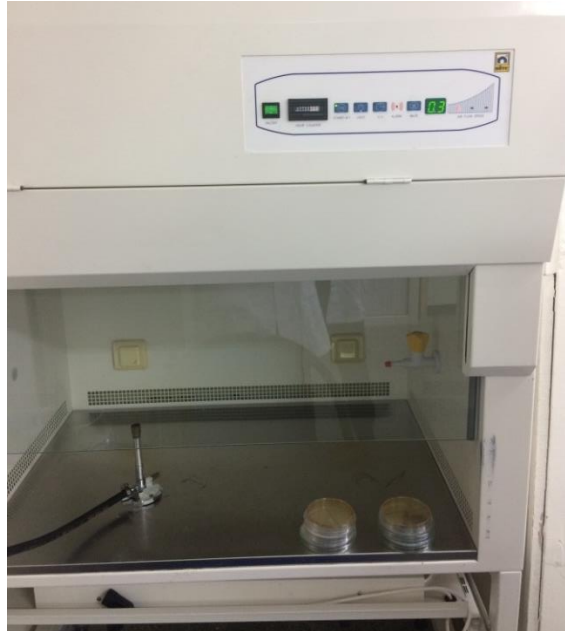
UYGULAMALAR	MİKROORGANİZMA TÜRÜ	ORTAM	KULLANILAN METAL	Cu METALİ KONSANTRASYONU (mg/L)	İZLENEN PARAMETRELER
1	<i>Fusarium lateritium</i>	Malt Ekstrakt Broth ile hazırlanmış besiyeri ortamı	Cu	0-5-10-20-25	Mikroorganizma ağırlığı, Çoğalma hızı, pH, Q _{ad.} , Q _{ab.} , BA, BCF, Adsorpsiyon İzotermi
2	<i>Fusarium verticillioides</i>	Malt Ekstrakt Broth ile hazırlanmış besiyeri ortamı	Cu	0-5-10-20-25	Mikroorganizma ağırlığı, Çoğalma hızı, pH, Q _{ad.} , Q _{ab.} , BA, BCF, Adsorpsiyon İzotermi

3.1.Sterilizasyon

Deneylerde kullanılan cam malzemeler, özeler kullanılmadan önce deterjanla yıkanıp, musluk suyu ile durulanmıştır. Yıkanan malzemeler daha önce hazırlanmış olan yıkama çözeltisinden geçirilip saf su ile durulanmıştır. Sterilizasyon amacıyla öze alüminyum folyoya sarılarak cam malzemelerle birlikte 170°C’de 1 saat etüv de sterillenmiştir.

3.2.Katı Besiyeri Hazırlanması ve Ekimi

Fungusların üremeleri için gerekli besiyeri 25-30°C’de, içerisinde bir miktar saf su bulunan balon joje içerisine 2,4 g tartılan patates dekstroza agar eklenmiştir. Üzerine 1,5 g agar eklenerek 100 ml’ye saf su ile tamamlanmıştır. Steril koşullar sağlanması için 121°C, 15 dakika otoklavda steril edilmiştir. Sterilizasyon sağlandıktan sonra iklimlendirme odasında ekim cihazında petri kaplarına aktararak katı hale gelmesi için beklenmiştir (Resim 3.1). Daha sonra katı besiyerine alınan örneklerden ekim yapılmıştır. Belirli saatlerde (24.-120.-168. saatte) çap boylarına bakılarak *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* 168 saat boyunca üremesi gözlemlenmiştir (Resim 3.2 ve Resim 3.3) (Albert vd, 2018).



Resim 3.1: Çalışmada kullanılan ekim kabini - Katıya ekim işlemi



(a)

(b)

(c)

Resim 3.2: Sırasıyla *Fusarium lateritium* 'un katı besiyerlerindeki üremeleri;
a) 24. saat; b) 120. saat; c) 168. saat



(d)

(e)

(f)

Resim 3.3: Sırasıyla *Fusarium verticillioides* 'un katı besiyerlerindeki üremeleri;
d) 24. saat; e) 120. saat; f) 168. saat

3.3. Sıvı Besiyeri Hazırlanması ve Ekimi

Sıvı besiyeri 1L stok Malt Ekstrakt Broth ile hazırlanmıştır. 5 tane erlene hepsinde 50 ml Malt Ekstrakt Broth olacak şekilde aktararak 115°C 10 dakika otoklavda steril edilmiştir. 168 saat sonunda petri kabında üreyen funguslardan iklimlendirme odasında steril koşullarda aynı boyutlarda kesilerek sıvı besiyerlerine ekim yapılmıştır (Resim 3.4). Ekim yapılan erlenler, iklimlendirme odasında 25°C, 150 rpm'de çalkalayıcıya konulmuştur. 72 saat boyunca üreme gözlemlenmiştir (Albert vd, 2018; Yörük, 2009).



Resim 3.4: Sıvı besiyerine ekim yapıldıktan sonra iklim odasında bulunan ekim kabini ve *Fusarium verticillioides* örnekleri

3.4. Ortama Ağır Metalin Eklenmesi

Sıvı besiyerine ekim yapılan funguslarda 72 saat sonunda üreme gözlenmiştir (Resim 3.5). Üremenin gerçekleşmesi üzerine, önceden hazırlanmış 250 mg/L bakır(Cu) stok çözeltisinden besiyerlerine farklı metal konsantrasyonları ilavesi yapılmıştır. 50 ml'lik erlenlere bir metalsiz kontrol numunesi ve 5-10-20-25 mg/L metal bulunan numuneler hazırlanmıştır. 25°C, 150 rpm'de 96 saat çalkalayıcıda bırakılarak fungus ile ağır metalin biyosorpsiyonu sağlanmıştır (Resim 3.6) (Albert vd, 2018).



Resim 3.5: 72 saat sonunda çalkalayıcıda bulunan *Fusarium lateritium* fungusları



Resim 3.6: 96 saat bakır metaline maruziyet sonunda çalkanması tamamlanmış *Fusarium lateritium* fungusu

3.5. Fungusdaki Metal Tayini

Organizmanın metale 96 saat maruz kalması sonunda fungusları izole etmek için kullanılan Whatman GF/C filtre kağıtları, 103°C’de 1 saat etüve daha sonra oda sıcaklığına gelmesi için 20 dakika desikatörde sabit tartıma kadar bekletilmiştir.

İlk aşama olarak tartılan filtre kâğıtlarından funguslar süzölmüştür. Süzölen funguslardan ayrılan sıvı ortam (Fraksiyon A) ölçölerek cam şişeye aktarılmıştır. İkinci aşama olarak fungusların hücre duvarında adsorbe edilen metalin serbest bırakılması ve toplanması için süzölen funguslar 50 ml saf su ile hafifçe durulanıp kalan kısım (Fraksiyon B) cam şişeye aktarılmıştır. Son olarak filtre kâğıdının üstünde kalan katı kısım olan funguslar, 103°C 1 saat kurutularak 20 dakika desikatörde sabit tartıma getirilip tartılarak (Fraksiyon C) kuru ağırlığı bulunmuştur.

Deneyin sonunda 3 yeni fraksiyon elde edilmiştir: sıvı ortam (Fraksiyon A), durulama suyu (Fraksiyon B), kurutulmuş fungus (Fraksiyon C) (Şekil 3.7) (Albert vd, 2018).

Fraksiyon A’dan 5ml’lik bir kısım, Fraksiyon C’nin ise tümü konsantrasyonlarını belirlemek için hermetik teflon beherlere yerleştirilerek Ek C’de gösterilen toplam sindirim metodu uygulanmıştır (Albert vd, 2018; APHA, AWWA, WEF, 1995).



Resim 3.7: Sindirime hazır Fraksiyon A, Fraksiyon B, Fraksiyon C

3.6.Atomik Absorpsiyon Spektromesi(AAS) ile Ölçüm

Atomik Absorpsiyon Spektrometresi, ışığın gaz halindeki atomlar aracılığıyla absorpsiyonunun ölçülmesi prensibine ve AAS ile nicel analizler Beer - Lambert yasasına dayanmaktadır. Bu yasaya göre, logaritması alınan, ortama gelen ışığın şiddetinin, ortamdan çıkan ışığın şiddetine oranı olarak belirlenen absorbans, ilgili elementin derişimiyle doğru orantılı olmaktadır (Kaya Dalcı, 2014).

$$A = \log I_0/I = k.c.d \quad (3.1)$$

Formülde gösterilen ifadelerden;

A: Absorbans

I_0 : Gelen ışığın şiddeti

I: Çıkan ışığın şiddeti;

k: Absorpsiyon katsayısı;

c: Derişim;

d: Absorpsiyon tabakasının kalınlığını ifade etmektedir (Kaya Dalcı, 2014).

Atomik türlerin spektroskopik tayini, sadece gaz ortamında yani tek atomların veya element iyonlarının birbirlerinden ayrılmış durumunda bulunduğu gerçekleşmektedir. Bu sebeple, ilk aşama olan atomlaştırma esnasında numune, atomik bir gaz oluşturacak biçimde buharlaştırılmakta ve parçalanmaktadır. Bu nedenle yöntemin kesinlik, duyarlılık ve doğruluk gibi nitelikleri, büyük oranda atomlaştırma aşamasının verimliliği ve tekrarlanabilirliğine bağlıdır. Bu durumlar göz önüne alındığında atomlaştırma, atomik spektroskopide en önemli aşamadır. AAS cihazı, analiz edilecek elementin absorplayacağı ışığı yayılmasını sağlayan ışık kaynağı, örnek çözeltisinin atomik buhar haline getirildiği atomlaştırıcı, çalışılan dalga boyunu diğer dalga boylarından ayırıştırılmasını sağlayan monokromatör, numune kabı ve ışık şiddetinin ölçüldüğü dedektör kısımlarından oluşmaktadır (Kaya Dalcı, 2014).

Çizelge 3.2: Tez çalışmasında kullanılan bakır (Cu) metalinin AAS için ölçüm ve konsantrasyon şartları (Atay, 2009; APHA, AWWA, WEF, 1995)

Element	Dalga Boyu (nm)	Alev Gazları	Tanımlama Limiti (mg/L)	Duyarlılık (mg/L)	Optimum Konsantrasyon Aralığı (mg/L)
Cu	324,7	A-Ac	0,01	0,1	0,2-10

Metal analizi için standart çözeltilerin hazırlanması Ek-C’de verilmiştir. Sıvı ortamdaki ağır metal konsantrasyonlarının hesabında Eşitlik 3.2’den faydalanılmıştır (Atay, 2009; APHA, AWWA, WEF, 1995).

Sıvı numuneler için;

$$\text{Metal konsantrasyonu (mg/L)} = A \times \frac{B}{C} \quad (3.2)$$

A: Sindirilen çözeltideki metal konsantrasyonu (mg/L)

B: Sindirilen çözeltinin son hacmi (mL)

C: Örnek miktarı (mL)

Her bir deney fungus kolonisinin ortalama çoğalma hızı Eşitlik 3.3’teki gibi hesaplanmıştır (ISO, 1995; TS EN ISO, 2007).

$$\mu = \frac{\ln X_L - \ln X_0}{t_L - t_0} \quad (3.3)$$

μ : Çoğalma hızı

X_L : t_L zamanında ölçülen hücre yoğunluğu

X_0 : Başlangıçtaki hücre yoğunluğu

t_0 : Deney başlangıç zamanı

t_L : Deney bitiş zamanı

Bulunan ortalama μ değeri, Eşitlik 3.4 kullanılarak her bir deney grubu ölçmelerindeki engelleme yüzdesi (inhibisyon oranı) hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre fungusun durumu hakkında yorum yapılmaktadır (ISO, 1995; TS EN ISO, 2007).

$$I_{\mu i} = \frac{\mu_c - \mu_i}{\mu_c} \times 100 \quad (3.4)$$

$I_{\mu i}$: Deney derişimi “i” için engelleme yüzdesi (çoğalma hızı)

μ_i : Deney derişimi “i” için ortalama çoğalma hızı

μ_c : Kontrol için ortalama çoğalma hızı

Canlı bünyesine alınan metaller, canlı tarafından kullanılmakta, fazlası atılmakta veya bünyede depolanmaktadır. Adsorpsiyon kapasitesi $q_{\text{adsorpsiyon}}$ Eşitlik 3.5 ve absorpsiyon kapasitesi $q_{\text{absorpsiyon}}$ değerleri Eşitlik 3.6’ya göre hesaplanmaktadır mıştır (Say vd., 2001). Adsorpsiyon ve absorpsiyon kapasiteleri toplanarak biyosorpsiyon kapasitesi elde edilmektedir. Bu değerde biyobirikimi (BA) göstermektedir. BCF değerleri ise Eşitlik 3.7’deki gibi hesaplanmaktadır (APHA, AWWA, WEF, 1995).

$$q_{\text{ad.}} (\text{mg metal/g kuru organizma}) = \frac{V \times (C_0 - C_e)}{M} \quad (3.5)$$

V : Çözelti hacmi (L),

C_0 : Çözeltideki başlangıç kirletici konsantrasyonu (mg/L),

C_e : Çözeltideki son kirletici konsantrasyonu (Fraksiyon A+Fraksiyon C) (mg/L),

M : Adsorblayıcı madde miktarı (g)’dır.

$$q_{\text{ab.}} (\text{mg metal/g kuru organizma}) = \frac{V \times (C_0 - C_e)}{M} \quad (3.6)$$

V : Çözelti hacmi (L),

C_0 : Çözeltideki başlangıç kirletici konsantrasyonu (mg/L),

C_e : Çözeltideki son kirletici konsantrasyonu (Fraksiyon A+Fraksiyon B) (mg/L),

M : Adsorblayıcı madde miktarı (g)’dır.

$$\text{BCF} (\mu\text{g metal/g organizma fungus}) / (\mu\text{g/L}) = \frac{L}{N} \quad (3.7)$$

L : Organizmadaki kimyasal konsantrasyonu (mg metal/g kuru organizma)

N : Sıvıdaki kimyasal konsantrasyonu (mg/L)

Biyosorpsiyon yüzdeleri, adsorpsiyon ve absorpsiyonun toplamı olarak hesaplanmıştır. Fungusların adsorpsiyon (Eşitlik 3.8) ve absorpsiyon (Eşitlik 3.9) yüzdelerini hesaplamak için aşağıdaki eşitliklerden kullanılmıştır faydalanılmıştır (Albert vd, 2018):

$$\%ads = \frac{Q_{ads}}{Q_0} \quad (3.8)$$

$\%ads$: Adsorbe edilen metal yüzdesi (adsorpsiyon)

Q_{ads} : Fungusun hücre duvarına adsorplanan metal konsantrasyonu
(Fraksiyon B'deki metal miktarı)

Q_0 : Kültür ortamındaki metalin başlangıç konsatrasyonu

$$\%abs = \frac{Q_{abs}}{Q_0} \quad (3.9)$$

$\%abs$: Absorplanan metal yüzdesi (absorpsiyon)

Q_{abs} : Fungus içinde absorplanan metal konsantrasyonu
(Fraksiyon C'deki metal miktarı)

Q_0 : Kültür ortamındaki metalin başlangıç konsatrasyonu

Langmuir adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon işleminin adsorban yüzeyi üzerindeki belirli homojen adsorptif bölgelerde oluştuğunu varsayar ve bir tek tabaka oluşturmaktadır. Biyosorbentler üzerindeki adsorbe edilmiş iyonların tek tabakası ve maksimum adsorpsiyonu, adsorbe edilen moleküller, adsorban yüzeyinde doymuş bir tabaka oluşturduğunda meydana gelmektedir. Adsorbanların adsorptif bölgeleri enerjisel olarak özdeşmekte ve adsorbe edilmiş moleküller veya iyonlar arasında meydana gelen moleküller arası kuvvet, adsorbanların adsorptif yüzeyinden uzaklığı arttırılarak azaltılmaktadır. Bu kavram için, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi, incelenen biyosorbentler kullanılarak metal iyonlarının adsorpsiyon sürecini ve hangi adsorpsiyon izoterminin uygun olduğunu belirlemek için adsorpsiyon deney verileri kullanılmaktadır (Eşitlik 3.11) (Negm vd, 2018).

Langmuir İzoterm denklemi Eşitlik 3.10'da verilmiştir:

$$q = \frac{X}{M} = \frac{a \times b \times C}{1 + b \times C} \quad (3.10)$$

Burada;

$q = X/M$: Birim adsorblayıcı ağırlığı başına adsorblanan kirletici miktarı (mg/g),

M : Adsorblayıcı madde ağırlığı (g),

X : Adsorblanan kirletici miktarı (mg),

a : Birim adsorblayıcı ağırlığı başına tek sıralı filmde tutulan mol sayısı,

b : Sabit,

C : Adsorbsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu(mg/L), ifade etmektedir.

Katı yüzeyine adsorblanan ilk ve son adsorbat konsantrasyonları arasındaki fark olan “ q ” değeri, biyosorpsiyon kapasitesi olarak hesaplanan değerdir.

Eşitlik 3.10’un doğrusallaştırılması ile Eşitlik 3.11 elde edilmektedir.

$$\frac{C}{q} = \frac{C}{X/M} = \frac{1}{a \times b} + \frac{C}{a} \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11’ye göre C ’ye karşı C/q değerleri grafiğe geçirilerek a ve b adsorbsiyon sabitleri hesaplanmaktadır.

Freundlich izotermi, adsorpsiyon işleminin heterojen yüzeylerde gerçekleştiğini ve adsorpsiyon kapasitesinin, adsorbe edilmiş metal iyonlarının dengedeki konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu varsayan ampirik bir denklemdir. Freundlich izotermi, yüksek konsantrasyonlardaki metal iyonlarının adsorpsiyonunda uygun olmaktadır. Bununla birlikte, bu izoterm düşük konsantrasyon aralığı için uygun değildir. Freundlich izoterminde K_f Freundlich biyosorpsiyon sabitini, n Freundlich biyosorbent şiddetini ifade etmektedir (Eşitlik 3.13) (Negm vd, 2018).

Freundlich İzoterm denklemini Eşitlik 3.12’de verilmiştir:

$$q = \frac{X}{M} = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (3.12)$$

Burada;

K_f : Freundlich sabiti,

n : Sabit (>1)

C_e : Adsorbsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)’dur.

Sabitlerin bulunması için Eşitlik 3.12 doğrusallaştırılarak Eşitlik 3.13 elde edilmektedir (Bahadır, 2005).

$$\text{Log } q = \log \frac{X}{M} = \log K_f + \frac{1}{n} \log C \quad (3.13)$$

Freundlich bağıntısının doğrusallaştırılmış hali olan Eşitlik 3.13 dikkate alınarak $\log(X/M)$ 'i $\log C$ 'nin fonksiyonu olarak çizmek suretiyle izoterm sabitleri K_f ve n hesaplanmaktadır.

3.7. Sıvı Ortamda pH Ölçümü

Sıvı besiyerleri hazırlanıp sterilizasyon gerçekleştirildikten sonra ortam sıcaklığına (25-30°C) geldiği zaman pH, pH_0 olarak ölçülmüştür. Sıvı besiyerlerine ekim yapıldıktan sonra pH_1 , 25°C 150rpm'de 72 saat boyunca çalkalandıktan sonra pH_2 , ağır metal (Cu) eklendikten sonra pH_3 , 25°C 150rpm'de 96 saat boyunca çalkandığında 96 saat sonunda pH_4 ölçülmüştür.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İki ayrı fungus türü üzerinde bakırın (Cu) adsorplama kapasitesi ve etkilerini belirlemek için laboratuvar ölçekli deneyler yapılmıştır. Üredikleri ortamda *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* funguslarının büyümelerine etki eden pH değerleri değerlendirilmiş ve büyümelerinin bir ifadesi olan çoğalma hızları (μ) Eşitlik 3.3'e göre, metalin toksik etki yapıp yapmadığını anlamamızda yardımcı olan engelleme yüzdesi Eşitlik 3.4'e göre hesaplanmıştır.

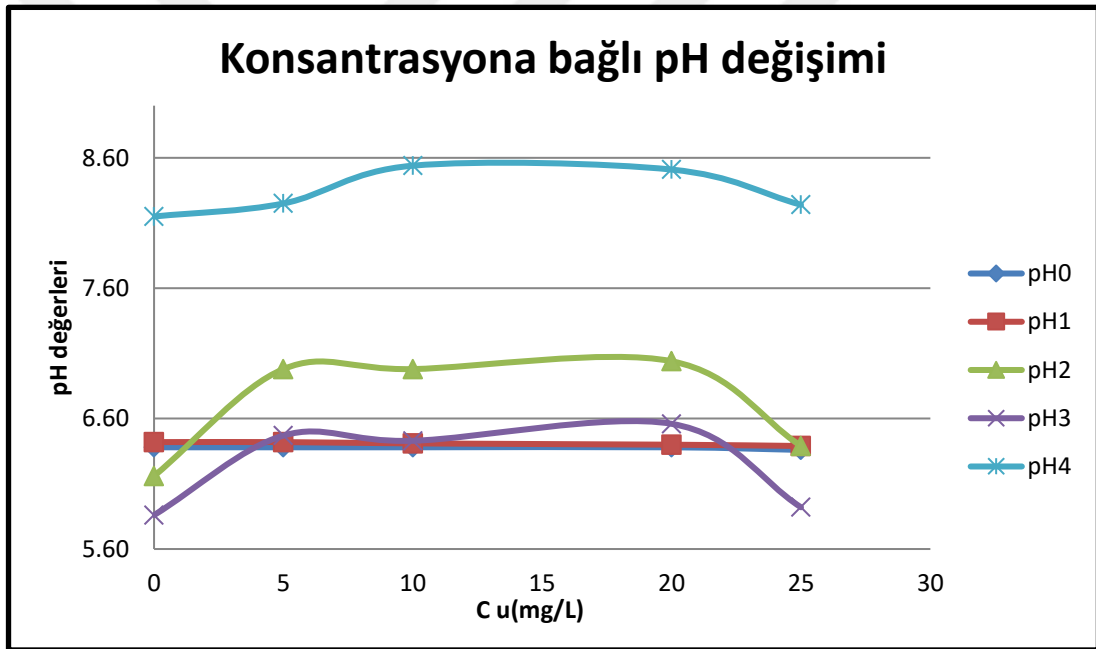
Fusarium lateritium ve *Fusarium verticillioides* funguslarının 72 saat üremeleri gözlemlendikten sonra bakır metali eklenerek 96 saat maruz bırakılması sonunda bünyelerinde biriken metal konsantrasyonunun (BA) belirlenmesinde q_{ad} . Eşitliği 3.5 ve q_{ab} . Eşitlik 3.6 toplamı, biyokonsantrasyon faktörünün (BCF) belirlenmesinde ise Eşitlik 3.7 kullanılmıştır. Adsorpsiyon yüzdesi için Eşitlik 3.8, absorpsiyon yüzdesi için Eşitlik 3.9'dan faydalanılmış ve ikisi toplanarak biyosorpsiyon yüzdeleri hesaplanmıştır.

Langmuir izotermelerinin hesaplanması için Eşitlik 3.11'e göre C'ye karşı C/q değerleri grafiğe geçirilerek a ve b adsorbsiyon sabitleri bulunmuştur. Freundlich izotermeleri için ise Eşitlik 3.13 kullanılarak $\log(X/M)$ 'i $\log C$ 'nin fonksiyonu olarak çizmek suretiyle izoterm sabitleri K_f ve n hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* funguslarının bakır metaline karşı verdiği tepkiyi ve adsorplamada kullanımının uygun olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir.

4.1. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Bakıra Maruz Kalması

4.1.1. Ortamdaki *Fusarium Lateritium* Fungusunun Çoğalmasındaki pH Değişimi

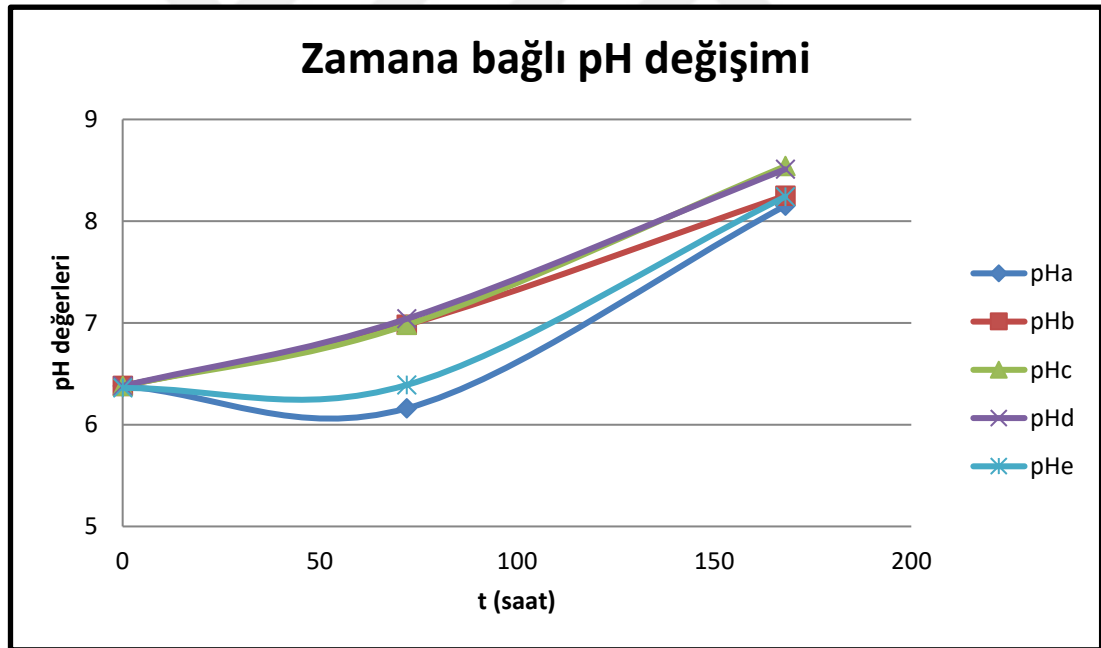
Mikroorganizmaların büyümelerini etkileyen faktörler arasında yer alan pH açısından bakıldığında, sterilizasyon sağlandıktan sonra ortamın başlangıçtaki ortalama pH'ı 6,38 iken, ekim yapıldıktan sonra ortalama pH'ı 6,41 olarak önemli derecede artış olmadığını gözlenmiştir. *Fusarium lateritium* fungusu 72 saat üremesi gerçekleştiikten sonra ortalama pH'ı 6,71'e yükselmiş, ağır metal eklendiğinde ise ortalama pH'ı 6,25 değerine düşmüştür. 96 saat metale maruz kalma sonunda ise ortalama pH'ı 8,34 değerine kadar yükselmiştir (Şekil 4.1- Şekil 4.2).



Şekil 4.1: *Fusarium lateritium*'un konsantrasyona bağlı pH ölçümleri sırasıyla; sterilizasyon sonrası pH₀; ekim yapıldıktan sonra pH₁; 72 saat sonunda pH₂; ağır metal eklendikten sonra pH₃; 96 saat maruziyet sonundaki pH₄ değerleri

Ortama bakır eklendiğinde pH değerlerinde düşüş ve maruziyet sonundaki yükselmeler biyolojik aktivitelerin ortam pH'ını etkilediğini göstermektedir. Fungusların 96 saatlik maruziyet sonunda pH'ın kontrol değerine yakın olması metalik stresin olmadığı veya düşük olduğu anlamına gelmektedir (pH:8,15-8,54). Fungus hücre duvarları, hücre duvarlarının karboksil ve fosfat gruplarının düzenlenmesi nedeniyle negatif bir yüke sahiptir. Fungusların hücre duvarındaki

fosfat içeren teikoik asit öncelikle metal bağlanmasından sorumludur. Düşük pH değerindeki çözeltilerde ortamda bulunan yüksek orandaki protonlar ile metal iyonları biyosorbent üzerindeki etkin gruplara bağlanmaya çalışmakta ve bu da hücre-metal arasındaki etkileşimini azaltmaktadır. Buna karşın çözeltinin pH değeri arttıkça protonların azalması ile metal iyonları biyosorbent üzerindeki etkin gruplara daha fazla bağlanabileceklerdir. Bu durum pH'daki artış ile metal bağlanma bölgelerinin proton giderme nedeniyle hücre yüzeyindeki negatif yük yoğunluğu artmasıyla birlikte biyosorpsiyonda arttığını göstermektedir. Ancak pH değeri arttıkça ortamdaki OH⁻ iyon konsantrasyonu da artmaktadır. Dolayısıyla Cu²⁺ iyonları çökme riskini ortaya çıkarmakta ve biyosorpsiyon oranının azalmasına neden olabilmektedir. Delgado vd. (1998) yapmış olduğu çalışmada pH 6,00'da bakır konsantrasyonlarının 60 mg/L'den yüksek olduğunda bakırın kuprik hidroksit [Cu(OH)₂] olarak çökelebileceğine dikkat çekmiştir (Albert vd, 2018; Çabuk vd, 2007; Delgado vd, 1998; Say vd, 2001).



Şekil 4.2: *Fusarium lateritium*'un zamana bağlı pH değerleri sırasıyla; 0mg/L'deki pHa; 5mg/L'deki pHb; 10mg/L'deki pHc; 20mg/L'deki pHd; 25mg/L'deki pHe.

Yapılan çalışmada ise en yüksek konsantrasyonun 25 mg/L olduğunda çökmenin gerçekleşmediği tahmin edilmektedir. *Fusarium lateritium* fungusunda pH'ın 6-9 arasında olduğu ortamın pH'ının gittikçe yükseldiği gözlenmiştir. *Fusarium flocciferum* ile yapılan biyosorpsiyon çalışması bu durumu

desteklemektedir. Diğer çalışmalarda ise pH'ın 2-7 aralığında olduğu ve düşük kaldığı görülmüştür (Albert vd, 2018; Bahadır, 2005; Delgado vd, 1998; Simonescu ve Ferdeş, 2012).

Delgado vd. (1998) *Fusarium flocciferum* ile biyosorpsiyon çalışmasında, 4'ten düşük pH değerlerinde en düşük bakır sorpsiyon seviyeleri ve pH artışı ile bakır biyosorpsiyonunda bir artış eğilimi gözlemlemişlerdir. Optimal değerleri pH 7,5-8,0 aralığında elde etmişlerdir. Bahadır (2005) kurşun(II) iyonunun, *Rhizopus arrhizus* fungusu kullanılarak biyosorpsiyon kapasitesinin pH 2,5-3,0'den itibaren giderek arttığını ve pH 4,5'da maksimuma ulaştığını gözlemlemiştir. Simonescu ve Ferdeş (2012)'in yapmış olduğu atıksulardan bakırın uzaklaştırılmasında kullandığı beş farklı fungustan biri olan *Fusarium oxysporum* fungusunun bakırı maksimum absorplaması pH 5'te gerçekleştiğini bulmuşlardır. Albert vd. (2018) yapmış olduğu çalışmada, kontrol ortamının pH'ı (metalsiz ve miselyumsuz) deney boyunca stabil olduğunu 5,4'te kaldığını; deney sırasında miselyum ile kontrol ortamının pH'ının 5,4'ten 3,6'ya düştüğünü görmüşlerdir. 5,4'ten 4,2'ye benzer bir pH azalması, sırasıyla 50 ve 100mg/L'de Cd'ye 3 gün maruz kaldıktan sonra gözlemlemiştir. Her iki konsantrasyonda da 7 gün sonunda Cd'ye maruz kaldıktan sonra daha güçlü bir pH azalması görmüşlerdir (5,4'ten 2,0'dan daha azına). Cu, 50mg/L'de 3 gün sonra 5,4'ten 3,7'e küçük bir düşüşe neden olmuştur. Son olarak, Pb maruziyetinden sonra, her test koşulu altında 5,4'ten 2,0 veya daha azına kadar önemli bir azalma gözlemlemiştir. pH üzerinde maruz kalma süresinin ve konsantrasyonun etkili bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır.

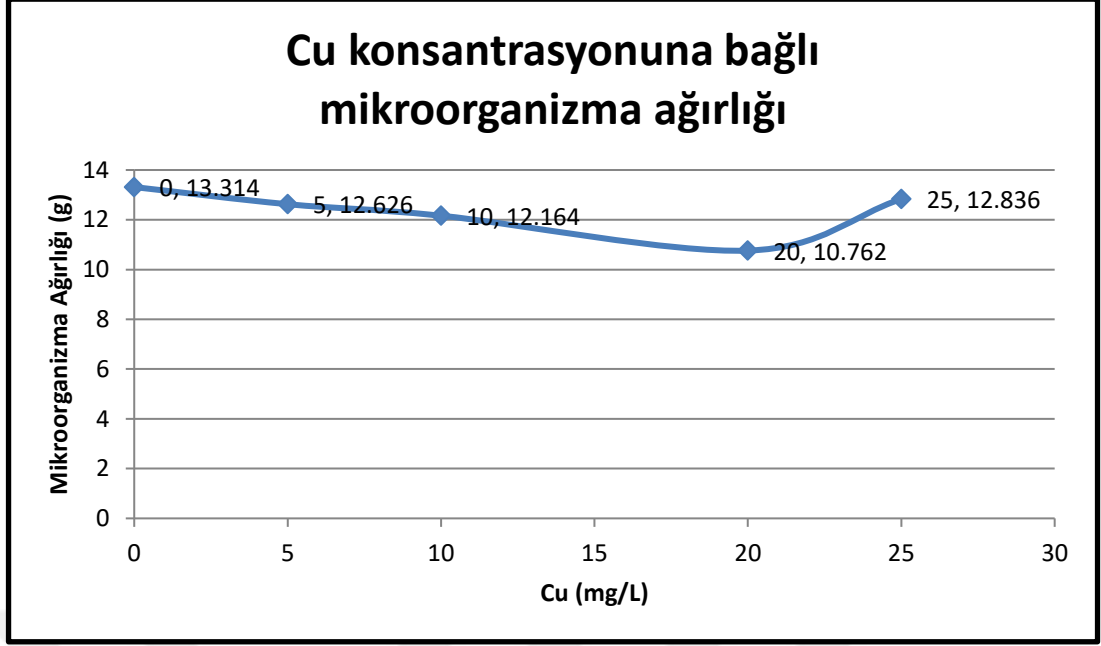
4.1.2. Ortamdaki *Fusarium Lateritium* Fungusunun Üremesi

Başlangıç miktarı 0,0825 g olan fungusun 168 saat sonunda katı besiyerindeki mikroorganizma miktarlarındaki değişim Şekil 4.3'deki gibidir. Mikroorganizma üremesinde, zamanla orantılı olarak çap boylarında artış gözlenmiştir.



Şekil 4.3: *Fusarium lateritium* fungusunun büyümesinin katı besiyerindeki mikroorganizma çaplarının zamana karşı lineer grafiği

Farklı metal konsantrasyonlarına bağlı sıvı besiyerlerinde mikroorganizma kütlesindeki değişim Şekil 4.4'te verilmiştir. *Fusarium lateritium* fungusunun hiç metal eklemeyen 168 saat boyunca bulunduğu ortamdaki ağırlığı 13,314 g'dır. Ortama 5 mg/L Cu eklendiğinde fungusun ağırlığı 12,626 g, 10 mg/L Cu eklendiğinde ise 12,164 gr olmuştur. En fazla etkileşim 20 mg/L Cu eklendiğinde 10,762 g olarak ve en az etkileşim 25 mg/L eklendiğinde 12,836 g olarak gözlenmiştir. Hiç metal eklenmeyen fungusa kıyasla, eklenen bakır konsantrasyonlarında fungusun üremesinin çok az etkilendiği gözlemlenmiştir. Organizma metali önce biyoyaralanım yapmış sonra bakır konsantrasyonunun artışı ile organizmaya alınımı yavaşlamıştır.



Şekil 4.4: Farklı Cu konsantrasyonlarına karşı sıvı besiyerlerindeki *Fusarium lateritium* fungusunun ağırlığının değişimi

Pan vd. (2009), mikrobiyal biyokütlenin, çeşitli metal iyonlarını sulu çözeltilerden uzaklaştırıp konsantre edebileceğini ve ağır metallerin fungus büyümesi üzerinde önemli engelleyici etkileri olduğunu belirlemişlerdir. Simonescu ve Ferdeş'in (2012) yapmış oldukları çalışmada *Fusarium oxisporum* MUCL 791 fungusunun 0-5-25-50-75-100 mg/L bakır konsantrasyonlarına maruz kalması sonucunda sırasıyla 25,04-20,10-15,24-12,75-11,45 g biyokütle miktarları bulunmuş ve artan konsantrasyon ile biyokütle miktarlarında azalma gözlenmiştir.

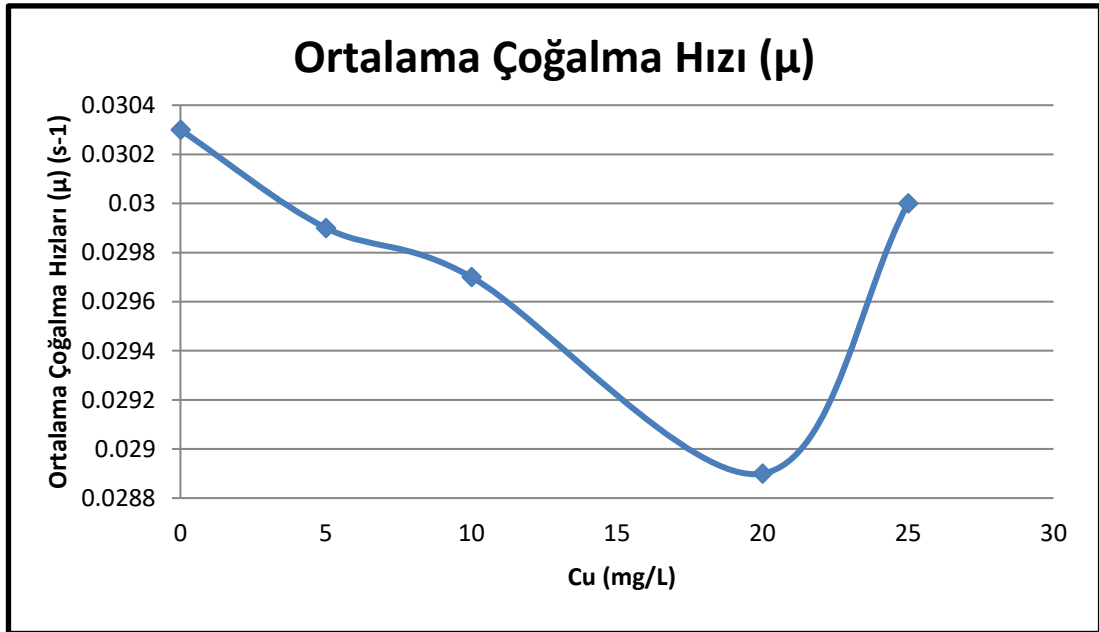
4.1.3. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Çoğalma Hızı ve Engelleme Yüzdesi

Besiyeri ortamında *Fusarium lateritium* fungusunun bakıra 168 saat maruz kalması sonunda çoğalma hızı Eşitlik 3.3'e ve engelleme yüzdesi Eşitlik 3.4'e göre hesaplanmış, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Besiyeri ortamında *Fusarium lateritium* fungusunun bakıra 96 saat maruz kalması sonunda ortalama çoğalma hızları ve engelleme yüzdesi

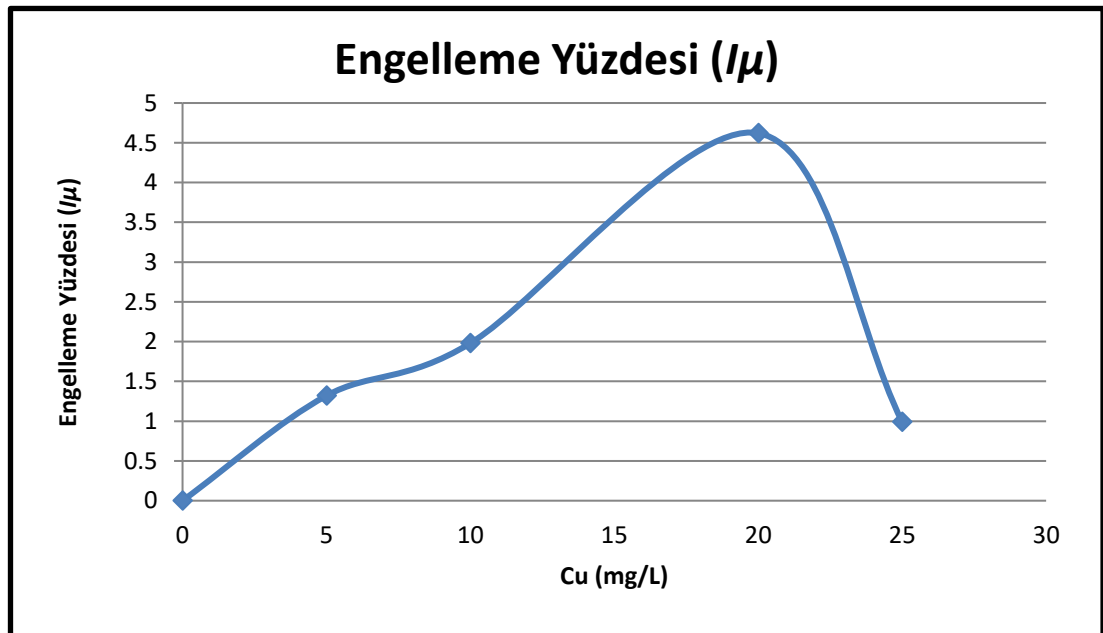
Cu Konsantrasyon (mg/L)	Ortalama Çoğalma Hızı (μ) (s^{-1})	Engelleme Yüzdesi (I μ)
Kontrol	0,0303	Metal Uygulanmadı.
5	0,0299	1,3201
10	0,0297	1,9801
20	0,0289	4,6204
25	0,0300	0,9900

Fusarium lateritium fungusunun 5 mg/L'lik bakıra 96 s maruz kalma sonunda ortalama çoğalma hızı (μ), 0,0299 s^{-1} olarak bulunmuştur. Kontrol numune ile karşılaştırıldığında 5-10-20 mg/L'de çoğalma hızlarının giderek azaldığı gözlenmiştir. 25 mg/L Cu konsantrasyonunda ise çoğalma hızının diğer konsantrasyonlara oranla yüksek olduğu ve kontrol numune ile karşılaştırıldığında yine düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.5). Ortalama çoğalma hızlarını sıfırdan büyük bulurak çoğalmanın engellenemediği, değerlerin birbirine çok yakın olduğu, çoğalmanın neredeyse sabit olduğu ve adaptasyonun sağlandığı görülmektedir. Bu da *Fusarium lateritium* fungusunun engelleme yüzdeleriyle desteklenmektedir.



Şekil 4.5: *Fusarium lateritium* 'un farklı konsantrasyonlarındaki çoğalma hızları

Ortamdaki fungusun Cu'nun toksik etki yapıp yapmadığının bir ifadesi olan engelleme yüzdesi ($I\mu$), yani inhibisyon oranları ($I\mu$) < 1 olduğunda çoğalmanın devam ettiğini, toksik etkinin oluşmadığını göstermektedir. *Fusarium lateritium* funguslarına bakıldığında, sadece 25 mg/L'lik Cu konsantrasyonunda 1'den küçük, 0,99 olarak bulunmuştur (Şekil 4.6). Bu da inhibisyonun tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. Diğer 5-10 mg/L'lik konsantrasyonlarda inhibisyonun çok az (%1-2) olduğu, 20 mg/L konsantrasyonda ise % 5 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Metallerin toksik oldukları konsantrasyon değerleri, ilgili iyonların bağlı miktarlarına, şelasyon özelliği gösteren organik bileşiklerin ortamda bulunmasına ve ortam pH'sına bağlı olarak değişmektedir. Çok sayıda etken bulunması nedeniyle toksisitenin veya toksik etkinin olduğu konsantrasyon değerinin tahmin edilmesi mümkün olmamaktadır. Toksik etkiye sahip bir maddenin yüksek oranlarda tolare edilebilmesi, ortama verilen toksik maddeye karşı mikroorganizmada hücre geçirgenliğinin azaltılması, toksik maddeyi mikroorganizmalar tarafından etkisiz hale getiren kimyasal maddelerin salgılanması veya bu toksik maddeye daha az duyarlı alternatif enzim sistemlerinin geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Bazı durumlarda, bazı organizmaların toksik maddelere karşı direnç göstermesinin nedeni, toksik maddenin organizmaların genellikle etkisiz hale getirdiği veya parçaladığı bir kimyasal maddeye benzemesinden kaynaklanmaktadır (Köse, 2006).



Şekil 4.6: *Fusarium lateritium* 'un farklı konsantrasyonlarındaki engelleme yüzdeleri

Yalçın vd. (2009) yapmış olduğu çalışmada biyosüpfektanların antifungal aktiviteleri *Fusarium* cinsine ait türler ile incelemiştir. Test edilen biyosüpfektan örneklerinin hiçbirinde tam bir inhibisyon sağlanmamıştır. Test edilen küfler için en yüksek inhibisyon oranı %73 ile BS-I biyosüpfektanında elde edilmiştir. Her bir biyosüpfektan ile *Fusarium* türlerinin inhibisyonu açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir ve %27-%73 aralığında misel inhibisyonu gözlenmiştir. Bu çalışma ile biyosüpfektanların *Fusarium* türü bitki patojenlerine karşı antifungal aktivite sergiledikleri ve tarımsal uygulamalarda *Fusarium* türlerine karşı doğal bir pestisit olarak kullanılabılme potansiyeli taşıdığını belirlemişlerdir.

4.1.4. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Adsorpsiyon ve Absorpsiyon Kapasiteleri

Yapılan çalışmada 96 saat maruziyet sonunda Fraksiyon A, Fraksiyon B ve Fraksiyon C'deki metal konsantrasyonları AAS de ölçülmüş, Eşitlik 3.2-3.5-3.6'e göre hesaplanmış ve fungusun metal konsantrasyonları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: *Fusarium lateritium* 'un farklı Cu konsantrasyonlarına bağlı değişimi

Metal Konsantrasyon (mg/L)	0	5	10	20	25
Fraksiyon A (mg/L)	-	1,4333	2,8206	5,0652	11,8220
Fraksiyon B (mg/g)	-	0,000368	0,000209	0,005640	0,007833
Fraksiyon C (mg/g)	-	0,011049	0,022550	0,054957	0,043662

Fungusun biyosorpsiyon kapasitelerini belirlemek için adsorpsiyon ($q_{ad.}$) kapasiteleri Eşitlik 3.5'e göre ve absorpsiyon ($q_{ab.}$) kapasiteleri Eşitlik 3.6'ya göre hesaplanmış, Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3: *Fusarium lateritium* 'un farklı Cu konsantrasyonlarındaki $q_{ad.}$ ve q_{ab} değerleri

Verilen Metal Konsantrasyonu (mg/L)	Kuru Fungus Ağırlık (g)	Yaş Fungus Ağırlık (g)	$q_{adsorpsiyon}$ ($\mu g/g$)	$q_{absorpsiyon}$ ($\mu g/g$)
Kontrol	13,314	15,744	-	-
5	12,626	14,276	0.368	11,049
10	12,164	13,727	2,096	22,550
20	10,762	12,639	5,640	54,957
25	12,836	15,041	7,833	43,663

4.1.5. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Verimi

Yapılan çalışmada absorpsiyon, adsorpsiyon yüzdeleri toplanarak biyosorpsiyon yüzdeleri hesaplanmış ve Çizelge 4.4'te, çizilen grafik Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

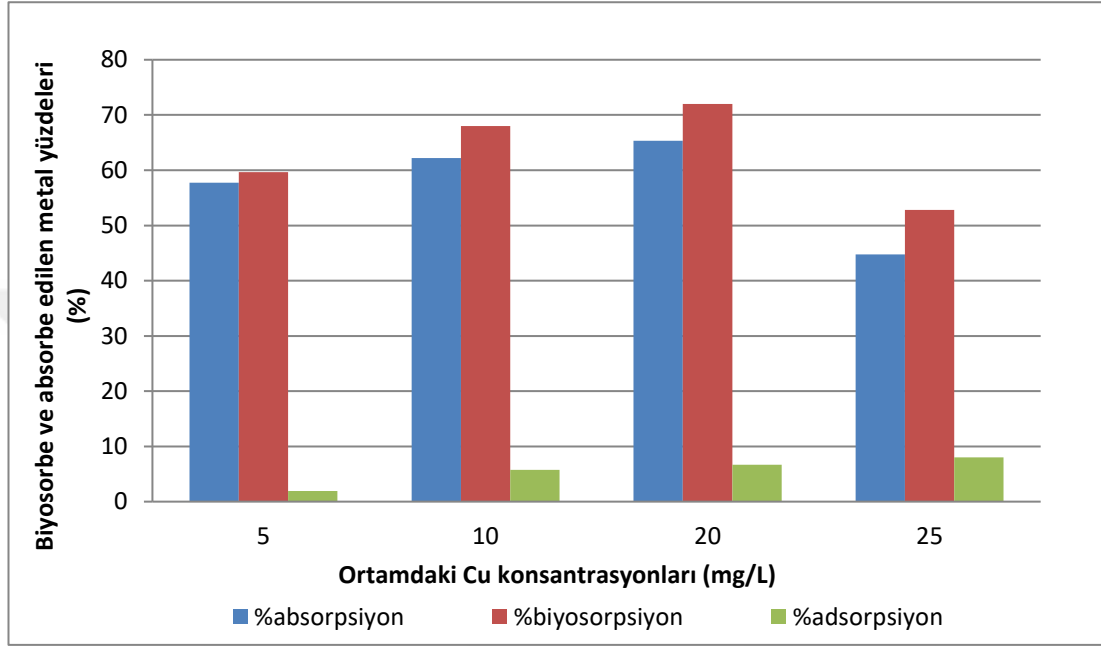
Çizelge 4.4: *Fusarium lateritium* fungusunun absorpsiyon, adsorpsiyon, biyosorpsiyon yüzdeleri

Cu Konsantrasyon (mg/L)	% absorpsiyon	% adsorpsiyon	% biyosorpsiyon
5	64,65	2,15	66,80
10	62,22	5,78	68,00
20	65,32	6,70	72,02
25	44,76	8,03	52,79

Metallere karşı yüzde absorpsiyon değerlerimiz %45-65 arasında değişirken, adsorpsiyon değerlerimiz %2-8 arasında değişmektedir. Absorpsiyon değerleri adsorpsiyon değerlerine göre çok yüksek bulunmuştur. Albert vd. (2018) ise, adsorpsiyonu absorpsiyondan daha fazla bulmuşlardır (Örneğin, absorpsiyon 50 mg/L'de 7 gün sonra sadece % 5; adsorpsiyon ise %15). Burada, biyokütle üretimi

tüm koşullar altında maksimuma (kontrolün% 100'ü) ulaşmış, bu nedenle en uzun maruziyet süresinden sonra maksimum biyosorpsiyona ulaşmışlardır.

Biyosorpsiyon değerleri ise % 52-72 arasındadır. En yüksek giderim 20 mg/L'de %72,02 olarak bulunmuştur. Konsantrasyon arttıkça biyosorpsiyon verimi giderek artmıştır(5-10-20 mg/L).



Şekil 4.7: Metal maruziyetinden sonra fungus biyosorpsiyonu, absorpsiyon ve adsorpsiyon yüzdeleri

Nuhoğlu vd. (2002), *Ulothrix zonata* ile çözeltilerden Cu^{2+} iyonlarını uzaklaştırmak için yapmış oldukları çalışmada başlangıç konsantrasyonundaki artış ile biyosorpsiyon kapasitesindeki artışı metal iyonları ve biyokütlenin birbirleri ile temasının daha fazla olabileceği şeklinde açıklamışlardır. Ayrıca literatürde yer alan pek çok çalışmada biyosorpsiyon kapasitesi ile başlangıç konsantrasyonunun direkt ilişkisi olduğu belirtilmiştir (Bahadır, 2005). Albert vd. (2018)'nin yapmış olduğu çalışmada, 50mg/L ve 100 mg/L Cu'ya 3 günlük maruziyete karşın 7 günlük maruziyette daha yüksek verim gözlemlenmiştir. En yüksek biyosorpsiyon yüzdeleri 7 gün sonra sırasıyla % 20 ve % 19 elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada (5-25 mg/L metal konsantrasyonlarında) verimlilik gittikçe artarken Albert vd. tarafından yapılan 50-100 mg/L metal maruziyetlerinde verimliliğin düştüğü gözlemlenmiştir.

4.1.6. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Biyobirikim ve Biyokonsantrasyon Faktörleri

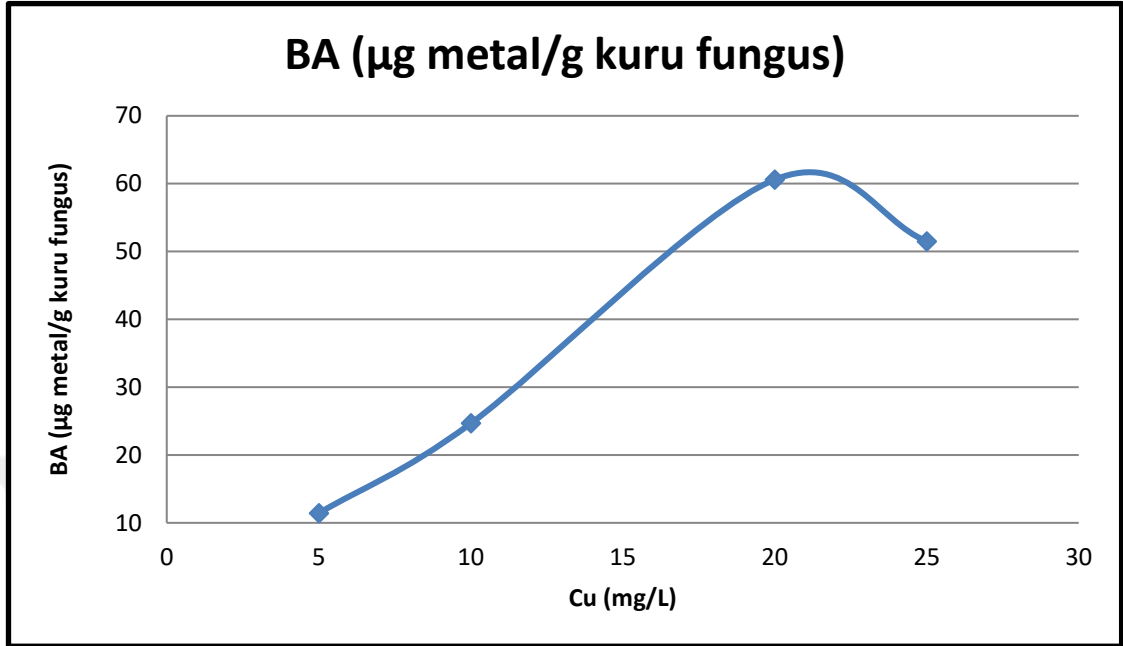
Belirli konsantrasyonlarda bakırın *Fusarium lateritium* fungus türünde 96 saat sonunda metal alım miktarına bakılarak biyobirikim (BA), Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'dan elde edilen veriler toplanarak biyosorpsiyon kapasitesi olarak hesaplanmıştır. Biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ise Eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5: *Fusarium lateritium* Fungusunun Bakıra 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA, BCF değerleri

Cu Konsantrasyon (mg/L)	Biyobirikim Faktörü (BA) (μg metal/g kuru fungus)	Biyokonsantrasyon Faktörü (BCF)
5	11,417	0,007969
10	24,646	0,008738
20	60,597	0,011963
25	51,496	0,004356

Bakırın *Fusarium lateritium* fungusunda oluşturduğu toksik etkilerin değerlendirilmesi için BA ve BCF değerleri kullanılmıştır. *Fusarium lateritium* fungusunun bünyesinde 5 mg/L'lik bakır konsantrasyona 96 saat maruziyeti sonunda BA 11,417 μg metal/g kuru fungus'dur. 10 mg/L'lik bakır konsantrasyona 96 saat maruziyeti sonunda 24,646 μg metal/g kuru fungus'dur. Düzenli bir artış olmuş, 20 mg/L'lik Cu konsantrasyonunda 96 saat maruz kalma sonunda en yüksek birikime 60,597 μg metal/g kuru fungus'a ulaşılmıştır. 25 mg/L'de Cu ise 51,496 μg metal/g kuru fungus olarak düşüş yaşanmıştır (Çizelge 4.5-Şekil 4.8). Konsantrasyon arttıkça *Fusarium lateritium* fungusunun ortamdaki Cu'yu bünyesine sorplamasının arttığı gözlenmiştir. Mikroorganizmaların metali alımı; hızlı (pasif) alım ve yavaş (aktif) alım olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir. Pasif alımda metal iyonları hücre yüzeyine tutunmakta, aktif alımda ise metal iyonları hücre zarını geçerek stoplazmaya ya da organellere taşınmaktadır. 25 mg/L'deki düşüş fungusun hücreindeki dengenin sağlandığını ve bünyesine metal alımının yavaşladığını

göstermektedir. Biyosorpsiyonun iki aşamalı bir davranış göstermesi biyokütlenin heterojen yapısına bağlı olabilmektedir (Demirel vd., 2011).

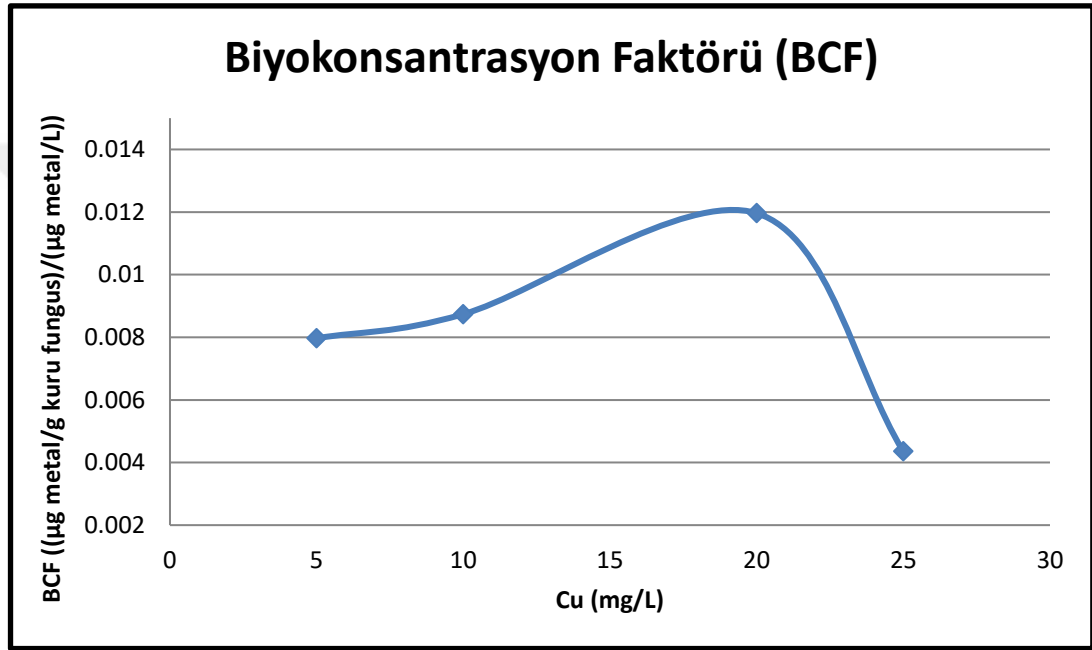


Şekil 4.8: *Fusarium lateritium* Fungusunun Farklı Konsantrasyonlara 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA Değişimi

BCF değerlerine baktığımızda (Çizelge 4.5-Şekil 4.9), *Fusarium lateritium* fungusu 5 mg/L'lik Cu'ya 96 saat maruz kalması sonunda 0,007969'dur. BCF değeri metal konsantrasyonu 20 mg/L'ye kadar artarak devam etmiştir. En yüksek BCF değerine 20 mg/L'lik Cu'ya maruz kalması sonucunda 0,011963 değerine ulaşılmıştır. 25 mg/L'lik Cu maruziyet sonunda ise 0,004356 BCF değerine kadar düşüş yaşanmıştır.

Ortama verilen bakır konsantrasyonu arttıkça 96 s'de *Fusarium lateritium* fungusunun BA değerlerinde ve buna paralel olarak da BCF değerlerinde 20 mg/L'ye kadar düzenli bir artış olmuştur. Böylece konsantrasyon arttıkça, *Fusarium lateritium* fungusu ortamdaki Cu'yu bünyesine alımının arttığı görülmektedir. Kimyasallar, yüksek konsantrasyonda bulundukları ortamlardan düşük konsantrasyona sahip oldukları ortamlara geçmeye, diffüze olmaya ve hareket etmeye eğilimlidirler. Yüksek metal iyonu konsantrasyonunda, iyonların emilimi, daha fazla bağlanma bölgesinin etkileşim için serbest olduğu düşük konsantrasyondan daha fazladır (Atay, 2009; Iram vd, 2015; Özkoç ve Tosun, 1999).

Organizmalar bulunduğu ortamda çözülmüş halde bulunan metali sürekli olarak bünyelerine almakta ve biriktirmektedir. Daha sonra kullanmak üzere depolamakta ve kalan miktarını ise atmaktadır. Hücre içine alım devam ettikçe metal konsantrasyonu açısından hücre içindeki ve hücre dışındaki ortam arasında bir denge gerçekleşecektir. Bu denge gerçekleştiğinde hücrel membrandan içeri metal alım hızı azalmaktadır. Organizmanın biyolojik olarak konsantre edebilme kabiliyeti (BCF) diğer bir ifadeyle hücre zarındaki gözeneklerden metali bünyesine süzerek alması azalmaktadır (Atay, 2009; Taylan 2005)



Şekil 4.9: *Fusarium lateritium* Fungusunun Farklı Konsantrasyonlara 96 saat Maruz Kalması Sonunda BCF Değişimi

Demirel vd. (2011), Küçükçekmece Gölü'nden, ötrofikasyon döneminde alınan su örneklerinden izole edilen *Synechocystis* sp. E35 izolatu ile Cu ve Zn metallerinin biyosorpsiyonu ve biyobirikimi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Biyosorpsiyon/biyobirikim çalışmalarında 1 ve 4 mg/L Cu-Zn içeren bimetalik metal çözeltilerini kullanmış, pasif ve aktif alım şeklinde metal gideriminin gerçekleştiği gözlemlemişlerdir. Çözeltideki metal konsantrasyonlarının yaklaşık 120. dakikadan itibaren azalırken, hücre yüzeyine tutunan metal konsantrasyonunun ise arttığını tespit etmişlerdir. Hücre içine alınan metal konsantrasyonunun 0,021 mmol/l'ye kadar yükseldiğini bulmuşlardır. Iram vd. (2015) ağır metal dirençli fungus izolatları ile Cu ve Pb biyosorpsiyon ve biyobirikimi çalışmasında, başlangıç konsantrasyonu 200-1400 mg/L olan *Aspergillus flavus*'un biyosorpsiyon kapasitesi, 20,75–93,65

mg/g olarak bulmuşlardır. Öte yandan *Aspergillus niger*'in Pb için biyosorpsiyon kapasitesi, yukarıda belirtilen başlangıç metal konsantrasyonu aralığı ile birlikte 3,25 ila 172,25 mg/g arasında değişmektedir. Sulu ortamda metal iyonu konsantrasyonu arttıkça emme kapasitesinin arttığını ve doygunluk değerine ulaştığını gözlemlemişlerdir.

Albert vd. (2018), Pb metaline 3 gün maruziyet sonunda BA değeri 50 mg/L'de maksimum 13 µg/mg ve 100 mg/L'de 17 µg/mg değerine ulaşırken, Cd konsantrasyonları sırasıyla 50 ve 100 mg/L'de 7 ve 9 µg/mg olarak bulmuşlardır. Cu maruziyetinden sonra ise en düşük BA değerlerine sırasıyla 50 mg/L'de 2 µg/mg'a ve 100 mg/L'de 4 µg/mg'a ulaşmışlardır.

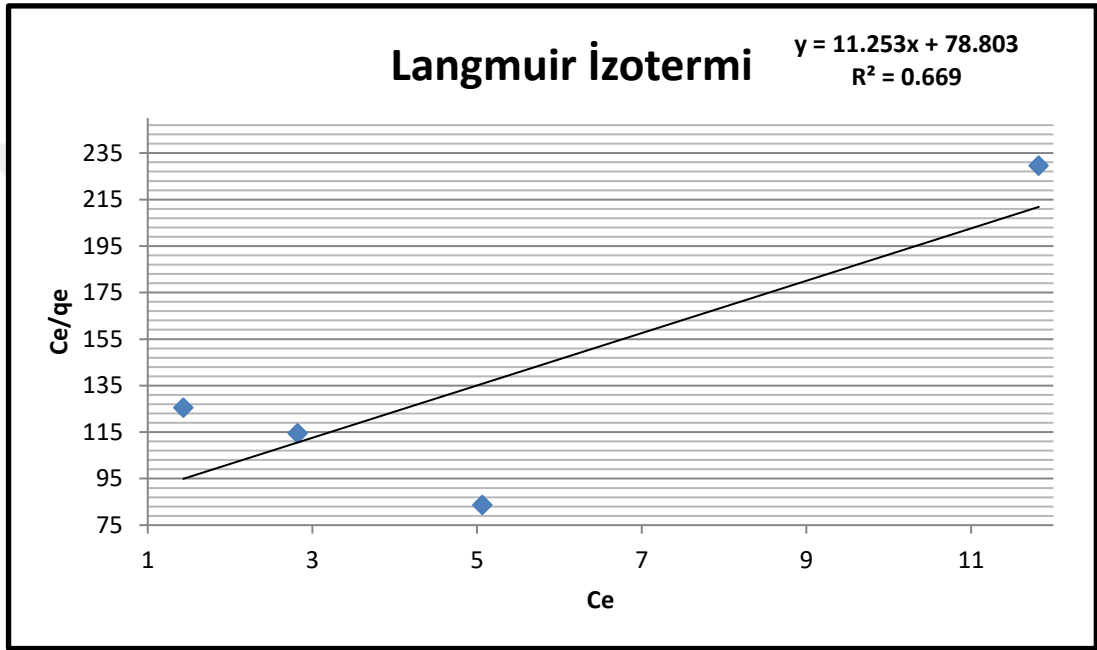
4.1.7. *Fusarium Lateritium* Fungusunun Adsorpsiyon İzotermi

Birçok adsorbsiyon izoterm modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada en yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich adsorbsiyon izotermi için çizilen grafikler Şekil 4.10 - Şekil 4.11'de ve adsorpsiyon parametreleri Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4. 6: *Fusarium lateritium* fungusunun adsorpsiyon parametreleri

	Langmuir İzotermi				Freundlich İzotermi	
C ₀ (mg/L)	C _e (Frak. A) (mg/L)	q _e (mg/g)	X (mg)	C _e /q _e	Log q _e	Log C _e
0	-	-	-	-	-	-
5	1,4326	0,011417	0,14415	125,4806	-1,942452	0,156125
10	2,8206	0,024646	0,29972	114,4724	-1,608247	0,450341
20	5,0652	0,060597	0,65214	83,5877	-1,217546	0,704596
25	11,822	0,051496	0,66092	229,572	-1,288229	1,072690

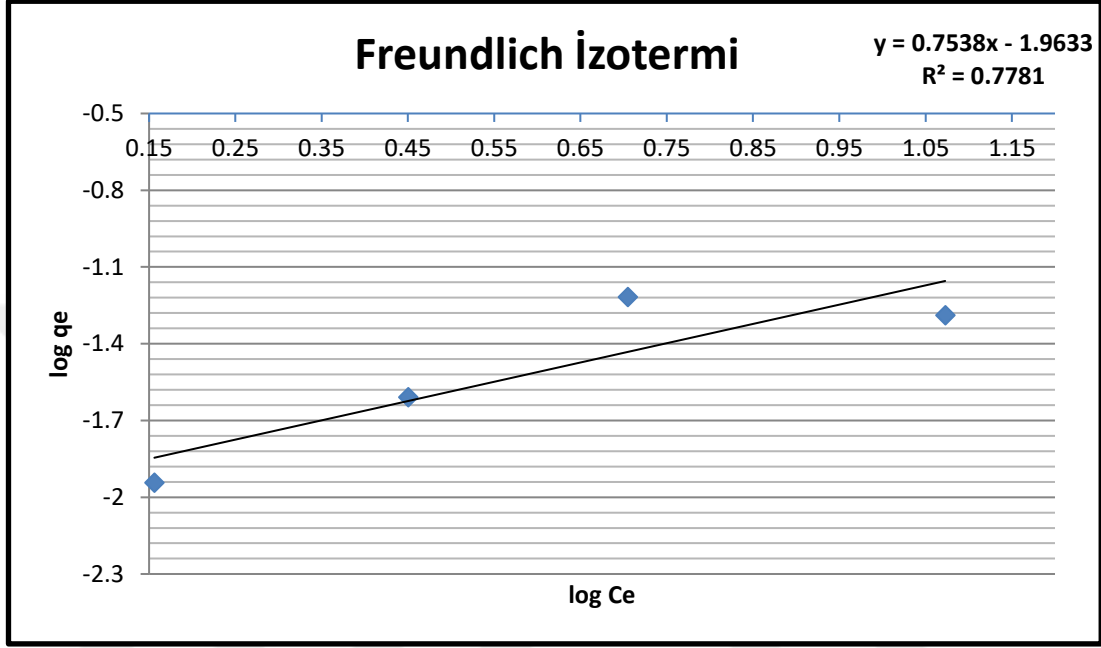
Langmuir izoterminde a ve b biyosorbent sabitleri olarak, a sabiti maksimum adsorpsiyon kapasitesini, b sabiti ise tutan ve tutulan madde arasındaki ilişkiyi anlatmaktadır. İzoterm sabitlerinin bulunması için eğrisel denklem lineerleştirilerek, Langmuir izoterm grafiği C_e 'ye karşı C_e/q_e grafiği çizilmiştir (Şekil 4.10). Çizilen grafikte lineer olarak çizilen doğrunun eğimi $1/a$ değerini vermekte, buradan a değeri 0,088865 olarak hesaplanmıştır. Lineer çizilen doğrunun y eksenini kestiği nokta ise $1/ab$ değerini vermekte, buradan da b değeri 0,142799 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). Korelasyon katsayısı ise 0,669 olarak bulunmuştur (İleri ve Çakır, 2006).



Şekil 4.10: *Fusarium lateritium* Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Langmuir İzotermi

İzoterm sabitlerinin bulunması için eğrisel denklem doğrusallaştırılarak, izoterm grafiği $\text{Log}C_e$ 'ye karşı $\text{Log}q_e$ grafiği çizilmiştir (Şekil 4.11). Çizilen grafikte doğrunun eğimi $1/n$ değerini vermektedir. Bu değer 0.7538 olarak bulunmuştur. Sıfıra yaklaştıkça yüzeyin heterojenlik seviyesi artmaktadır. Buradan da n değeri 1,326612 olarak hesaplanmıştır. Li vd. (2018), Freundlich sabiti $1/n$ ile ilgili olarak, 0,6233-0,8292 olduğu tespit edilen adsorbanların emme kapasitesini önermektedir. Bu da fungusun metalleri kolayca emebileceğini ve çözünmeyen metallerin denge konsantrasyonundaki büyük değişikliklerin sorpsiyon miktarında değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir (İleri ve Çakır, 2006; Li vd, 2018).

K_f , metaller üzerindeki adsorbanların adsorpsiyon kuvvetini ve kapasitelerini göstermektedir. Çizilen doğrunun y eksenini kestiği nokta ise $\log K_f$ değerini vermekte, buradan da K_f değeri 0,01088 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.7). K_f değeri arttıkça adsorpsiyon kapasitesi ve sorblaması da artmaktadır. Korelasyon katsayısı ise 0,7781 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.11: *Fusarium lateritium* Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Freundlich İzotermi

Hesaplanan R^2 değerlerine bakıldığında birbirine çok yakın değerlerdir fakat Freundlich izoteminin R^2 değeri 1'e daha yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bakır iyonlarının *Fusarium lateritium*'a biyosorpsiyonunun Freundlich izotermine uygunluk göstermektedir.

Çizelge 4.7: Yapılan izoterm deneylerinde Langmuir ve Freundlich modelleri için hesaplanmış katsayılar

Langmuir İzotermi			Freundlich İzotermi		
a	b	Kolerasyon kat sayısı, R^2	n	K_f	Kolerasyon kat sayısı, R^2
0,088865	0,142799	0,669	1,326612	0,01088	0,7781

Say vd. (2001) yapmış olduğu çalışmada, Cd (II), Pb (II) ve Cu (II) ağır metallerinin yapay atık sularından *Phanerochaete chrysosporium*'un kuru fungus biyokütlelerine biyosorpsiyonu, 5-500 mg/L konsantrasyon aralığında incelemişlerdir. Langmuir modeli için, korelasyon katsayıları (R^2) Cd(II) için 0,9996, Pb(II) için 0,9959 ve Cu(II) için 0,9927 şeklinde bulmuşlardır. Ağır metal türleri için elde edilen biyosorpsiyon deney verileriyle, Langmuir modelinin uygun olduğunu gözlemlemişlerdir.

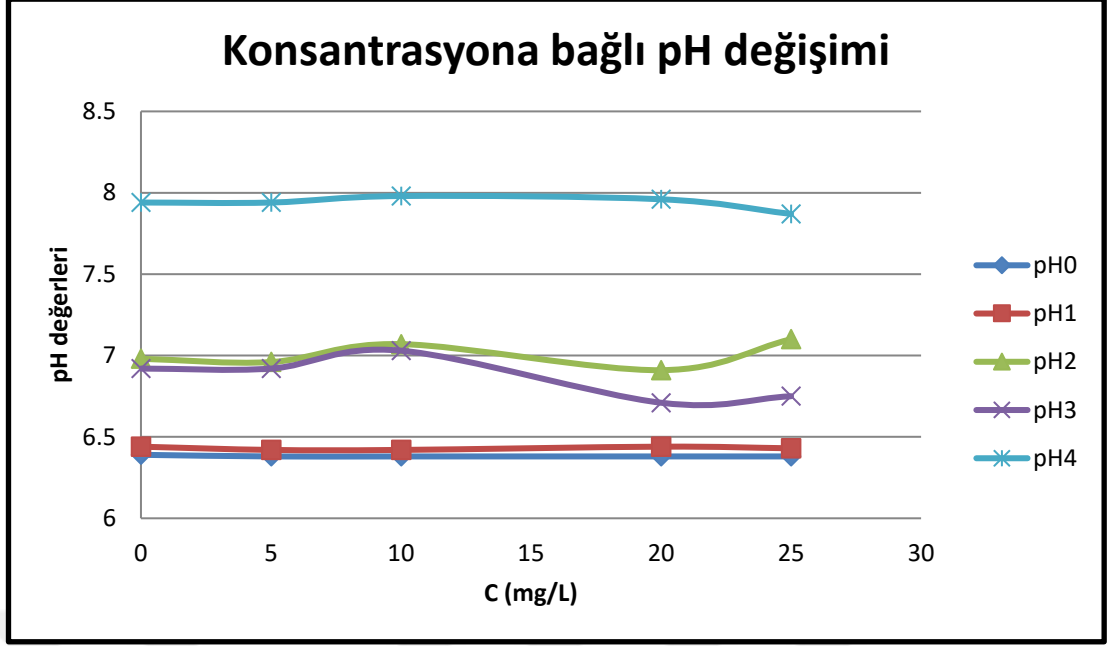
Bahadır (2005), *Rhizopus Arrhizus* fungusu ile yapmış olduğu çalışmada, hesaplamış olduğu R^2 değerleri incelendiğinde Freundlich izoteminin R^2 değerinin (0,9977) 1'e daha yakın olduğunu ve dolayısıyla kurşun(II) iyonlarının *R. arrhizus*'a biyosorpsiyonunun Freundlich izotermine uygunluk gösterdiğini gözlemlemiştir.

Li vd. (2018) yapmış olduğu çalışmada, Cu^{+2} , Zn^{+2} ve Hg^{+2} immobilize edilmiş *Flammulina velipes*, *Auricularia polytricha*, *Pleurotus eryngii* ve *Pleurotus ostreatus* funguslarının adsorpsiyon özelliklerini araştırmışlardır. Langmuir izoterm modelinin ve ikinci dereceden kinetiğin Cu^{+2} , Zn^{+2} ve Hg^{+2} 'nin adsorpsiyon sürecini karakterize etmek için yüksek korelasyon katsayısına (0,98-0,99) sahip en uygun modelin olduğunu kanıtlamıştır.

4.2.Fusarium Verticillioides Fungusunun Bakıra Maruz Kalması

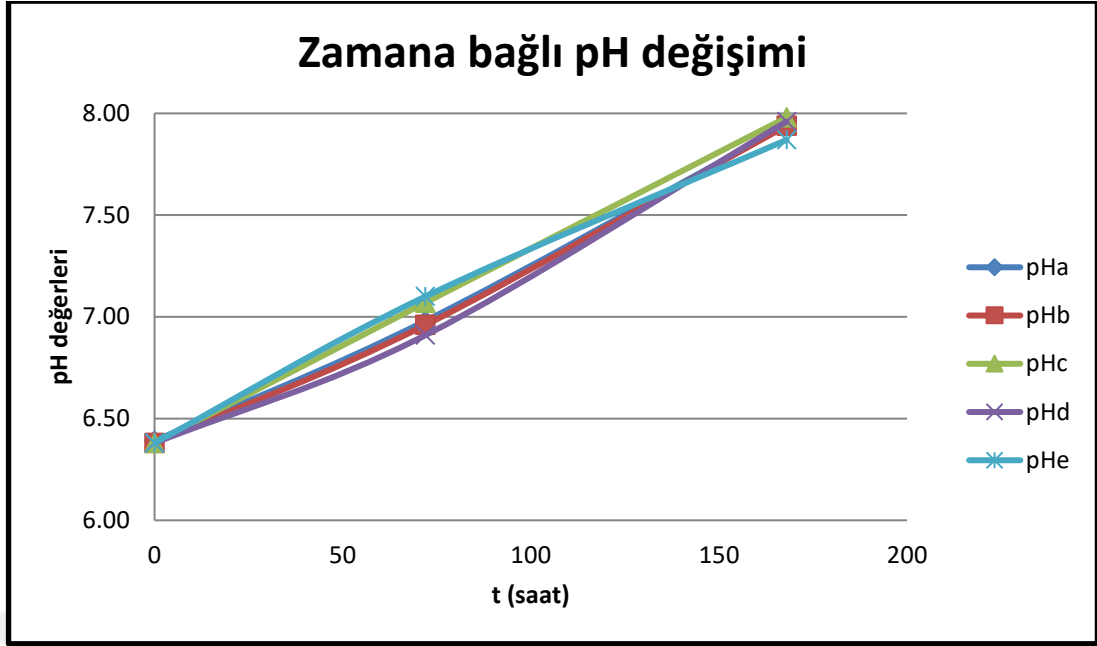
4.2.1. Ortamdaki Fusarium Verticillioides Fungusunun Çoğalmasındaki pH Değişimi

Mikroorganizmaların etkilendiği faktörler arasında yer alan pH açısından bakıldığında, sterilizasyon sağlandıktan sonra ortamın başlangıçtaki ortalama pH'ı 6,38 iken, ekim yapıldıktan sonra ortalama pH'ı 6,43'e ulaşarak az bir yükselme olmuştur. *Fusarium verticillioides* fungusu 72 saat üremesi gerçekleştikten sonra ortalama pH'ı 7,00'a yükselmiş, ağır metal eklendiğinde ise ortalama pH'ı 6,86 değerine düşmüştür. 96 saat metale maruz kalma sonunda ise ortalama pH'ı 7,93 değerine kadar yükselmiştir (Şekil 4.12 - Şekil 4.13).



Şekil 4.12: *Fusarium verticillioides*'nin konsantrasyona bağlı pH ölçümleri sırasıyla; Sterilizasyon sonrası pH₀; ekim yapıldıktan sonra pH₁; 72 saat sonunda pH₂; ağır metal eklendikten sonra pH₃; 96 saat maruziyet sonundaki pH₄ değerleri

Ortama bakır eklendiğinde pH değerlerinde düşüş ve maruziyet sonundaki yükselmeler biyolojik aktivitelerin ortam pH'ını etkilediğini göstermektedir. Fungusların 96 saatlik Cu maruziyet sonunda pH'ın kontrol değerine yakın olması metalik stresin olmadığı veya düşük olduğu anlamına gelmektedir (pH:7,94-7,87). Ancak pH arttıkça (6-8) toplam yüzey yükünün negatif olmasından dolayı hidronyum iyonları artık yüzeyden ayrılmaya başlamaktadır. Böylece pozitif yüklü metal iyonları serbest bağlayıcı gruplara bağlanmaktadır. Alkalin ortamdaki metal komplekslerinin oluşumu, kompleks molekülleri üzerindeki yük yoğunluklarının artması nedeniyle metal iyonlarının çözünürlüğünü arttırmaktadır. Çözünürlüğü ve yüzey yükü yoğunluklarını arttırmak, farklı biyosorbentler üzerindeki adsorptif bölgeler tarafından etkileşimlerini arttırmakta ve sonuç olarak adsorpsiyonu artmasını sağlamaktadır. Ancak pH değerlerinin bazik olması, bazik ortamda metallerin hidroksitleri halinde çökme riskini oluşturabilmektedir. (Albert, 2018; Bozanta vd, 2013; Yılmaz, 2019; Negm vd, 2018).



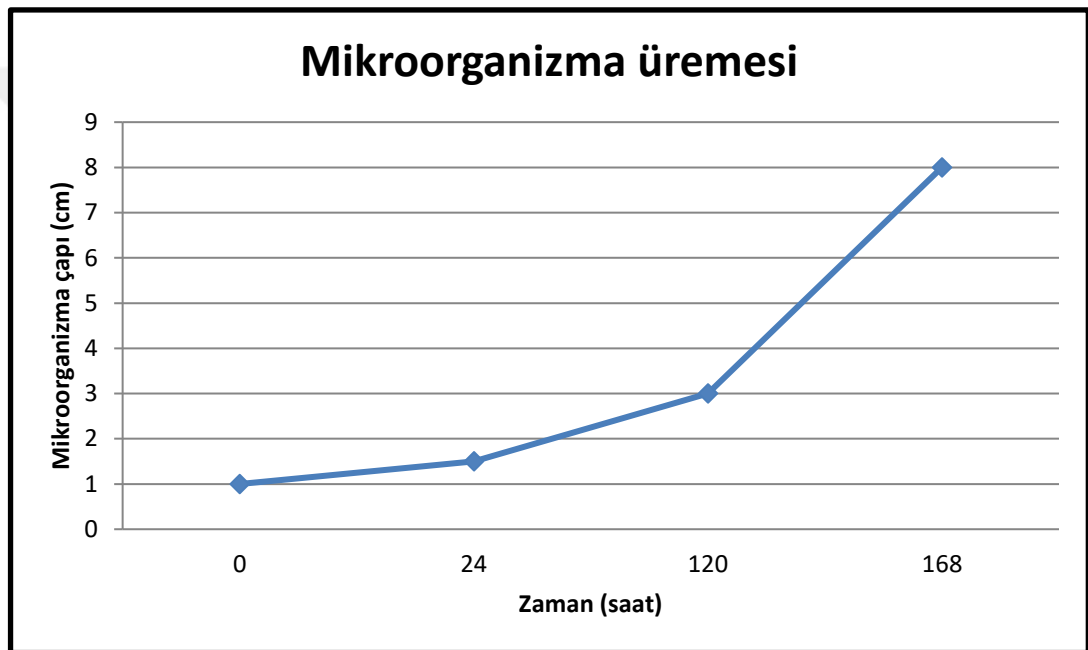
Şekil 4.13: *Fusarium verticillioides*'nin zamana bağlı pH değerleri sırasıyla; 0mg/L'deki pHa; 5mg/L'deki pHb; 10mg/L'deki pHc; 20 mg/L'deki pHd; 25mg/L'deki pHe.

Fusarium verticillioides fungusunda pH'ın 6-8 arasında olduğu ortamın pH'ının gittikçe yükseldiği gözlenmiştir. Bozanta vd. (2013), 3 siyanobakteriyel türü olan *Anabaena sp.* GO4, *Anabaena sp.* GO6, *Anabaena sp.* GO7'nin Cu(II) metalinin biyosorpsiyonu üzerinde çalışmışlardır. Bakır biyosorpsiyonu üzerine pH'ın etkisi çalışmalarında tüm kültürlerde bakır giderimi en yüksek pH 4' de gözlemlenmiş, diğer pH değerlerinde ise bakır giderimi düşük olarak bulmuştur. Bakır biyosorpsiyonunun *Anabaena sp.* GO4'te optimum pH 4 belirlenmiş olup, giderim oranı ise en yüksek % 41 olarak belirlemişlerdir. *Anabaena sp.* GO6'nın pH 4'te, en yüksek giderim oranı % 43 olarak gözlemlenmiştir. *Anabaena sp.* GO7'de ise bakır biyosorpsiyonu pH 4'te en yüksek giderim oranı % 43'tür. Negm vd. (2018) yapmış olduğu çalışmada, farklı metal iyonlarının adsorpsiyon verimleri, pH 7'de elde edilen verim değerlerine kıyasla pH 9'da önemli ölçüde arttığını gözlemlenmişlerdir. Cu^{2+} iyonlarının alkalik ortamdan uzaklaştırılma etkinliği, sulu alkalik ortam içinde oluşan komplekslerin $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{H}_2\text{O})_2]^{2+}$ çözünürlüğü için atfedilebilen Pb^{2+} iyonlarından daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Yılmaz'ın (2019) yapmış olduğu mikroalg ile bakır biyosorpsiyonu çalışmasında, pH 2'de tutunma gözlemlenmediğini, pH 3 ve 4'te tutunmanın arttığını gözlemlenmişlerdir. pH 6 değerine kadar önemli derecede artışın olmadığı ve bundan sonraki pH 7, 8 ve 10 değerlerinde tutunmanın dengeye

geldiği görülmüştür. En yüksek tutunma veriminin pH 6'da gerçekleştiğini ve bu değerin optimum pH değeri olarak seçmişlerdir.

4.2.2. Ortamdaki *Fusarium Verticillioides* Fungusunun Üremesi

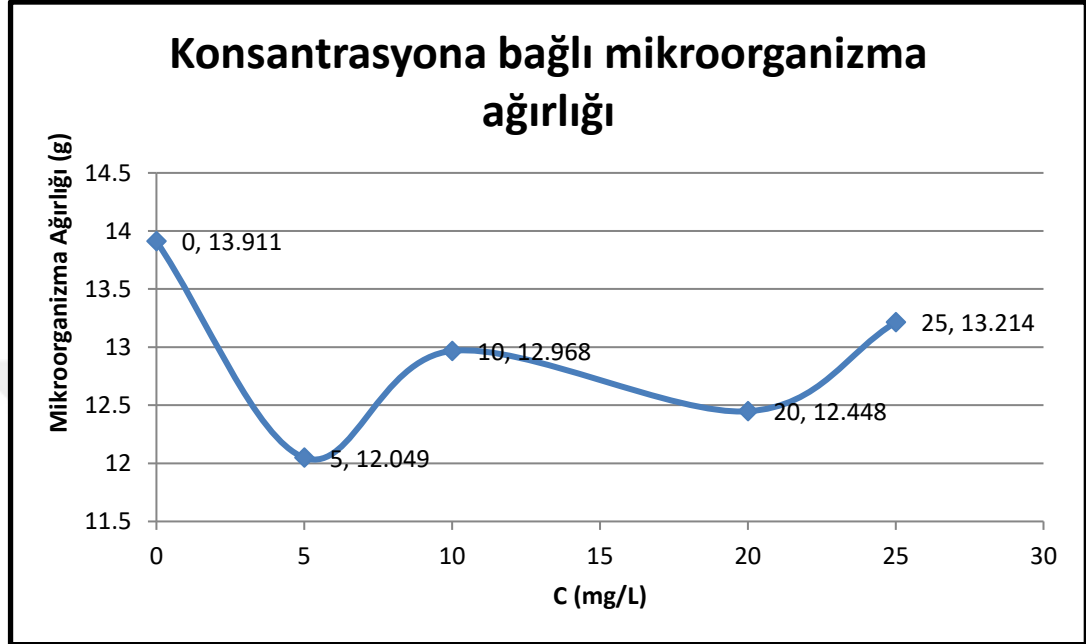
Başlangıç miktarı 0,025 g olan aktif fungusların 168 saat sonunda katı besiyerindeki mikroorganizma üremeleri Şekil 4.14'teki gibidir. Mikroorganizma üremesinde zamanla orantılı olarak çap boyları artmış, son 48 saatte üreme daha da hızlanmıştır. Farklı metal konsantrasyonlarına bağlı mikroorganizma kütleindeki sıvı besiyerindeki değişim Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.14: *Fusarium verticillioides* fungusunun büyümesinin katı besiyerindeki mikroorganizma çaplarının zamana karşı lineer grafiği

Fusarium verticillioides fungusunun sıvı besiyerindeki üremeleri hiç metal eklemekten 72sa+96sa boyunca bulunduğu ortamdaki ağırlığı 13,911 g'dır. Ortama eklenen 5-10-20-25 mg/L Cu konsantrasyonlarında fungus büyüklükleri farklılıklar göstermektedir. Fungusun ağırlığı 5 mg/L Cu konsantrasyonuna maruz kaldığında 12,049 g olarak en fazla azalma göstermiştir. 25 mg/L'de metalde ise 13,214 g olarak en az azalma görülmüştür. Ortama Cu metalinin eklenmesiyle birlikte fungus biyokütlelerinde değişimler gözlenmiştir. Fungus biyokütlesi tarafından metal konsantrasyonu ve mikroorganizma ağırlığı arasında korelasyonun olmaması, direnç ve biyosorpsiyon arasındaki farklı mekanizmalarla ilişkilendirilebilmektedir. Bu

mekanizmalar arasında; hücre çeperi bileşenleri tarafından bakırın komplekslenmesi, membran bakır taşınımındaki değişiklikleri, hücre dışı bakır bağlayan metallothioneinlerin ve fitoşelatinlerin sentezi ve hücre dışı bakır kompleksleşmesi veya önleyici metabolitlerin üretimi bulunmaktadır (Cervantes ve Corona, 1994).



Şekil 4.15: Farklı metal konsantrasyonlarına karşı *Fusarium verticillioides* fungusunun ağırlığının sıvı besiyerindeki değişimi

Simonescu ve Ferdeş (2012)'in yaptığı fungusun Cu ile muamelesi çalışmalarında, *Polyporus squamosus* fungus türü için elde edilen biyokütle miktarı, Cu iyonlarının konsantrasyonu ile 25 mg/L'de 26,21 g; 50 mg/L'de 23,46 g seviyesine ulaştığını gözlemlemişlerdir. *Aspergillus oertzae* ATCC 11489 fungusu ile elde ettikleri biyokütle miktarları 0-25-50-75-100 mg/L Cu konsantrasyonlarında sırasıyla 13,18-9,96-10,57-11,53-14,25 g olarak rapor etmişlerdir. Bu çalışmada da fungusun bakır konsantrasyonu arttıkça biyokütle miktarında artış gözlemişlerdir. Bozanta vd. (2013), çeltik alanlarından izole edilmiş 3 siyanobakteriyal türü olan *Anabaena* sp. GO4, *Anabaena* sp. GO6, *Anabaena* sp. GO7'nin bakır metalinin biyosorpsiyonu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Biyokütle miktarının etkisini belirlemek amacı ile tüm uygulamalarda mikroorganizma ağırlığı 0,01-0,16 g aralığında olacak şekilde hazırlanmış ve en yüksek giderim 0,16 g biyokütlesinde olduğunu gözlemlemişlerdir.

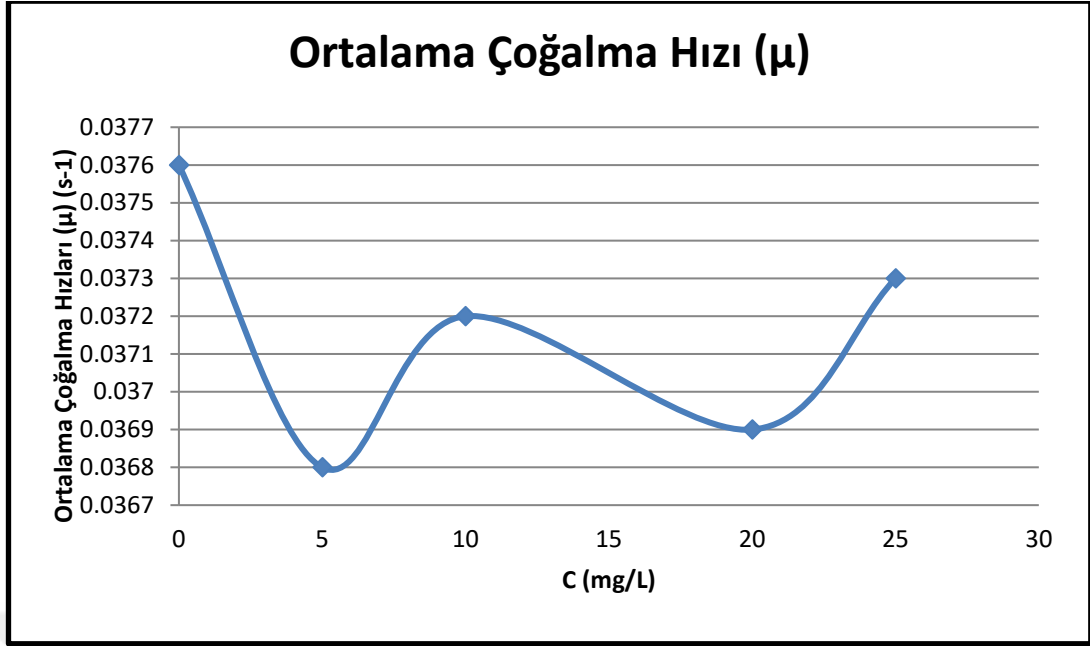
4.2.3. *Fusarium Verticillioides* Fungusunun Çoğalma Hızı ve Engelleme Yüzdesi

Besiyeri ortamında *Fusarium verticillioides* fungusunun Cu 96 sa maruz kalması sonunda çoğalma hızı Eşitlik 3.3'e ve engelleme yüzdesi Eşitlik 3.4'e göre hesaplanmış, Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Besiyeri ortamında *Fusarium verticillioides* fungusunun bakıra 168 saat maruz kalması sonunda ortalama çoğalma hızları ve engelleme yüzdesi

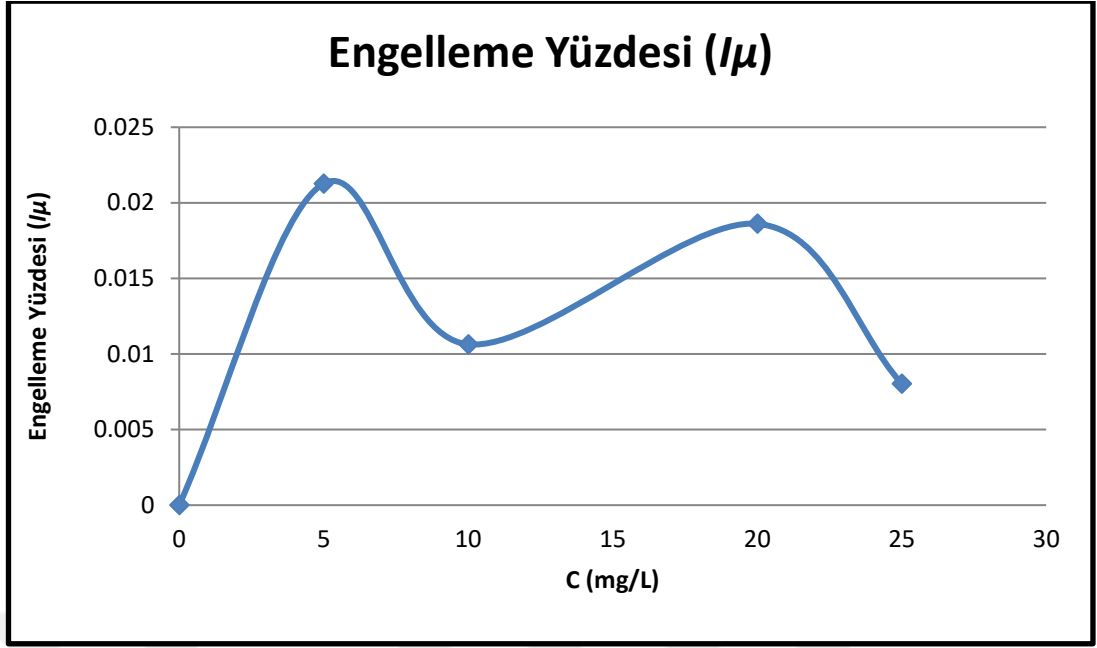
Konsantrasyon (mg/L)	Ortalama Çoğalma Hızı (μ) (s^{-1})	Engelleme Yüzdesi (I μ)
Kontrol	0,0376	Metal Uygulanmadı.
5	0,0368	2,127
10	0,0372	1,064
20	0,0369	1,861
25	0,0373	0,804

Ortamdaki *Fusarium verticillioides*'in üremesinin bir göstergesi olan ortalama çoğalma hızı (μ), 5 mg/L'lik bakır konsantrasyonuna 96 s maruz kalma sonunda 0,0368 s^{-1} olarak bulunmuştur. Numuneler kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında üremenin daha az ve farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.16). Ortalama çoğalma hızlarını sıfırdan büyük bularak çoğalmanın engellenemediği, birbirine çok yakın değerler olduğu, metale karşı dirençli olduğu ve adaptasyonun sağlandığı görülmektedir.



Şekil 4.16: *Fusarium verticillioides* fungusunun farklı konsantrasyonlarındaki çoğalma hızları

Ortamdaki fungusa kirleticilerin toksik etki yapıp yapmadığının bir ifadesi olan engelleme yüzdesi ($I\mu$), *Fusarium verticillioides* funguslarına bakıldığında, 5-10-20 mg/L'lik Cu konsantrasyonlarında %1-2 seviyelerinde değerler bulunmuştur. 25 mg/L'de inhibisyon oranları ($I\mu$) < 1 bulunmuştur. Bu da çoğalmanın devam ettiğini, toksik etkinin oluşmadığını göstermektedir (Şekil 4.17). Yüzeye adsorbsiyon dışında metali kendisine bağlayacak metallothionein proteinler sentezlemektedirler. Phytocelatin (sekonder metabolit) bu protein sınıfına girmektedir. Bu sayede hücre içine metal girişi kısıtlanmaktadır. Cu metali konsantrasyonlarında %0-2 seviyelerinde olmasının sebebini ortaya koymaktadır (Taylan, 2005).



Şekil 4.17: *Fusarium verticillioides* fungusunun farklı konsantrasyonlarındaki engelleme yüzdeleri

Fungus türlerinde uygulanan bakır konsantrasyonlarından daha yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapabileceğini Çabuk vd. (2007) yapmış olduğu çalışmada görülmektedir. Bu çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* fungus hücrelerinin Cu(II) iyonu giderimi ve besiyerindeki Cu(II) dirençlilikleri üzerinde çalışmışlardır. Malt Ekstarkt Broth içerisinde gelişen fungus hücrelerine 250mg/L'ye kadar bakır iyonu ilavesi yapılmış ve *Saccharomyces cerevisiae* fungus hücrelerinin bu bakır konsantrasyonuna kadar etkilenmediğini görmüşlerdir. Kontrol numunesi de dahil (Cu (II) iyonu içemeyen besiyeri) 250 mg/L'ye kadar bakır iyonu içeren ortamlarda elde edilen kuru ağırlık değerleri birbirlerine çok yakın değerler olduğunu (yaklaşık 0,002 g) ve sıvı ortamda bakır iyon konsantrasyonu 1000 mg/L'nin üzerine çıktığında ise üremenin tamamen inhibe olduğu bulmuşlardır.

4.2.4. *Fusarium verticillioides* Fungusunun Adsorpsiyon ve Absorpsiyon Kapasiteleri

Yapılan çalışmada 72 sa üremesi gözlenen ve 96 sa Cu maruziyeti sonunda Sindirilmiş Fraksiyon A, Fraksiyon B ve Sindirilmiş Fraksiyon C değerleri her numune için AAS'de konsantrasyonları ölçülmüş ve Eşitlik 3.2-3.5-3.6'e göre konsantrasyonları hesaplanmış ve Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.9: *Fusarium verticillioides*'in farklı metal konsantrasyonlarındaki değişimi

Konsantrasyon (mg/L)	0	5	10	20	25
Franksiyon A (mg/L)	0	2,9434	5,6749	8,873	12,615
Fraksiyon B (mg/g)	0	0,001307	0,002679	0,005583	0,007961
Fraksiyon C (mg/g)	0	0,014383	0,017258	0,043380	0,043893

Fungusun adsorpsiyon ($q_{ad.}$) kapasiteleri Eşitlik 3.5'e göre ve absorpsiyon ($q_{ab.}$) kapasiteleri Eşitlik 3.6'ya göre hesaplanmış ve toplanarak biyosorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir (Çizelge 10).

Çizelge 4.10: *Fusarium verticillioides*'in farklı Cu konsantrasyonlarındaki $q_{ad.}$ ve q_{ab} değerleri

Verilen Metal Konsantrasyonu (mg/L)	Kuru Fungus Ağırlık (g)	Yaş Fungus Ağırlık (g)	$q_{adsorpsiyon}$ ($\mu g /g$)	$q_{absorpsiyon}$ ($\mu g /g$)
Kontrol	13,911	15,856	-	-
5	12,049	13,901	1,307	14,383
10	12,968	14,722	2,679	17,258
20	12,448	14,415	5,583	43,380
25	13,214	15,567	7,961	43,893

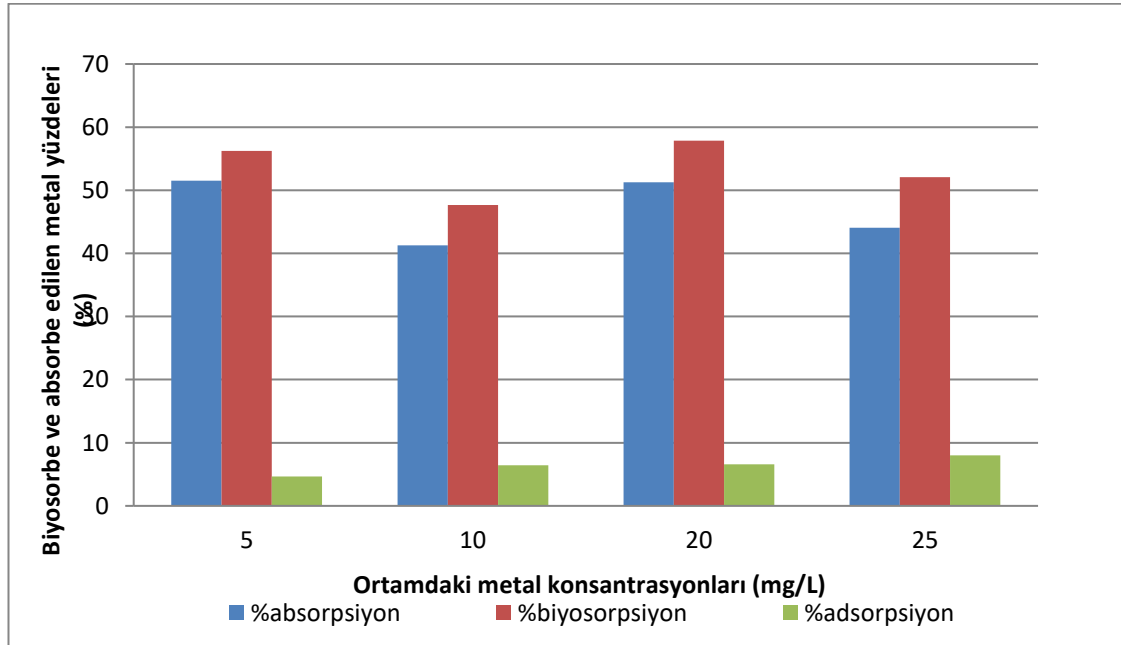
4.2.5. *Fusarium Verticillioides* Fungusunun Verimi

Yapılan çalışmada absorpsiyon, adsorpsiyon yüzdeleri toplanarak biyosorpsiyon yüzdeleri hesaplanmış ve Çizelge 4.11'de, çizilen grafik Şekil 4.18'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.11: *Fusarium verticillioides* fungusunun absorpsiyon, adsorpsiyon, biyosorpsiyon yüzdeleri

Cu Konsantrasyon (mg/L)	% absorpsiyon	% adsorpsiyon	% biyosorpsiyon
5	51,54	4,68	56,22
10	41,27	6,41	47,68
20	51,27	6,60	57,87
25	44,07	8,00	52,07

Metallere karşı yüzde absorpsiyon değerlerimiz %41-52 arasında değişirken, adsorpsiyon değerlerimiz %4-8 arasında değişmektedir. Absorpsiyon değerleri adsorpsiyon değerlerine göre daha yüksek bulunmuştur. Biyosorpsiyon değerleri ise % 47-58 arasındadır. En yüksek giderim 20 mg/L’de %57,87 olarak bulunmuştur. Biyosorpsiyon verimi artan konsantrasyonlarda farklılıklar göstermektedir. Yüksek iyon konsantrasyonlarında biyosorpsiyon veriminin azalmasının nedeni, metal iyonlarının nispeten az sayıdaki bağlanma bölgeleri için yaptığı rekabetten ve birçok bağlanma bölgesinin doygunluğu ile açıklanmaktadır (Bozanta vd, 2013).



Şekil 4.18: Metal maruziyetinden sonra *Fusarium verticillioides* fungus biyosorpsiyonu, absorpsiyon ve adsorpsiyon yüzdeleri

Malkoç' un (1998) *Ulothrix zonata* ile yaptığı çalışmada, Cu (II) iyonlarının giderimi incelenmiş ve Cu (II) için 5-50 mg/ L konsantrasyonlarında en iyi giderimin 5 mg/L' de olduğunu bulmuşlardır ve iyon konsantrasyonu arttıkça adsorplanan metal iyon derişiminin azaldığını ifade etmişlerdir (Bozanta vd, 2013). Su vd. (2010), As'ın *Penisilin janthinellum*, *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma asperellum* fungus suşu tarafından potansiyel birikimi ve uçuculuğu üzerine çalışmalar yapmışlardır. *T. asperellum* ve *F. oksysporum*, hücre dışı As'ın absorpsiyonu % 82,2 ve hücre içine birikimi % 63,4 olarak bulurlarken, *P. janthinellum* hücre içi ve hücre dışı As'nin eşit dağılım gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

4.2.6. *Fusarium Verticillioides* Fungusunun Biyobirikim ve Biyokonsantrasyon Faktörleri

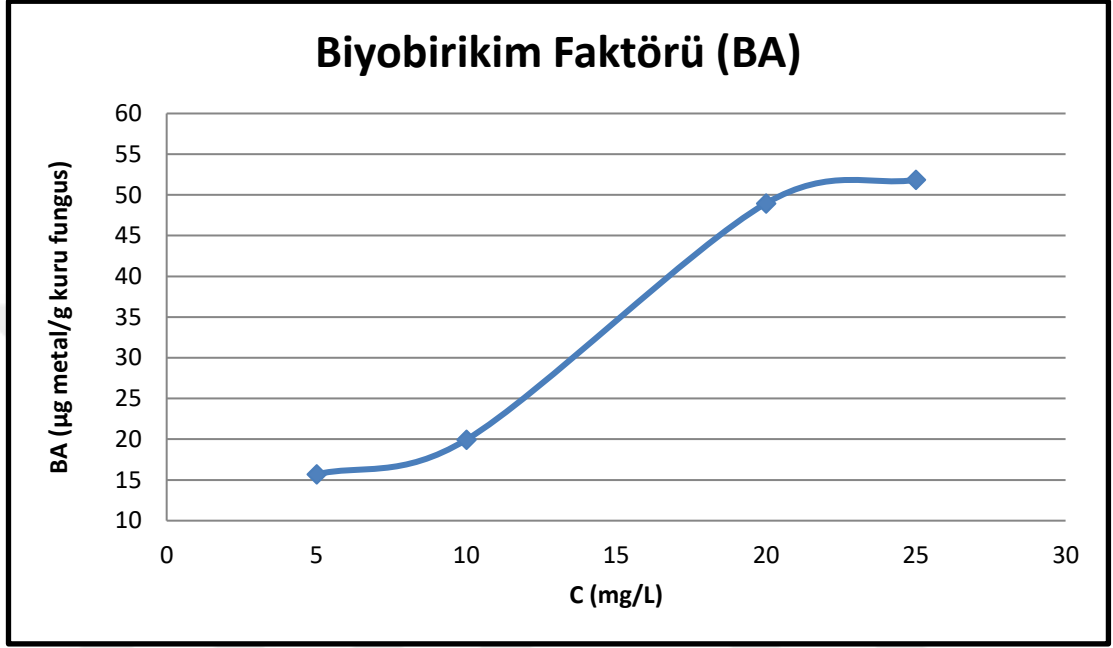
Belirli konsantrasyonlarda bakırın *Fusarium verticillioides* fungus türünde 96 saat sonunda metal alım miktarına bakılarak biyobirikim (BA) Eşitlik 3.5 ve Eşitlik 3.6'ten elde edilen veriler toplanarak biyosorpsiyon kapasitesi olarak hesaplanmıştır. Biyokonsantrasyon faktörü (BCF) ise Eşitlik 3.7'ye göre hesaplanmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12: *Fusarium verticillioides* Fungusunun Bakıra 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA, BCF değerleri

Cu Konsantrasyon (mg/L)	Biyobirikim Faktörü (BA) (μg metal/g kuru fungus)	Biyokonsantrasyon Faktörü (BCF)
5	15,690	0,005432
10	19,937	0,003513
20	48,963	0,005515
25	51,854	0,004111

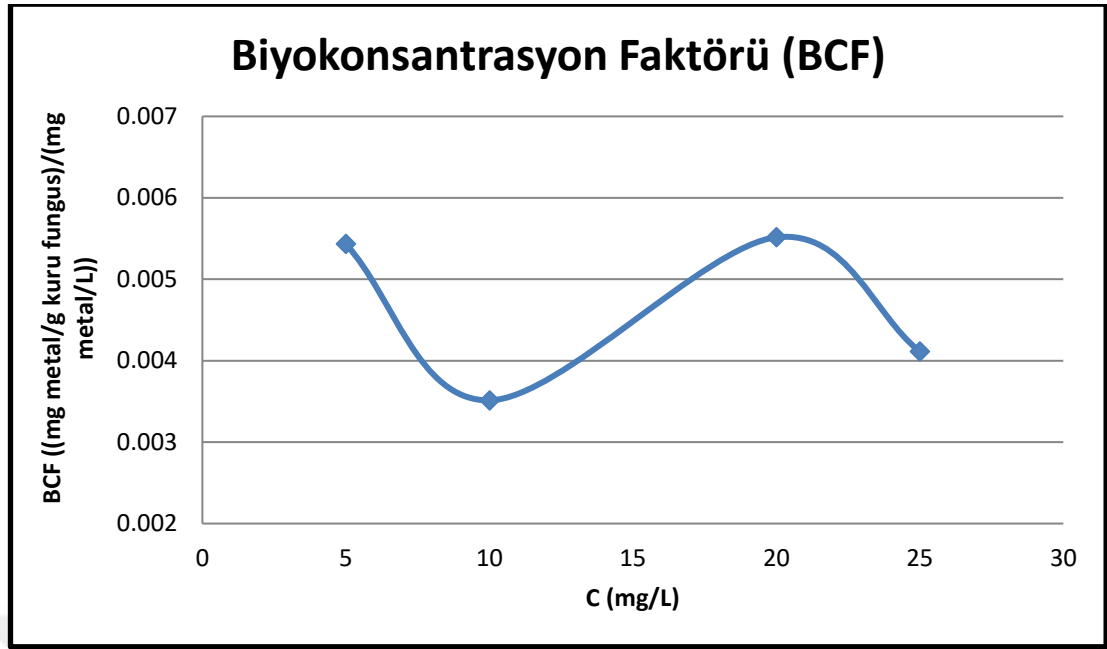
Bakırın *Fusarium verticillioides* fungusunda oluşturduğu toksik etkilerin değerlendirilmesi için BA ve BCF değerleri kullanılmıştır. *Fusarium verticillioides* fungusunun bünyesinde 5 mg/L'lik Cu konsantrasyona 96 saat maruziyeti sonunda BA 15,690 μg metal/g kuru fungus'dır. 25 mg/L'lik Cu konsantrasyonunda 96 saat maruz kalma sonunda en yüksek BA değerine 51,854 μg metal/g kuru fungus

ulaşılmıştır. (Çizelge 4.12-Şekil 4.19). Konsantrasyon arttıkça *Fusarium verticillioides* fungusunun ortamdaki Cu'yu bünyesine sorplamasının arttığı gözlenmiştir. Daha yüksek Cu^{+2} iyonları konsantrasyonu, toplam kütle transferi itici kuvvetinin artmasına neden olmakta ve böylece Cu^{+2} biyosorbent üzerine alımını arttırmaktadır (Yahaya vd, 2009).



Şekil 4.19: *Fusarium verticillioides* Fungusunun Cu meteline 96 saat Maruz Kalması Sonunda BA Değişimi

BCF değerlerinde ise farklılıklar görülmektedir (Çizelge 4.12-Şekil 4.20). *Fusarium verticillioides* fungusu 5 mg/L'lik Cu meteline 96 saat maruz kalması sonunda BCF değeri 0,005432'dir. En yüksek BCF değerine 20 mg/L'lik Cu'ya maruz kalmış *Fusarium verticillioides* fungusunda 0,005515'e ulaşılmıştır. 25 mg/L'lik maruziyet sonunda ise 0,004111 BCF değeri gözlenmiştir. Bu durum aynı sucul ortamda yaşayan ve hatta aynı cinsten olan yakın türlerin bile iz metalleri hücrelerinde çok farklı konsantrasyonlarda biriktirebileceğini göstermektedir. Biyokonsantrasyonun miktarı, pH, sıcaklık, toksik madde, test konsantrasyonu, dokunun tipi, doku yaşı, büyüme oranı ve test türü gibi faktörlerden etkilenmektedir. Belli bir türde çok yüksek olan ağır metal konsantrasyonu, başka bir tür için düşük olabilmektedir (Atay, 2009).



Şekil 4.20: *Fusarium verticillioides* Fungusunun Cu metale 96 saat Maruz Kalması Sonunda BCF Değişimi

Galli vd. (2003) metal konsantrasyonunun metal adsorpsiyonu üzerindeki etkisini, miselyum biyokütlesine karşı Cu(II) konsantrasyonunun artırılması yoluyla incelenmiştir. Bakır adsorpsiyonu 1-5-10-30-60 mg/L bakır konsantrasyonlarında, 30 mg/L'ye kadar artan metal iyon konsantrasyonu ile arttığını ve daha sonra sabitlendiğini gözlemlemişlerdir. Böke Özkoç ve Taylan (2010), iki alg olan *Dunaliella tertiolecta* ve *Phaeodactylum tricornutum*'daki bakır ve çinko alımı, birikimi, toksisitesi ve klorofil-a içeriklerindeki farklılıkları üzerinde çalışmışlardır. P. tricornutum ve D. tertiolecta'yı yüksek Zn konsantrasyonlarına (5-50 mg/L) maruz kaldığında, BA değerlerinin arttığını gözlemlenirken, Cu konsantrasyonu (5-50 mg/L) artırıldığında P. tricornutum ve D. tertiolecta'daki BA ve klorofil-a değerleri azaldığını bulmuşlardır. Simonescu ve Ferdeş'in (2012) yapmış oldukları çalışmada, 20 ila 30°C arasında artan sıcaklıkla biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı, en yüksek biyosorpsiyon artışı *Fusarium oxisporum* MUCL 791 için, 0,6314 mg Cu(II)/g biyokütle ve en düşük biyosorpsiyon kapasitesi 0,2757 mg Cu (II)/g biyokütle *Aspergillus oryzae* ATCC 11489'da gözlemlenmiştir. Akın (2014) biyosorpsiyon çalışmasında *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas Korensis*, *Enterococcus Faecalis* bakteri suşları ile çalışmıştır. Suşların biyosorpsiyon kapasiteleri incelendiğinde *A. calcoaceticus* 28 mg/L demir konsantrasyonu içeren ortamda 32 s; *P. korensis* 50 mg/L bakır konsantrasyonu içeren ortamda 24 s ve *E. faecalis* 72,8

mg/L krom konsantrasyonu içeren ortamda 16 s'lik inkübasyon sonucunda biyosorpsiyonun gerçekleşmediği görülmüştür. Daha düşük konsantrasyonlarda (10 mg/L demir, 20 mg/L bakır ve krom) biyosorpsiyon kapasitelerine tekrar bakılmış fakat sadece *E. faecalis* 20 mg/L krom varlığında %100 biyosorpsiyon kapasitesi gösterdiği gözlemlenmiştir.

4.2.7. *Fusarium Verticillioides* Fungusunun Adsorpsiyon İzotermi

Birçok adsorpsiyon izoterm modeli bulunmaktadır. Bu çalışmada en yaygın olarak kullanılan Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi için çizilen grafikler sırasıyla Şekil 4.21-Şekil 4.22'de ve adsorpsiyon parametreleri Çizelge 4.13'te gösterilmektedir.

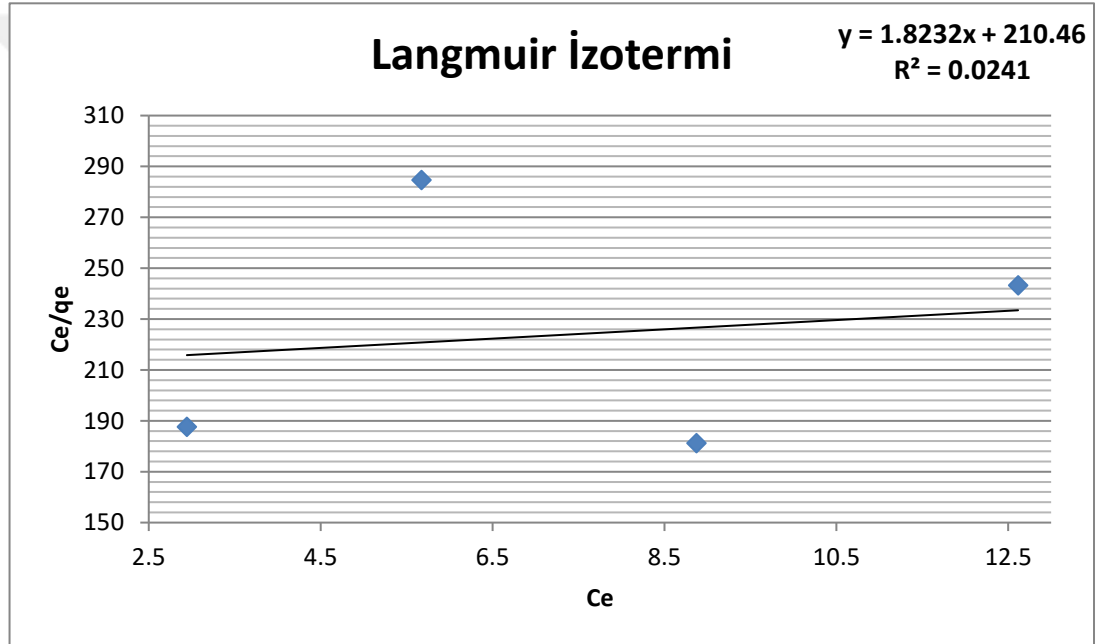
Çizelge 4.13: *Fusarium verticillioides* fungusunun adsorpsiyon parametreleri

	Langmuir İzotermi				Freundlich İzotermi	
Co (mg/L)	Ce Fraksiyon A (mg/L)	qe(mg/g)	X (mg)	Ce/qe	Log qe	Log Ce
0	-	-	-	-	-	-
5	2,9434	0,015690	0,1890	187,597	-1,8044	0,4688
10	5,6749	0,019937	0,2585	284,635	-1,7003	0,7539
20	8,873	0,048963	0,6095	181,216	-1,3101	0,9480
25	12,615	0,051854	0,6852	243,279	-1,2852	1,1009

Langmuir izoterm sabitlerinin bulunması için eğrisel denklem lineerleştirilerek, Langmuir izoterm grafiği C_e 'ye karşı C_e/q_e grafiği çizilmiştir (Şekil 4.21). Çizilen grafikte lineer olarak çizilen doğrunun eğimi $1/a$ değerini vermekte, buradan a sabiti olan maksimum adsorpsiyon kapasitesi değeri 0,54848 olarak hesaplanmıştır. Lineer çizilen doğrunun y eksenini kestiği nokta ise $1/ab$ değerini vermekte, buradan da absorplanan ve adsorplanan arasındaki ilişkiyi veren b

sabiti değeri 0,00866 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14). Korelasyon katsayısı ise 0,0241 olarak bulunmuştur.

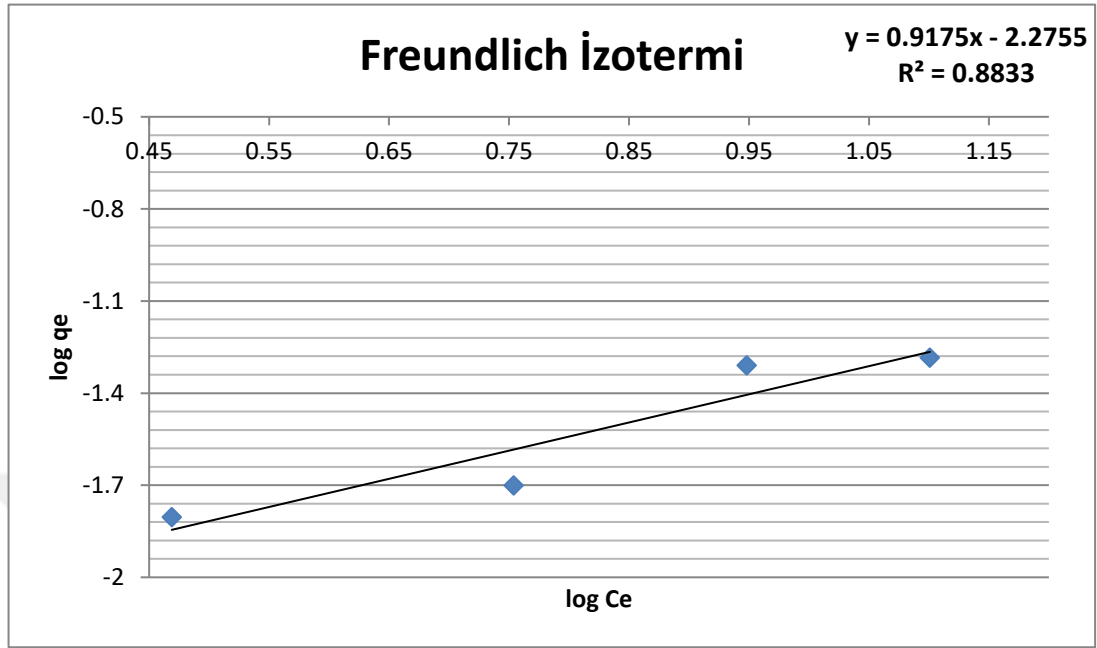
R^2 'nin 0,0241 olarak bulunması, incelenen biyosorbanlar üzerindeki Cu^{2+} iyonlarının adsorpsiyon sürecini tanımlamak için Langmuir izoterm modelinin geçersizliğini ortaya koymaktadır. Langmuir adsorpsiyon izoterminin erişilemezliği, adsorpsiyonun, farklı biyosorbentler üzerindeki adsorptif saha aktivitelerinin eşitsizliği nedeniyle homojen olmayan adsorptif sahalarda meydana geldiğini göstermektedir. Adsorptif alıntıların homojenliği, kimyasal yapılarındaki farklılıklardan ve adsorpsiyon işleminden sorumlu her bir biyosorbent tipindeki fonksiyon gruplarının tiplerinden kaynaklanmaktadır (Negm vd, 2018).



Şekil 4.21: *Fusarium verticillioides* Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Langmuir İzotermi

Freundlich izoterm sabitlerinin bulunması için eğrisel denklem doğrusallaştırılarak, izoterm grafiği $\log C_e$ 'ye karşı $\log q_e$ grafiği çizilmiştir (Şekil 4.22). Çizilen grafikte doğrunun eğimi $1/n$ değerini vermekte, buradan Freundlich biyosorbent şiddetini ifade eden n değeri 1,08992 olarak hesaplanmıştır. Freundlich sabitinde $1/n$ heterojenlik faktörünü ifade etmekte ve 0-1 arasında yer almaktadır. Yapılan bu çalışmada $1/n$ değeri 0,9175 olarak bulunmuştur. Çizilen doğrunun y eksenini kestiği nokta ise $\log K_f$ değerini vermekte, buradan da Freundlich biyosorpsiyon sabiti olan K_f değeri 0.00530 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.14).

Korelasyon katsayısı ise 0,8833 olarak bulunmuştur (İleri ve Çakır, 2006; Li vd, 2018).



Şekil 4.22: *Fusarium verticillioides* Fungusu ile Cu İyonlarının Biyosorpsiyonunda Freundlich İzotermi

Hesaplanan R^2 değerlerine bakıldığında Freundlich izoteminin R^2 değeri 1'e daha yakındır. Dolayısıyla bakır iyonlarının *Fusarium verticillioides* biyosorpsiyonunun Freundlich izotermine uygunluk göstermektedir.

Çizelge 4.14: *Fusarium verticillioides* fungusu için yapılan izoterm deneylerinde Langmuir ve Freundlich modelleri için hesaplanmış katsayılar

Langmuir İzotermi			Freundlich İzotermi		
a	b	Kolerasyon kat sayısı, R^2	n	K_f	Kolerasyon kat sayısı, R^2
0,54848	0,00866	0,0241	1,08992	0,00530	0,8833

Kaewsarn'ın (2001) deniz algi olan *Padina* sp. İle yapmış olduğu biyosorpsiyon çalışmasında, biyosorpsiyon kinetiğinin hızlı olduğu, 15 dakikada %90 adsorpsiyon ve 30 dakikada dengeye ulaştığını tespit etmişlerdir. Langmuir

izoterm sabiti R^2 , 0,99 olarak bulunmuş ve uygun olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon kapasiteleri çözeltinin pH'ına bağlı olduğunu, adsorpsiyon 5 pH'ında maksimum adsorpsiyon kapasitesi 0,80 mmol/g ve b sabiti 7,98 olarak hesaplamışlardır.

Akın'ın (2014) izoterm çalışmasında, biyosorpsiyon yeteneği belirlenen *Enterococcus faecalis* bakteri suşunun Langmuir ve Freundlich izotermlerine uygunluk durumu korelasyon katsayısı (R^2) ile bulunmuş, izoterm sabitleri dikkate alındığında Freundlich İzotermine daha büyük R^2 değerine sahip olduğu tespit etmiştir. Bundan dolayı Freundlich izotermine uygun olduğu görülmüştür. Freundlich izotermine göre deneysel olarak belirlenen adsorpsiyon kapasitesi 0,45, adsorpsiyon yoğunluğu ise 0,389 olarak hesaplamışlardır.

Negm vd. (2018), uygulanan modellerde Langmuir adsorpsiyon modeli, $R^2=0,156-0,973$ çok düşük korelasyon katsayıları bulmuşlardır. Freundlich adsorpsiyon izoterminden elde edilen korelasyon katsayıları ise R^2 0,999 ile 0,998 arasında değiştiğini ve Freundlich izotermine uygun olduğunu gözlemlemişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada toprak fungusu olan *Fusarium lateritium* ve *Fusarium verticillioides* sıvı ortamda bakırı nasıl etkiledikleri ve bakırı biyosorplama kapasiteleri incelenmiştir.

Fusarium lateritium fungusu için için 5-10-20-25 mg/L bakır konsantrasyonlarında sırasıyla %66,80-68,00-72,02-52,79 verime ulaşılmış, en fazla biyosorpsiyon verimi ise 20 mg/L konsantrasyonunda gerçekleşmiştir.

Fusarium lateritium fungusunun pH değerleri 6,41-8,34 arasında değişim göstermiştir. Katı ortamda üremeleri 0-24-120-168 saat sonlarında çap boylarına bakılarak sırasıyla 1-2-4-7,5 cm bulunmuştur. Çoğalma hızlarının birbirine çok yakın değerler olduğu (0,0289-0,0303) ve inhibisyonun çok az olduğu (%0-5) tespit edilmiştir.

Fusarium lateritium fungusunda BA değerlerinde 20 mg/L'ye kadar düzenli bir artış olmuş, 25 mg/L'de düşüş yaşanmıştır. BCF değerleri BA değerleri ile paralellik göstermiştir. Konsantrasyon arttıkça *Fusarium lateritium* fungusunun ortamdaki bakırı bünyesine sorplamasının 20 mg/Lye kadar arttığı, 25 mg/L bakır konsantrasyonunda ise metal alımının yavaşladığı gözlenmiştir. Biyobirikim (BA), aktif bir mekanizmadır. Bu etkileşim, hücrenin iç kısmında metal iyonlarının zenginleşmesine yol açmaktadır. Aktif mekanizmalar genellikle zehirlenmeyi önlemek için hücrenin savunma araçlarıdır veya eser seviye konsantrasyonlarında bulunan temel elementleri biriktirmeye yaramaktadır (Böke Özkoç ve Taylan, 2010).

Fusarium verticillioides fungusu için 5-10-20-25 mg/L bakır konsantrasyonlarında sırasıyla %56,22-47,68-57,87-52,07 verim elde edilmiştir. En fazla verim 20 mg/L konsantrasyonunda gerçekleşmiştir.

Fusarium verticillioides fungusunun pH değerleri 6,43-7,93 arasında değişim göstermiştir. Petri kabında üremeleri 0-24-120-168 saat sonlarında çap boylarına bakılarak sırasıyla 1-1,5-3-8 cm bulunmuştur. Çoğalma hızları sabittir (0,0368-0,0376) ve inhibisyonun yok denecek kadar az olduğu (% 0-2) tespit edilmiştir.

Ortama verilen bakır konsantrasyonu arttıkça 96 saatte *Fusarium verticillioides* fungusunda BA değerleri 25 mg/L'ye artarak devam ettiği gözlenmiştir. BCF değerleri ise farklılık göstermektedir.

Fusarium verticillioides ve *Fusarium lateritium* fungusu için Freundlich İzoterm Modeli'nin uygun olduğu gözlenmiştir.

İki mikroorganizma verimlilik açısından karşılaştırma yapıldığında *Fusarium lateritium* fungusunun biyosorpsiyon için daha uygun olduğu görülmüştür. Metallerin biyosorbsiyon ile giderimi diğerk yöntemlere göre daha ucuz ve daha etkili bir yöntemdir.



6. KAYNAKLAR

- Akın İ., 2014,** Demir, Bakır Ve Krom Direnci Gösteren Bakterilerin Moleküler Yöntemler Kullanılarak Tanımlanması ve Biyosorpsiyon Kapasitelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyolojik Anabilim Dalı, 108, Kırıkkale.
- Akkara M. ve Tosun H., 2014,** Funguslardan Elde Edilen Endüstriyel Ürünler, Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 9, No: 2, 46-53, Manisa/Türkiye.
- Albert Q., Leleyter L., Lemoine M., Heutte N., Rioult J.P., Sage L., Baraud F., Garon D.,2018,** Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus *Absidia cylindrospora*, *Chemosphere* 196, 386-392.
- Ali H., Khan E., Sajad M.A., 2013,** Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications, *Chemosphere* 91, 869–881.
- Ali M.D.Z., 2013,** Reproduction Of Fungi, *Researchgate*, 12, DOI: 10.13140/RG.2.1.1063.5363.
- Albert Q., Leleyter L., Lemoine M., Heutte N., Rioult J.P., Sage L., Baraud F., Garon D.,2018,** Comparison of tolerance and biosorption of three trace metals (Cd, Cu, Pb) by the soil fungus *Absidia cylindrospora*, *Chemosphere* 196, 386-392.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association(AWWA), Water Environment Federation (WEF), 1995.** Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 19th ed., Franson, M.A.H. (Ed.) Washington, USA. Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E.
- Anahida S., Yaghmaei S., Ghobadinejad Z. ,2011,** Heavy metal tolerance of fungi, *Scientia Iranica C*, 18 (3), 502–508.
- Anonim, 2020.** <https://courses.lumenlearning.com/wm-nmbiology2/chapter/reproduction/>
- Atay Ş., 2009,** Kirlenmiş su ortamının ekotoksikolojik olarak incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Atay Ş., Böke Özkoç H., Uslu V.R., 2013,** Sediment Toxicity For Evaluation of Sediment Quality Guidelines and Bioavailability of Copper and Zinc, *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 22- No. 4a-2013, Reprint pp. 1031-1042, ISSN: 1018-4619.
- Bahadır T., 2005,** Endüstriyel Atıksulardan Biyosorpsiyonla Kurşun Gideriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

- Barron M.G, 2003,** Bioaccumulation and Bioconcentration in Aquatic Organisms, Handbook of Ecotoxicology. Lewis Publishers, Boca Raton, Chapter 32, *Academia*, 877-888, London New York Washington.
- Bayramoğlu G., Bektaş S., Arıca M.Y., 2003,** Biosorption of heavy metal ions on immobilized white-rot fungus *Trametes versicolor*, *Journal of Hazardous Materials B101*, 285–300.
- Benlioğlu ve Özyılmaz, 2017,** Mikrobiyoloji Ders Notları, Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Bozanta E., Ökmen G., Türkcan O., Uğur A., 2013,** Farklı *Anabaena* Suşlarının Bakır Biyosorpsiyonu Üzerine Bir Çalışma, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 6 (2): 75-83, ISSN: 1308-3961, Muğla.
- Böke Özkoç H. ve Taylan S., 2010,** Assessment Of Various Parameters Of Metal Biology In Marine Microalgae *Phaeodactylum Tricornutum* And *Dunaliella Tertiolecta*, *Fresenius Environmental Bulletin, PSP Volume 19 – No 12a*.
- Böke Özkoç, H. ve Tosun, N., 1999.** Deniz Kirliliğinde Midyelerin Biyomonitör Olarak Kullanımı, 3. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Cervantes C. ve Gutierrez-Corona F.,1994,** Copper resistance mechanisms in bacteria and fungi, *FEMS Microbiology Reviews* 14, 121-138.
- Cumagun C.J.R., Ramos J.S., Dimaano A.O., Munaut F., Van Hove F.V., 2009,** Genetic characteristics of *Fusarium verticillioides* from corn in the Philippines, *Journal of General Plant Pathology* 75:405–412, DOI 10.1007/s10327-009-0199-4.
- Çabuk A., Akar T., Kotluk Z., Şaşmaz S., 2007,** *Saccharomyces cerevisiae* Hücreleri ile Ağır Metal Giderimi ve Metal Toleransı, *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, Cilt: 05 Sayı: 3 Sayfa: 1-7, Eskişehir.
- Çolakoğlu G., 2001,** Fungal (Mantari) Büyüme için Kimyasal ve Fiziksel Çevre Koşulları, Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Yayın No:613-36, Isbn:975-400-159-6, 149-267, 2. Baskı, İstanbul.
- Damodaran D., Shetty K.V., Mohan B.R., 2014,** Uptake of certain heavy metals from contaminated soil by mushroom—*Galerina vittiformis*, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 104, 414–422.
- Delgado A., Anselmo A. M., Novais J.M., 1998,** Heavy metal biosorption by dried powdered mycelium of *Fusarium flocciferum*, *Water Environment Research*, Volume 70, Number 3.
- Demirel S., Üstün B., Aslım B., 2011,** Bakır-Çinko İkili Metal Karışımının *Synechocystis* Sp. E35 İle Biyosorpsiyonu/Biyobirikimi, *KSU Mühendislik Dergisi*, 14(1).

Dereli E.M., Ertürk A., Çakmakçı M., 2017, Yüzeysel Sularda Ağır Metallerin Etkileri Ve Ötrofikasyon İle İlişkisi, *Turkish Journal Of Aquatic Sciences* 32(4): 214-230, Issn: 2149-9659, Doi: 10.18864/Tjas201720.

Ellis D., 2006. <https://mycology.adelaide.edu.au/descriptions/hyphomycetes/Fusarium/> (Erişim tarihi:09.12.2019).

Fomina M. ve Gadd G.M., 2013, Biosorption: current perspectives on concept, definition and application, *Bioresource Technology*, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.12.102>.

Foo K.Y. ve Hameed B.H.,2010, Insights into the modeling of adsorption isotherm systems, *Chemical Engineering Journal* 156, 2–10, doi:10.1016/j.cej.2009.09.013 .

Galli E., Di Mario F., Rapana P., Lorenzoni P., Angelini R., 2003, Copper biosorption by *Auricularia polytricha*, *Letters in Applied Microbiology*,37, 133–137.

Hamutoğlu R., Dinçsoy A.B., Cansaran-Duman D., Aras S., 2012, Biyosorpsiyon, Adsorpsiyon Ve Fitoremediasyon Yöntemleri Ve Uygulamaları, *Türk Hijyen Ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, Sayfa No:235-253 Cilt/Vol 69 Sayı/Number 4.

Hanson A.M., Hall M.B., Porter L.M., Lintzenich B., 2006, Composition and Nutritional Characteristics of Fungi Consumed by *Callimico goeldii* in Pando, Bolivia, *International Journal of Primatology*, Vol. 27, No.1, DOI: 10.1007/s10764-005-9014-z.

International Standards for Standardization (ISO), 1995, Water Quality-Marine Algal Growth Inhibition Test with *Skeletonema costatum* and *Phaeodactylum tricornutum*, ISO 10253.

Iram S., Shabbir R., Zafar H.; Javaid M., 2015, Biosorption and Bioaccumulation of Copper and Lead by Heavy Metal-Resistant Fungal Isolates, *Arab J Sci Eng*, 40:1867–1873, DOI 10.1007/s13369-015-1702-1.

Iskandar N. L., Zainudin N. A. I. M., Tan S. G., 2011, Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from a freshwater ecosystem, *Journal of Environmental Sciences*, 23(5) 824–830, DOI: 10.1016/S1001-0742(10)60475-5.

İleri R. ve Çakır G., 2006, Bakır İyonlarının (Cu^{+2}) Sıvı Ortamdan Biyosorpsiyonla Gideriminin İzoterm Sabitlerinin Matlab Programı İle Belirlenmesi, *Ekoloji*, 15, 59, 8-17, <https://www.researchgate.net/publication/299854275>.

İpek B., 2014, Kadmiyum(II) Ve Nikel(II) İyonlarının Karayosunu (*Homalothecium Sericeum*) Üzerinde Adsorpsiyonla Su Ve Atık Sulardan Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim dalı, Trabzon.

- Kaewsarn P., 2002,** Biosorption of copper(II) from aqueous solutions by pretreated biomass of marine algae *Padina sp.*, *Chemosphere* 47, 1081–1085.
- Kaya Dalcı B.,2014,** Sulu Örneklerde Eser Düzeydeki Ağır Metal İyonlarının Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometresi İle Tayini İçin Katılaştırılmış Yüzen Organik Damla Mikroekstraksiyon Tekniği İle Önderiştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Bölümü, Ankara.
- Kapoor A. ve Viraraghavan T., 1995,** Fungal Biosorption - An Alternative Treatment Option For Heavy Metal Bearing Wastewaters: A Review, *Bioresource Technology* 53, 195-206.
- Kıvanç B., 2011,** Adsorpsiyon Ve İyon Değişimi Yöntemi İle Sulu Çözeltilerden Fosfat Gideriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Köse C., 2006,** Esmer Çürüklükte Oksalik Asidin Önemi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kumar V., Sahai V., Bisaria V.S., 2012,** Production of amylase and chlamydo spores by *Piriformospora indica*, a root endophytic fungus, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 1, 124–128.
- Ladau J. ve Elie-Fadrosh E.A., 2019,** Spatial, Temporal, and Phylogenetic Scales of Microbial Ecology, Cellpress, *Trends in Microbiology*, TIMI 1681 No. of Pages 8.
- Li X., Zhang D., Sheng F., Qing H., 2018,** Adsorption characteristics of Copper (II), Zinc (II) and Mercury (II) by four kinds of immobilized fungi residues, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 357–366.
- Lupsa J., 2009.** <https://www.thegreatcoursesdaily.com/mysterious-blob-with-720-sexes-unveiled-prompting-fungal-concerns/> (Erişim Tarihi:10.12.2019)
- Marshall K.C. ve Alexander M.,1960,** Growth Characteristics Of Fungi And Actinomycetes, Laboratory of Soil Microbiology, Cornell University, Department of Agronomy, Ithaca, New York.
- Ma L.J, M. Geiser D.M., Proctor R.H., Rooney A.P., O'Donnell K., Trail F., Gardiner D.M., Manners J.M., Kazan K., 2013,** *Fusarium* Pathogenomics, *Annu. Rev. Microbiol.*, 67:399–416.
- Mohammadi A., Nejad R.F., Mofra N.N., 2012,** *Fusarium verticillioides* from Sugarcane, Vegetative Compatibility Groups and Pathogenicity, *Plant Protect. Sci*, Vol. 48, No. 2: 80–84.
- Mohammadian E., Ahari A.B., Arzanlou M., Oustan S., Khazaei S. H.,2017,** Tolerance to heavy metals in filamentous fungi isolated from contaminated mining soils in the Zanzan Province, *Chemosphere* 185, 290-296, Iran.

- Moretti A., 2009**, Taxonomy Of *Fusarium* Genus, A Continuous Fight Between Lumpers And Splitters, National Research Council, *Institute of Sciences and Food Production*, No: 117, 7—13, UDC 582.28:57.06, DOI:10.2298/ZMSPN0917007M, Italy.
- Mueller G. M., Bills G. F., Foster M.S., 2011**, Biodiversity Of Fungi: Inventory And Monitoring Methods, *Elsevier Academic Press*, pp 271–302 San Diego, CA.
- Negm N. A., Abd El Wahed M. G., Hassan A. R. A., Abou Kana M. T. H., 2018**, Feasibility of metal adsorption using brown algae and fungi: Effect of biosorbents structure on adsorption isotherm and kinetics, *Journal of Molecular Liquids* 264 (2018) 292–305, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.027>.
- Pan R., Cao L., Zhang R., 2009**, Combined effects of Cu, Cd, Pb, and Zn on the growth and uptake of consortium of Cu-resistant *Penicillium* sp. A1 and Cd-resistant *Fusarium* sp. A19, *Journal of Hazardous Materials*, 171, 761–766.
- Samanta I., 2015**, General Characteristics of Fungi, *Veterinary Mycology*, pp 3–8.
- Say R., Denizli A., Arica M.Y., 2001**, Biosorption of cadmium(II), lead(II) and copper(II) with the filamentous fungus *Phanerochaete chrysosporium*, *Bioresource Technology* 76, 67–70.
- Sharma S., Malaviya P., 2014**, Bioremediation of Tannery Wastewater by Chromium Resistant Fungal Isolate *Fusarium chlamydosporium* SPFS2-g, *Current World Environment*, Vol. 9(3), 721–727, <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.9.3.21>.
- Simonescu C.M., Ferdeş M., 2012**, fungal biomass for Cu(II) uptake from aqueous systems, *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 21, No:6, 1831–1839.
- Sobariua D.L., Fertu D.L.T., Diaconu M., Pavel L.V., Hlihor R.V., Dragoi E.N., Curteanu S., Lenz M., Corvini P.F.X., Gavrilescu M., 2017**, Rhizobacteria and plant symbiosis in heavy metal uptake and its implications for soil bioremediation, *New Biotechnology* 39, 125–134.
- Streit B., 1992**, Bioaccumulation processes in ecosystems, *Experientia* 48, *Birkhäuser Verlag*, Cilt 48, Sayı 10, s 955–970, CH-4010 Basel/Switzerland.
- Summerell B.A., Salleh B., Leslie J.F., 2003**, A Utilitarian Approach to *Fusarium* Identification, *The American Phytopathological Society*, Publication no. D-2002-1206-01F.
- Su S., Zeng X., Bai L., Jiang X., Li L., 2010**, Bioaccumulation and Biovolatilisation of Pentavalent Arsenic by *Penicillium janthinellum*, *Fusarium oxysporum* and *Trichoderma asperellum* Under Laboratory Conditions, *Current Microbiology*, 61:261–266, DOI 10.1007/s00284-010-9605-6.

- Taylan S., 2005,** *Phaeodactylum Tricornutum* Ve *Dunaliella Tertiolecta* Tarafından Metal Biyokullanımı, Biyobirikimi Ve Toksisite Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Tewoldemedhin Y.T., Mazzola M, Botha W.J., Spies C.F.J., McLeod A., 2011,** Characterization of fungi (*Fusarium* and *Rhizoctonia*) and oomycetes (*Phytophthora* and *Pythium*) associated with apple orchards in South Africa, *European Journal of Plant Pathology*, 130:215–229, DOI 10.1007/s10658-011-9747-9.
- Türk Standartları Enstitüsü, 2007,** Su Kalitesi- Tek Hücreli Yeşil Algler Kullanılarak Tatlı Sularda Alg Çoğalmasının Önlenmesi, TS En ISO 8692.
- Yahaya Y.A., Mat Don M., Bhatia S., 2009,** Biosorption of copper (II) onto immobilized cells of *Pycnoporus sanguineus* from aqueous solution: Equilibrium and kinetic studies, *Journal of Hazardous Materials* 161, 189–195.
- Yalçın E., Ergene A. , Yılmaz F., 2009,** Rafineri Atık Sularından İzole Edilen Mikroorganizmalar ile Biyosüpfektan Eldesi: Hemolitik ve Antifungal Etkinliklerinin Belirlenmesi, *Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 21 (2), 109-116.
- Yan G. ve Viraraghavan T., 2003,** Heavy-metal removal from aqueous solution by fungus *Mucor rouxii*, *Water Research* 37, 4486–4496.
- Yılmaz H. İ., 2019,** *Chlorella Vulgaris* Kullanılarak Cu(II) Ve Pb(II) Ağır Metallerinin Biyosorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kütahya.
- Yörük E., 2009,** *Fusarium graminearum* ve *Fusarium culmorum* İzolatlarının Rapd Markırlarına Dayalı Genetik Tiplendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Vitale S., Santori A., Wajnberg E., Castagnone-Sereno P., Luongo L Belisario A., 2011,** Morphological and Molecular Analysis of *Fusarium lateritium*, the Cause of Gray Necrosis of Hazelnut Fruit in Italy, *The American Phytopathological Society*, Vol. 101, No. 6, 2011, doi:10.1094/PHYTO-04-10-0120.
- Zhao M., Zhang C., Zeng G., Huang D., Cheng M., 2016,** Toxicity and bioaccumulation of heavy metals in *Phanerochaete chrysosporium* , *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26, 410–418.
- Zhou W., Wan J., Shen B., Hou W., Zhang Y., 2009,** Biosorption of copper(II) and cadmium(II) by a novel exopolysaccharide secreted from deep-sea mesophilic bacterium, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 72, 295–302.

Walker C.H., 1990, Kinetic Models To Predict Bioaccumulation Of Pollutants, Functional Ecology, *New Horizons In Ecotoxicology*, Vol. 4, No. 3, Pp. 295-301.



EKLER

EK –A

KULLANILAN KİMYASAL MALZEMELER

Agar	Liofilchem
Bakır (AAS)	Merck
Bakır(II) Sülfat	Merck
Etil alkol	Isolab chemicals
Hidroflorik asit	Isolab chemicals
Hidroklorik asit	Isolab chemicals
Malt Ekstract Broth	LabM
Nitrik asit	Isolab chemicals
Patato Dextrose Broth	Acumedia
Perklorik asit	Isolab chemicals
Potasyum Dikromat	Merck
Sülfirik asit	Isolab chemicals

EK-B

KULLANILAN LABORATUVAR ALETLERİ

Analitik Tartı (g)	Radwag PS750.R2
Analitik Tartı (g)	Precisa XB 220A
Atomik Absorpsiyon Spektrometres (AAS)	UNICAM 929 AA Spectrometer
Buzdolabı	Arçelik
Çeker Ocak	Elicent
Desikatör	WHETON Dry-Seal
Ekim Kabini	LN 090 Nüve
Etüv	JSR JSOF-100
Isıtıcı	Stuart
Isıtıcı	Mtops MS300HS
Klima	Arçelik
Kuru Çalkalayıcı	Stuart SSL 1
Kuru Çalkalayıcı	İnnova 2000
Otoklav	Nüve steamart NC 40M
pH/Mv metre	Ohaus Stater 3100

EK-C

KULLANILAN ÇÖZELTİLER VE DENEYLERİN YAPILIŞI

C.1. Yıkama Çözeltisinin Hazırlanması

Çözünmesi zor olan cam malzemelerde kalan kalıntıları temizlemek için yıkama çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti, 5 g Potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 5 ml saf su ile çözülmesi sağlanır. Üzerine yavaş bir şekilde 100 ml derişik sülfürik asit katılır. Bu işlem sırasında sıcaklık 70-80°C' a ulaşmaktadır. Karışım soğutulup, cam kapaklı bir şişeye alınarak saklanır. Uzun süre aynı çözelti kullanılabilir.

C.2. Ortama Eklenen Ağır Metalin (Cu) Hazırlanması

Orta bakır metalinin eklenmesi için önce 250 mg/L stok bakır çözeltisi hazırlanmıştır. Bunun 250 mg $CuSO_4$ 1L'lik balon jöjeye eklenerek saf su ile tamamlanmıştır. Eklenmesi planlanan konsantrasyonlar için C.1 eşitliği kullanılarak eklenmesi gereken ml hesaplanmıştır. Ortamlarda 5 mg/L olması için 1 ml; 10 mg/L olması için 2 ml; 15 mg/L olması için 3 ml; 20 mg/L olması için 4 ml; 25 mg/L olması için 5 ml hazırlanan stok çözeltiden sıvı ortamlara eklenmiştir.

$$C_1.V_1=C_2.V_2 \quad (C.1)$$

C.3. Ağır Metal Tayini İçin Uygulanan Toplam Sindirim Metodu

Numuneler teflon beherlere konulur. Isıtıcı 175°C'ye ayarlanır. Öncelikle 10 ml HNO_3 (65 w/w) eklenip, üstü cam saat ile kapatılır ve 30 dakika solgun renk oluncaya kadar yavaşça ısıtılır. Teflon beherler yaklaşık 30-45 dakika soğutulur. Daha sonra karışıma 5 ml HF (40 w/w) ve 5 ml $HClO_4$ (%70-72) eklenip 20 dakika boyunca kaynatılır. Beherlerin kapakları açılarak yaklaşık 10 dakika soğuması beklenir. Soğuyan teflon beherlerine 5 ml HF (40 w/w) tekrar eklenerek sarı bir renk gözlenene kadar yaklaşık 30 dakika kaynatılır. Son olarak 10 ml HCl (%37) eklenerek 30 dakika daha ısıtılarak numunenin çözünmesi sağlanır. Kalan kısım filtreden geçirilerek partiküllerin alınması sağlanır.

C.4. Metal Analizi İçin Standart Çözeltilerin Hazırlanması

Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi(AAS)'nde ki ölçümler için stok bakır çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler hazırlanırken C.1 eşitliğinden faydalanılmıştır. 100 ml'lik balon jojelerde ortamda olması istenilen 2 mg/L konsantrasyon için 0,8 ml; 4 mg/L konsantrasyon için 1,6 ml; 8 mg/L konsantrasyon için 3,2 ml; 10 mg/L konsantrasyon için 4 ml; 12 mg/L konsantrasyon için 4,8 ml hazırlanan stok bakır çözeltisinden alınarak saf su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır.

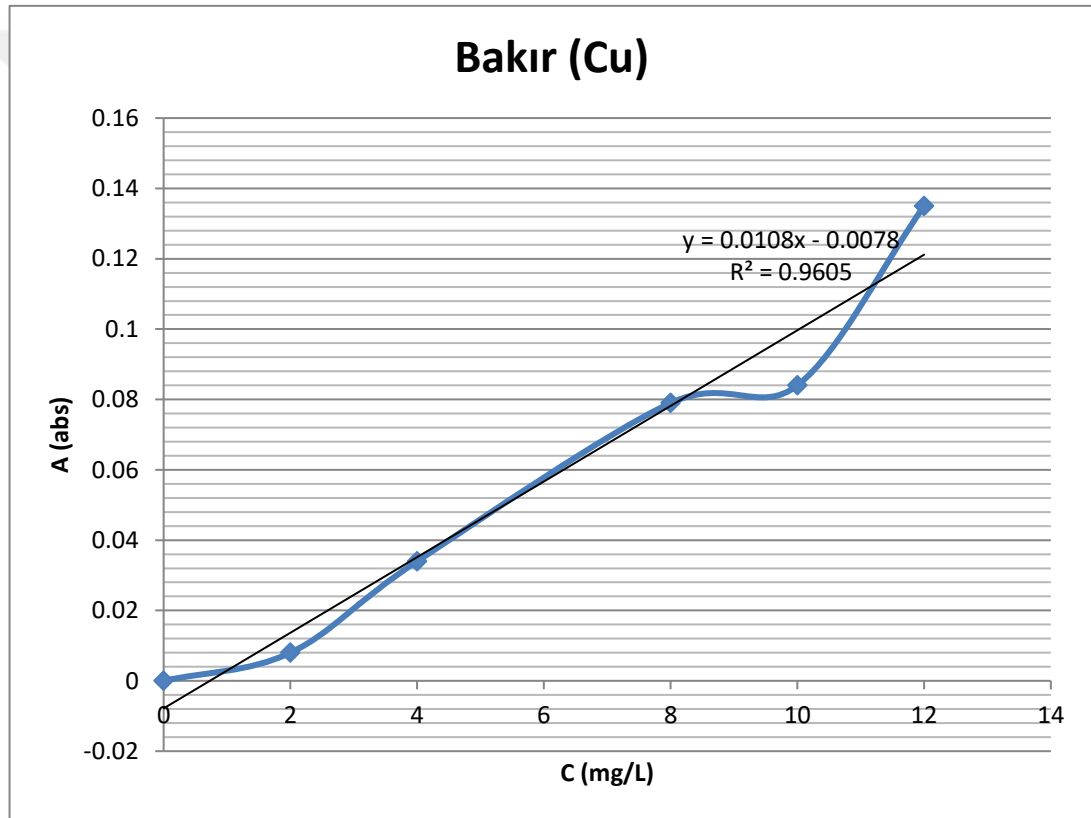


EK-D

BAKIR(CU) İÇİN KULLANILAN KALİBRASYON GRAFİĞİ

Çizelge D.1: Atomik Absorpsiyon Spektrometre’de (AAS) ölçüm için hazırlanan standart bakır çözelti konsantrasyonu ve abs değerleri

STANDARTLAR	
C(mg/L)	ABS
2	0,008
4	0,034
8	0,079
10	0,084
12	0,211



Şekil D.1: Bakır(Cu) Kalibrasyon Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Elvan ARSLANOĞLU
Doğum Yeri : Trabzon
Doğum Tarihi : 18.12.1993
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Cumhuriyet Lisesi'nde (2011)
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği (2015)
Yüksek Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül, 2017–)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Rönesans OSGB/01.02.2019-01.05.2019

Keşif Müteahhitlik Hiz. İnş. Taah. San. Tiç. Ltd. Şti./10.10.2016-18.08.2017

Hayat Geri Dönüşüm San. Tiç. Ltd Şti./01.12.2015-01.08.2016

İller Bankası Anonim Şirketi Samsun Bölge Müdürlüğü/01.07.2014-14.08.2014

Samsun Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü/
01.07.2013-12.08.2013

Yüksek Lisans Seminer Konusu; Mikrobiyal Ekolojiden Unutulan Funguslar,2019

Yayınlar

1. **Arslanoglu E.**, Aliustaoğlu M., Böke Özkoç H., 2019, Sürdürülebilir Yaşamda Yağmur Sularının Yeniden Kullanımı, 1. Uluslararası Sürdürülebilir Yaşam Kongresi, s 88-89 , Ankara
2. **Arslanoglu E.**, Aliustaoğlu M., Böke Özkoç H., 2019, Mikrobiyal Ekolojide Unutulan Funguslar, 13. Ulusal 1. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi, 10-12 Ekim, Kocaeli
3. Aliustaoğlu M., **Arslanoğlu E.**, Böke Özkoç H., 2019, Evsel Atıksu Yönetimi, 1. Uluslararası Sürdürülebilir Yaşam Kongresi,s 88-89, Ankara
4. Aliustaoğlu M., **Arslanoğlu E.**, Böke Özkoç H., 2019, Ağır Metallerin Toprakdan İzole Edilen Bakterilerle Giderilmesi, 13. Ulusal 1. Uluslararası Çevre Mühendisliği Kongresi, 10-12 Ekim, Kocaeli