

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BORLU ATIKSUDAN İZOLE EDİLEN FUNGUSLARIN BOR
BİYOSORPSİYON KAPASİTELERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

**Dilara Nur ÇAKIR
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA
2015**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Dilara Nur ÇAKIR tarafından hazırlanan “Borlu Atksudan İzole Edilen Fungusların Bor Biyosorpsiyon Kapasitelerinin Araştırılması” adlı tez çalışması 14/05/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr. Gönül DÖNMEZ

Jüri Üyeleri:

Başkan: Prof.Dr. Nilüfer CİHANGİR

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji AD.

Üye : Prof.Dr. Gönül DÖNMEZ

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji AD.

Üye : Doç Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji AD.

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim DEMİR

Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri 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.

14/05/2015

Dilara Nur ÇAKIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BORLU ATIKSUDAN İZOLE EDİLEN FUNGUSLARIN BOR BİYOSORPSİYON KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Dilara Nur ÇAKIR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

Tez çalışmasında borlu atık sudan izole edilen *Rhodotorula mucilaginosa* ve *Penicillium crustosum* filamentli fungusların bor biyosorpsiyon kapasiteleri araştırılmıştır. Bor biyosorpsiyonuna başlangıç pH, artan bor ve biyokütle konsantrasyonları ile biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisinin araştırıldığı denemelerde, her iki fungal yaş biyokütlenin (1g/L kuru ağırlık) optimum bor biyosorpsiyonunu pH 6'da yaptığı belirlenmiştir. Artan bor konsantrasyonlarının etkisi çalışmalarında, *R. mucilaginosa* 15.35 mg/L bor konsantrasyonunda % 23.78 verimle, *P. crustosum* ise 15.25 mg/L bor konsantrasyonunda % 24.92 verimle en yüksek bor biyosorpsiyonu yapmış, bor konsantrasyonu arttıkça her iki fungal yaş biyokütlenin bor biyosorpsiyon verimi azalmıştır. Benzer sonuçlar artan biyokütle konsantrasyonu çalışmalarında da gözlenmiş, her iki fungus denenen yaş biyokütle (1-4 g/L kuru ağırlık) konsantrasyonları içinde en yüksek bor biyosorpsiyon verimini 4g/L biyokütle kullanıldığında vermiştir.

Yaş, kuru ve formaldehitte inaktive edilerek hazırlanan fungal biyokütleyle yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında en yüksek bor biyosorpsiyonu, yaş fungal biyokütle ile elde edilmiştir. Optimum pH'da, 15 mg/L başlangıç bor konsantrasyonunda ve yaş biyokütle (4 g/L kuru ağırlık) kullanılarak yapılan denemelerde, *R. mucilaginosa* % 31.92 verimle, *P. crustosum* ise % 23.46 verimle bor biyosorpsiyonu yapmıştır. Tez çalışmasında elde edilen bu sonuçlar, *R. mucilaginosa* ve *P. crustosum* funguslarının borla kirlenmiş atık suların biyolojik arıtımında etkin ve düşük maliyetli bir biyosorbent olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Mayıs 2015, 55 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, Biyosorpsiyon, Atık su Arıtımı, *P. crustosum*, *R. mucilaginosa*

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF BIOSORPTION POTENTIAL OF FUNGI ISOLATED FROM BORONCONTAINING WASTEWATER

Dilara Nur ÇAKIR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

In this study, boron biosorption efficiency of *Rhodotorula mucilaginosa* and *Penicillium crustosum* isolated from Boron mining wastewater was examined. Boron bioremoval by *P. crustosum* and *R. mucilaginosa* were investigated with regards to initial pH, increasing boron and biomass concentrations. The assays were also performed with different cell preparation methods. The optimum pH was found as 6 for wet cells of both fungi (1g/L dried biomass). In the effect of increasing Boron concentration studies, maximum Boron bioremoval efficiency was observed as 23.78% at 15.35 mg/L boron concentration for *R. mucilaginosa* and as 24.92% at 15.25 mg/L boron concentration for *P. crustosum*, but absorbed boron ratio decreased due to increasing boron concentration. The highest yield for both fungi in the increased biomass (1-4 g/L) concentrations were obtained by using 4 g/ L biomass.

The highest biosorption yield for wet, dry and formaldehyde treated biomass were obtained with wet biomass of both fungi. In the assays performed with optimum pH, 15 mg/L initial boron concentration and wet biomass (4 g/L dried biomass), *R. mucilaginosa* had the highest capacity with 31.92%, *P. crustosum* had the highest capacity with 23.46%. This study demonstrates the importance of using *P. crustosum* and *R. mucilaginosa* as a low-cost biosorbent for boron bioremoval in boron-contaminated waters.

May 2015, 55 pages

Key words: Boron, Biosorption, Wastewater treatment, *P. crustosum*, *R. mucilaginosa*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren, bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen ve büyük emeği geçen Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı öğretim üyelerinden hocam sayın Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ'e, çalışmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen TÜBİTAK'a, çalışmalarım boyunca beni cesaretlendiren ve hayat boyu desteklerini esirgemeyen, annem Refika ÇAKIR, babam Aytekin ÇAKIR, kardeşim Büşra Naz ÇAKIR'a sabır ve anlayışlarından dolayı; çalışmalarım sırasında bilgilerinden yararlandığım Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı öğretim üyelerinden hocalarım Doç. Dr. Nur KOÇBERBER KILIÇ, Doç. Dr. Sevgi ERTUĞRUL'a ve yine tüm çalışma süresince bana destek veren Uzm. Dr. Burcu ERTİT TAŞTAN'a ve laboratuvar arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Dilara Nur ÇAKIR

Ankara, Mayıs 2015

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Atık sular.....	3
2.2 Atık Su Arıtım Yöntemleri.....	7
2.2.1 Fiziksel arıtma yöntemleri.....	7
2.2.2 Kimyasal arıtma yöntemleri.....	7
2.2.3 Biyolojik arıtım yöntemleri.....	8
2.2.3.1 Biyosorpsiyon.....	8
2.2.3.2 Biyodegradasyon.....	10
2.2.3.3 Biyobirikim.....	11
2.3 Fungusların Genel Özellikleri.....	12
2.4 Fungusların Sınıflandırılması.....	13
2.4.1 Küfler (Filamentli Funguslar).....	14
2.4.2 Mantarlar.....	15
2.4.3 Mayalar.....	16
2.4.4 Fungusların ticari kullanımları, fayda ve zararları.....	17
2.5 <i>Rhodotorula</i> ve <i>Penicillium</i> Cinsine Ait Türlerle Biyosorpsiyon Çalışmaları.....	19
2.6 BOR.....	22
2.6.1 Borun kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	24
2.6.2 Borun Biyolojik Önemi.....	25
2.6.3 Mayalarda bor direnç mekanizmaları.....	27
2.6.4 Borlu atık suların arıtımı.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
3.1 İzolasyon.....	30
3.2 Mikroorganizmaların tanılanması.....	30

3.3 Biyokütle eldesi.....	31
3.4 Bor solüsyonu.....	32
3.5 Biyosorpsiyon çalışmaları	32
3.5.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi.....	32
3.5.2 Optimum Bor konsantrasyonunun belirlenmesi.....	32
3.5.3 Optimum biyokütle konsantrasyonunun belirlenmesi.....	32
3.5.4 Farklı biyokütle hazırlama yöntemleri	33
3.6 Analiz Yöntemleri	33
3.6.1 Kuru ağırlığın belirlenmesi	33
3.6.2 Bor analizi	33
3.7 Bor standartının hazırlanması.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1 Bor biyosorpsiyonuna pH' ın etkisi.....	35
4.2 Başlangıç Bor konsantrasyonunun etkisi	38
4.3 Bor biyosorpsiyonunda biyokütle miktarının etkisi	40
4.4 Bor biyosorpsiyonunda farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	45
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	56

SİMGELER DİZİNİ

Co	Başlangıç bor konsantrasyonu
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit
H ₃ BO ₃	Borik asit

Kısaltmalar

B	Bor elementi
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
BNCT	Bor ile Nötron Yakalamalı Terapi (Boron Neutron Capture Therapy)
% BS	Biyosorpsiyon verimi
ÇH	Çalkalama hızı
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
MSM	Minimal Salt Medium besiyeri
İS	İnkübasyon süresi
S	Sıcaklık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 <i>P. crustosum</i>	15
Şekil 2.2 <i>R. mucilaginosa</i>	17
Şekil 2.4 Dünya Bor rezervleri	22
Şekil 2.5 Bor'un atom yapısı.....	23
Şekil 3.2 Biyosorpsiyon çalışmaları için bor standardı.....	34
Şekil 4.1 <i>R. mucilaginosa</i> için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonuna etkisi.	36
Şekil 4.2 <i>P. crustosum</i> için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonuna etkisi	34
Şekil 4.3 <i>R. mucilaginosa</i> ve <i>P. crustosum</i> için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonu üzerindeki etkisi	37
Şekil 4.4 <i>R. mucilaginosa</i> 'da başlangıç bor konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi.....	36
Şekil 4.5 <i>P. crustosum</i> 'da başlangıç bor konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi.....	39
Şekil 4.6 <i>R. mucilaginosa</i> için bor biyosorpsiyonunda biyokütle miktarının etkisi	40
Şekil 4.7 <i>P. crustosum</i> için bor biyosorpsiyonunda biyokütle miktarının etkisi	41
Şekil 4.8 <i>R. mucilaginosa</i> için bor biyosorpsiyonunda farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi	42
Şekil 4.9 <i>P. crustosum</i> için bor biyosorpsiyonunda farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Atık suların fiziksel, kimyasal özellikleri ve kaynakları	3
Çizelge 2.2 Atık suların biyolojik özellikleri ve kaynakları	4
Çizelge 2.3 2012 TÜİK verilerine göre atık su arıtma tesisi kapasitesi.....	4
Çizelge 2.4 2012 TÜİK verilerine göre atık su arıtma tesislerinde arıtılan atık su miktarı.....	5
Çizelge 2.5 Farklı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan fungal mikroorganizmalar	9
Çizelge 2.6 Biyobirikim yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar	12
Çizelge 2.7 <i>P.cinsinin</i> ürettiği mikotoksinler.....	18
Çizelge 4.1 <i>P. crustosum</i> ve <i>R. mucilaginosa</i> mikroorganizmalarının maksimum spesifik bor giderimi (q_m) ve % Biyosorpsiyon verimlerinin karşılaştırılması.....	44

1.GİRİŞ

Bor bilinen en eski elementlerden biri olma özelliğine sahip değerli bir yarı metaldir. Bor tuzlarının dört bin yıl önce ilk kez Tibet'te kullanıldığı, Babil halkınca değerli eşyaların ergitilmesinde, Mısır'da mumyalamada, Eski Yunan ve Roma'da zemine serpilerek cam yapımında kullanıldığı, 875 yılında ise, Arap halkı tarafından ilk kez bor tuzlarından ilaç yapıldığı bilinmektedir (<http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi>). On üçüncü yüzyılda da modern endüstride etkin bir şekilde kullanılmaya başlanan değerli bir elementtir. Tüm dünya için en önemli iz elementlerden birisi olan bor geleceğin petrolü olarak nitelendirilmekte ve artan bir hızla bilim dünyasında birçok araştırmaya konu olmaktadır. Borun yeryüzündeki yaşamın evriminde rol oynadığına da inanılmaktadır.

Doğada metal kirliliğine neden olan çok sayıda ve çeşitte endüstriyel uygulamalar bulunmaktadır. Bu kirlilikte en önemli yeri; madencilik, çöp fırınları, radyoaktif metallerin işlenmesi, metal ile kaplama işlemleri (elektronik eşyaların kaplanması), boyalar, atık piller ve pestisidler tutmaktadır (Ahalya vd. 2003). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, endüstriyel işlemler sonucu deşarj edilen bu kirleticilerle ilgili olarak sıkı çevresel düzenlemeler yapılmaktadır. Bu nedenle fabrikalardan gelen deşarjları kabul edilebilir seviyelerde kirletici konsantrasyonuna düşürebilmek ve alanda veya fabrika içi faaliyetleri geliştirebilmek için çeşitli teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bor; denizlerden, yanardağlardan, kaplıçalardan, topraktan ve yer altı sularından çevreye yayılmaktadır. Sebze ve meyve türleri dahil bitkiler bu elementi toprak ve sudan almaktadır. Tümbü yollarla da bor hayvan ve insanlara geçmektedir.

Bor konsantrasyonları olması gerekenden yüksek değerlere ulaştığında da bor arıtımı kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda çevreye ikincil bir zarar verilmeden, etkin ve yüksek verimle bor gideriminin yapılması gerekmektedir. Membran filtrasyonu (Güler vd. 2011), adsorpsiyon-flokülasyon (Chong vd. 2009, Kavak 2009), elektrokoagülasyon (Yılmaz vd. 2008), reverse osmosis (Öztürk vd. 2008), presipitasyon (Itakura vd. 2005) ve iyon değişirme (Okay vd. 1985) bu amaçla gerçekleştirilen çeşitli metotlardır.

Ancak bu metotlar işletim, bakım-onarım maliyetleri ve kimyasalların kullanımı yönünden umut vaat edici olarak görülmemektedir. Son yıllarda hem çevre dostu hem de düşük maliyetli olması bakımından biyolojik materyaller kullanılarak yapılan bor giderimi dikkat çekmektedir (Del-Campo Marín ve Oron 2007, Sasmaz ve Obek 2009, Taştan vd. 2012).

Dünya çapında en büyük bor rezervlerine sahip olmamıza rağmen ülkemizde bor hakkında yapılan bilimsel çalışmalar, diğer ülkelerde yapılanlardan fazla değildir. Bor giderimine yönelik olarak yapılan kimyasal çalışmalar, yüksek maliyet gerektirdiği ve başka kimyasalların doğaya salınımına yol açtığı için tercih edilmemekte alternatif biyolojik yöntemler aranmaktadır.

Metaller, metabolik olarak aktif bakteri, fungus ve alg gibi mikroorganizmalarla biyogiderilebildiği gibi, pasif canlı yada ölü mikroorganizmalarla biyosorpsiyon olarak adlandırılan bir yolla da ortamdan uzaklaştırılırlar. Biyosorpsiyon, endüstriyel atıkların giderimi için umut verici alternatif bir yöntemdir, bunun başlıca nedeni maliyetinin düşük olması ve yüksek metal bağlama kapasitesidir (Bozanta 2011).

Tez çalışması, endüstriyel faaliyetler sonunda oluşan bor atıklarının giderimi sorununa katkı sağlamak için tasarlanmıştır. Borla kirlenmiş atık sulardan alınan örneklerden izole edilen *P. crustosum* ve *R. mucilaginosus* funguslarının kullanıldığı denemelerde, bor biyosorpsiyonuna etki eden optimum pH, bor konsantrasyonu, biyokütle miktarı ve farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır. Bor giderimine yönelik bugüne kadar yapılan makaleler incelendiğinde, tez çalışmasında kullanılan funguslarla ilgili herhangi bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Atık Sular

Atık su, evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş, özellikleri kısmen ya da tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular, cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulara denir. Atık suların fiziksel özellikleri ile kimyasal ve biyolojik kirlilikleri ve onların kaynakları çizelge 2.1 ve çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Atık suların fiziksel, kimyasal özellikleri ve kaynakları (Eltem 2001)

Özellikler	Kaynakları
Fiziksel Özellikler:	
Renk	Evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddelerin doğal ayrışması
Koku	Atık suyun dekompoze olması
Katı maddeler	Evsel ve endüstriyel atıklar, toprak erozyonu, akıntı/süzüntü
Sıcaklık	Evsel ve endüstriyel atıklar
Kimyasal Özellikler:	
Organik Maddeler	
Karbonhidratlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Yağlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Pestisidler	Zirai atıklar
Fenoller	Endüstriyel atıklar
Proteinler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Sümfaktanlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Buharlaşabilen organik bileşikler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
İnorganik Maddeler:	
Klorlar	Evsel atıklar, yeraltı sularının Süzülmesi
Ağır metaller	Endüstriyel atıklar
Azot	Evsel ve zirai atıklar
pH	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Fosforlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Kükürt	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar

Çizelge 2.2 Atık suların biyolojik özellikleri ve kaynakları (Eltem 2001)

Biyolojik Elemanlar:	
Makroorganizmalar	
Hayvanlar	Açık su kanalları, arıtım tesisleri
Bitkiler	Açık su kanalları, arıtım tesisleri
Mikroorganizmalar	
Algler	Evsel atıklar, yüzey sularının süzülmesi, arıtım tesisleri
Funguslar	Evsel atıklar, yüzey sularının süzülmesi, arıtım tesisleri
Protozoa	Evsel atıklar, yüzey sularının süzülmesi, arıtım tesisleri
Arkealar	Evsel atıklar, yüzey sularının süzülmesi, arıtım tesisleri
Bakteriler	Evsel atıklar, yüzey sularının süzülmesi, arıtım tesisleri
Virüsler	Evsel atıklar

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2012 verilerine göre 1.539,818 m³ atık su deşarj edilmiştir. Bu miktarın 188.577 m³'ü arıtılarak deşarj edilmiştir. Denizlere 1.193,937 m³, akarsulara ise 148,432 m³ atık su deşarj edilmiştir. Atık su deşarjı bu şekildeyken ülkemizdeki atık su arıtım tesislerinin sayısı ise 2075'tir. Bu arıtım tesislerinin 778'inde fiziksel/kimyasal arıtım, 1190'ında biyolojik arıtım yapılabilmektedir. Bu tesislerin atık su arıtım kapasiteleri ve arıtım tesislerinde arıtılan atık su miktarı Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 2012 TÜİK verilerine göre atık su arıtma tesisi kapasitesi (bin m³/yıl)
(www.tuik.gov.tr 2015)

Atıksu arıtma tesisi kapasitesi (bin m ³ /yıl)	555 809
Fiziksel /Kimyasal	159 582
Biyolojik	334 402

Çizelge 2.4 2012 TÜİK verilerine göre atık su arıtma tesislerinde arıtılan atık su miktarı (bin m³/yıl) (www.tuik.gov.tr 2015)

Atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı (bin m ³ /yıl)	239 647
Fiziksel /Kimyasal	57 797
Biyolojik	30 559

Suların çeşitli kullanımlar sonucunda atıksu haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını ya da tamamını tekrar kazandırabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerine atık su arıtmadadır. (<http://cevreonline.com/des.f/aritma.htm>)

Atıksuyun niteliğine göre kullanılacak arıtma prosesleri de farklılık göstermektedir. Atıksu içerisinde bulunan çözünmüş organik maddelerin bakteriyolojik faaliyetler sonucu giderilmesi için biyolojik arıtma tesisi, atıksu içerisinde çözünmüş veya askıda bulunan ve gravitasyonla (yerçekimi etkisi ile) çökelmeyen maddelerin çöktürülerek sudan uzaklaştırılması için kimyasal arıtma tesisi, suyun içerisinde bulunan ve kendiliğinden çökebilen katı maddelerin atıksudan uzaklaştırılması için fiziksel arıtma tesisi tercih edilmelidir. Bu prosesler ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi birbiri ardına gelecek şekilde de kurulabilmektedir(<http://www.cevre.gov.ct.tr/tr>).

Atıksuların yüksek konsantrasyonda toksik madde içermelerinden dolayı, arıtımları zordur. Farklı organik maddeler, çözünmüş tuzlar ve ağır metal içerdiklerinden dolayı yüksek derecede boyanmış ve renkli görünümde olup, bulanıklık ve değişen pH'lardaki ortama bırakıldıklarından birinci derecede arıtımlarına ihtiyaç duyulur. Biyolojik oksijen ihtiyaçları (BOİ) düşük, kimyasal oksijen ihtiyaçları (KOİ) yüksektir (Eren ve Anış 1998).

Tez çalışmasında da kullanılan endüstriyel kaynaklı atık sular genel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar, temizlik işlemlerinden gelen atık sular, soğutma suyu ve üretim işlemleri sonucunda oluşan atık sular olarak sıralanmaktadır.

Endüstriyel kökenli atık sular; toksik ve ağır metaller, tuzlar, H₂SO₄, HCl, HNO₃ gibi asitler, nişasta, karbonhidrat, protein ve lignin gibi organik maddeler içermektedir. Özellikle endüstriyel kökenli atık sular ile toprak ekosistemine ulaşan ağır metaller toprak tarafından tutulurlar. Toprakta fazla miktarda biriken metaller, selüloz gibi bitki dokularının ayrışması, karbonhidrat ve proteinlerin mineralizasyonu, çeşitli organik bileşiklerin ayrışmasından sorumlu enzim ve toprak faunasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu atık sular içinde bulunan askıdaki katı maddelerde hem sularda hem de toprakta olumsuz etkilere sahiptir. Bu suların deşarj edildiği alıcı su ortamlarında birikintilere, dip çamurlarına ve bulanıklıklara neden olmaktadır. Atık sularla toprağa ulaşan askıdaki katı maddeler topraktaki gözenekleri tıkayarak toprağın hava ve su geçirgenliği gibi fiziksel özelliklerini olumsuz yönde etkiler (Özercan 2010).

Atık suların, yağışlarla yer altı ve yüzeysel sulara taşınması tatlı su kaynaklarının kirlenmesine sebep olmaktadır. Atık sularla taşınan atıklar boşaltıldıkları su kaynaklarını (akarsular, göller, denizler) kirlendirirken, bu su kaynaklarının tarımda sulama amacıyla kullanılması durumunda toprak ekosisteminde kirliliğe neden olmaktadır. Toprağa ulaşan atık sular ise çeşitli çevre ve sağlık problemlerine yol açmaktadır. (www.csb.gov.tr/db/bolu/editordosya/SU.pdf)

Ülkemizde ve dünyada arıtım yapan tesislerde çoğunlukla fiziksel ve kimyasal arıtım yapılmakta, biyolojik arıtım ise tam verimlilikle gerçekleştirilememektedir. Biyolojik arıtımın yapıldığı bazı tesislerde yurtdışından ithal edilen yüksek maliyetli mikroorganizma karışımları kullanılmaktadır. Ancak maliyeti yüksek olan bu karışımlarla etkin bir arıtım yapılamamaktadır (Taştan 2008)

2.2 Atık Su Arıtım Yöntemleri

2.2.1 Fiziksel arıtma yöntemleri

Fiziksel arıtma, atık su içerisinde çözünmemiş halde bulunan kirleticilerin çöktürülerek ya da yüzdürülerek atık sudan ayrıldığı arıtma sistemidir. (<http://www.mmo.org.tr>)

Fiziksel arıtım yönteminde, atık su içerisinde bulunan ve daha sonraki arıtma kademelerindeki işlemleri yavaşlatacak, engelleyecek ve ekipmanları bozacak özellikte gözle görülür nitelikteki kirleticiler giderilir. Kirleticinin fiziksel özelliklerine (maddenin boyutları, viskozitesi ve özgül ağırlığı) bağlı olarak uygulanan arıtma yöntemleridir. (tr.wikipedia.org/wiki/Atık_su_arıtımı)

- Izgaralar, elekler
- Kum tutucular
- Çökeltme tankları
- Filtrasyon havuzları
- Dengeleme havuzları fiziksel arıtımda kullanılan yöntemlerdir.

2.2.2 Kimyasal arıtma yöntemleri

Atıksuda çözünmüş halde bulunan ya da askıda bulunup kendiliğinden çökemeyen maddelerin çökmesini sağlamak amacıyla koagülant, polielektrolit vb. kimyasal maddeler kullanılarak atıksudan ayrılmasıdır. (tr.wikipedia.org/wiki/Atık_su_arıtımı)

Suda çözünmüş halde ve askıda bulunan katı maddelerin çökmesini ve bu şekilde sudan uzaklaştırılmasını sağlayan kimyasal arıtma tesislerinde, uygun pH aralığında atıksuya kimyasal maddeler ilave edilmektedir. Kimyasal arıtma proseslerinde çökeltme işlemini sağlayan bu kimyasal maddeler koagülant madde adıyla anılır. Kimyasal arıtma prosesinin üniteleri, atık suyun uygun pH aralığına getirildiği nötralizasyon bölümü, atık suya çökeltimi sağlayacak kimyasal maddelerin ilave edildiği koagülasyon bölümü ve koagülant ilave edilmiş atık suyun uygun hızda karıştırılması ile flokların oluşmasını ve çökeltimi sağlayan flokülasyon bölümüdür (<http://cevreonline.com/des.f/aritma.htm>).

2.2.3 Biyolojik arıtım yöntemleri

Atık suda çözülmüş halde bulunan ve fiziksel veya kimyasal yöntemlerle istenilen düzeyde giderilemeyen organik esaslı maddelerin mikroorganizmalar yardımıyla atık sudan uzaklaştırılması işlemidir. Damlatmalı filtre, aktif çamur, stabilizasyon havuzu (oksidasyon havuzu) başlıca biyolojik arıtım üniteleridir. (bulten.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019)

Atık suların arıtımında fiziksel ve kimyasal yöntemlere ek olarak biyolojik arıtım yöntemleri de kullanılmaktadır. Biyolojik arıtma prosesleri genel olarak aerobik ve anaerobik arıtma olarak sınıflandırılabilir. Aerobik arıtma havanın bulunduğu ortamlarda gerçekleştirilen arıtma prosesleridir. Aerobik arıtma uygulamaları; aktif çamur, biyofilm, stabilizasyon havuzları, havalandırılmalı lagünlerdir. Anaerobik arıtma ise havasız ortamlarda gerçekleştirilen arıtma prosesleridir. Uygulamaları ise sürekli karışımli reaktörler, anaerobik filtreler ve akışkan yataklı sistemleridir (web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/aktifkurs.doc)

Son zamanlarda pratik, ekonomik ve etkili olmaları sebebiyle atık su arıtımında öne çıkan yöntemler ise biyosorpsiyon, biyodegradasyon ve biyobirikim olarak sınıflandırılabilir (kutaksam.karabuk.edu.tr/index.php/ilk/article/download/123/107)

2.2.3.1 Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon, hücre membranında bulunan negatif yüklü bileşikler aracılığıyla metal iyonlarının (çoğunlukla kation formunda olanlar) hücre membranına bağlandığı fizikokimyasal bir süreçtir(Zabochnicka-Świątek ve Krzywonos, 2014).

Endüstriyel faaliyetlerdeki artış metaller, sentetik bileşikler, atık nükleer sıvılar gibi kirleticilerin birikimi çevre kirliliğinde artışa ve bazı ekosistemlerin bozulmasına yol açmaktadır. Özellikle madencilik ve metalurjik faaliyetler sonucu oluşan atık sulardaki metallerin toksik derişimlerinin varlığı önemli çevre problemlerini beraberinde getirmektedir. Metallerin böyle endüstri atıklarından uzaklaştırılması için mevcut

konvansiyonel fiziksel ve kimyasal süreçlerin yerine biyolojik moleküllerin kullanımı alternatif ve etkili bir yol olarak görülmüştür (Sağlam vd. 1995).

Düşük maliyet ve kolay ulaşılabilir adsorbentler için yapılan araştırmalar biyolojik materyallerin bu amaçla kullanılmasının önünü açmıştır. Biyosorpsiyon teknolojisi ve içme suyu arıtılması için biyolojik materyallerin sahip olduğu potansiyel son zamanlarda açığa çıkarılmıştır (Ahalya vd. 2003).

Biyosorpsiyon yönteminin avantajlarından biri kirlenmiş bölgelerde *in situ* uygulamaya izin vermesi, diğeri ise biyoproses teknolojilerinin çevresel olması yani ikinci bir kirliliğe neden olmamaları ve etkili yöntemler arasında yer almasıdır.

Biyosorpsiyon, özellikle biyolojik olarak parçalanması zor olan kirleticilerin (metal ve boya) sudan uzaklaştırılması için kullanılır. Bu teknikte kirleticiler bakteri, fungus ve algler gibi biyolojik materyallere bağlanmaktadır. Biyosorpsiyon ile sadece metallerin giderimi değil, aynı zamanda metalin geri kazanımı da yapılabildiğinden ekonomik bir arıtım sağlanmaktadır. Çizelge 2.4’de farklı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan fungal mikroorganizmalar gösterilmiştir (Bozanta 2011).

Çizelge 2.5 Farklı ağır metallerin biyosorpsiyonunda kullanılan fungal mikroorganizmalar (Bozanta 2011)

Metal	Organizma
Altın	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Mucor rouxii</i> , <i>Rhizopus arrhizus</i>
Gümüş, bakır, kadmiyum, kurşun	<i>P. spp.</i>
Kurşun, bakır, kadmiyum, çinko, Toryum, uranyum, stronsiyum, sezyum	<i>P.</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Trichoderma</i> , <i>Rhizopus</i> , <i>Mucor</i> , <i>Saccharomyces</i> , <i>Fusarium</i>
Kadmiyum, kurşun, bakır	<i>Phanerochaete chrysosporium</i>

Son zamanlarda yapılan çalışmalarda biyosorpsiyonu etkileyen faktörler de araştırılmıştır. Bu faktörler arasında biyosorpsiyon ortamının pH’ı, sıcaklık, başlangıç çözelti konsantrasyonu, biyosorbent dozu, çalkalama hızı yer almaktadır.

Solusyon pH'ı biyosorpsiyonda önemli rol oynamaktadır. Yüksek solusyon pH'ında metal komplekslerinin çözünebilirliği, presipitasyonu takiben azalmakta bu da süreci karmaşık bir hale getirmektedir.

Metal alımını etkileyen faktörlerden bir diğeri ise sıcaklıktır. Biyosorpsiyon 20-35°C arasındaki değerlerden daha az etkilenmektedir. Yüksek sıcaklık, sıvının kinetik enerjisini ve yüzey aktivitesini artırdığı için biyosorpsiyonu da artırmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda biyosorbent fiziksel zarar görebilmektedir. Ağır metal iyonlarının mikroorganizmalara zayıf bağlarla bağlanması pasif veya fiziksel adsorpsiyonun bir sonucudur. Yüksek sıcaklıklarda bu bağlar kopmakta ve adsorpsiyonun tersinir olmasından dolayı desorpsiyonun önemi artarak hızı azaltıcı bir etki göstermektedir (Vijayaraghavan vd. 2008).

Metal ile hücre yüzeyindeki fonksiyonel gruplar arasındaki fizikokimyasal etkileşim, fiziksel adsorpsiyon, iyon değişimi ve kompleksleşme şeklinde olmaktadır. Mikroorganizma hücre duvarı, genel olarak polisakkarit, protein ve lipidler metal bağlayıcı fonksiyonel gruplar karboksilat, hidroksil, sülfat, fosfat ve amino grupları gibi yapılardan oluşur. Bu biyosorpsiyon mekanizması hızlıdır ve geri dönüşebilmektedir (Veglio 1997).

Fiziksel adsorpsiyon, çeşitli ağır metaller ile farklı mikroorganizmalar arasındaki elektrostatik çekim ile fiziksel adsorpsiyon gerçekleşebilmektedir.

İyon değişimi, mikroorganizmaların hücre duvarları polisakkarit içerirler. Doğal polisakkaritlerin iyon değişim özellikleri üzerine yapılmış olan çalışmalar ile çift değerlikli metal iyonlarının polisakkarit iyonlarıyla yer değiştirdiği (iyon değişimi) belirlenmiştir.

Kompleksleşme, çözeltiden metalin uzaklaştırılması biyosorbentin hidroksil, amino, fosfat gibi aktif gurupları ile metal iyonu arasındaki etkileşim sonrası hücre yüzeyinde kompleks oluşumu yoluyla gerçekleşir (Veglio 1997).

2.2.3.2 Biyodegradasyon

Organik moleküllerin bakteriler ya da diğer mikroorganizmalar tarafından değiştirilmesi ya da yağ asitleri gibi diğer bileşiklere yıkılmasını ifade eden doğal bir işlemdir. Biyodegradasyon prosesleri ekolojide, atık su arıtımında, biyolojik iyileştirmede ve uzun ömürlü plastiklerin parçalanmalarında sıkça kullanılan prosesleridir. Organik materyaller hem aerobik hem de anaerobik olarak biyodegrade edilebilirler.(<http://www.bilgihanemiz.com/2015>)

Tekstil endüstrisinde proses sonucu açığa çıkan atık su ve bu atık suyun arıtılmasında biyodegradasyon yöntemi avantajlı konumdadır. Tekstil endüstrisi son işlemlerinden kaynaklanan atık sular genelde yoğun renk ve yüksek KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), iletkenlik ve alkalinite değerlerine sahiptir. Çevresel açıdan ele alındığında, tekstil proseslerinde kullanılacak olan kimyasal madde yüksek biyodegradasyon (biyolojik olarak ayrışma) potansiyeline, düşük toksisiteye, fosfor ve azot içeriğine sahip olmalıdır. Özellikle düşük biyodegradasyon potansiyeli ve yüksek toksisiteye sahip kimyasallar, kentsel atık su arıtma tesislerinin işletimi sırasında problemlere neden olabilmektedirler. Metal veya bakteriyel aktiveye engel teşkil eden maddeler içeren boya bileşikleri de bazı durumlarda bu biyolojik arıtma sistemlerini bozabilmektedirler(Öztürk vd.2010).Bu nedenle, yüksek kirletici özelliğe sahip olan kimyasal maddelerin, daha az kirletici özelliğe sahip olan veya kirletici özelliğe sahip olmayan kimyasal maddeler ile değiştirilmesi, kirlilik önleme çalışmalarının temel odak noktalarından biri olarak biyodegradasyonu öne çıkarmaktadır (Smith 1994, Anonymous 1997).

2.2.3.3 Biyobirikim

Biyobirikim, toksik metaller ya da organik maddelerin hücre içine bağlanmasına izin veren bir prosestir. Biyokütlenin biyolojik aktivitesi biyoakümülyasyon işleminde çok önemlidir. Hücreler metabolik fonksiyonları ile kirleticileri adsorbe ettiği için canlılıklarının devam etmesi gerekmektedir(Zabochnicka-Świątek ve Krzywonos 2014).

Fungus, alg, maya ve bakteri gibi mikroorganizma türlerinin ağır metallerin birçoğunun biyoakümülyasyonunda verimli oldukları bilinmektedir. Canlı mikroorganizmalarla

çalışmanın ana avantajı kültürünün yapılmasının kolay oluşu ve kolay saklanabilmeleridir. Ancak solusyondaki ağır metallerin toksik etkilerinden etkilenebilmektedirler (Lo 1996).

Çizelge 2.6 Biyobirikim yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar (Taştan 2008)

	Canlı	Metal	Kapasite	Literatür	
Biyobirikim	Bakteri	<i>Euploetes mutabilis</i>	Pb, Cr	%97,%98(10µg/ml)	Rehman <i>et al</i> 2008
		<i>Typha angustata</i>	Cd,Fe,Mn, Pb,Zn	%61-51.26-82.85- 59.51-53.7	Chandra <i>et al</i> 2007
	Alg	<i>Spirulina platensis</i>	Cd Zn	% 84.0 % 54.5 (1.82 mg/g)	Pane <i>et al</i> 2008
	Maya	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Cu Cu	%74.2(24.8ppm) %12.8(708.2ppm)	Dönmez and Aksu 1999
		<i>Candida sp</i>			
Filamentli Fungus(KoF)	<i>Aspergillus niger</i> <i>Rhizopus sp.</i> <i>Aspergillus sp.</i>	Cu(II) Cr, Cd Cr, Cd	0.75 mg/g 33, 2.72 mg/g 1.2, 2.72 mg/g	Kapoor <i>et al</i> 1999 Zafar <i>et al</i> 2007	

2.3 Fungusların Genel Özellikleri

Funguslar ökaryotik çok hücreli organizmalardır. Bitkiler gibi hücre duvarına sahiptirler ve hemen hemen tümü hareketsizdir. Fotosentetik pigment içermezler, bu nedenle besinlerini diğer canlıların hazırladığı organik maddelerden genellikle absorpsiyonla alırlar Hif olarak adlandırılan filamentlere sahiptirler. Hücreleri uzun ve iplik şeklindedir. Fungus hücreleri etrafında kitin içeren bir hücre çeperi yer alır. Bu çeper uzun karbonhidrat polimerlerinden oluşmuştur. Funguslar filamentli dikaryotik organizmalardır. Heterotroftirler, çoğu da saprofitir. Aerobik olarak gelişirler ve enerjiyi organik maddelerin absorpsiyonuyla temin ederler. (<http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/16928/FUNGUSLAR.pdf>,2015).

Fungusların habitatları oldukça geniştir toprakta, insan, hayvan ve bitkilerde parazit olarak, bitkisel atıklarda ve sulak ortamlarda yaşarlar (www.ucmp.berkeley.edu 2015).

Fungal hücre duvarı bitki hücre duvarına yapı olarak benzemesine rağmen kimyasal olarak benzememektedir. Hücre duvarında selüloz benzeri mikrofibil yığınları, manan, galaktosan, chitosan gibi bazı glukanlar kitinin yerini almaktadırlar. Hücre duvarları genellikle % 80-90 polisakkarit, protein, lipid, polifosfat ve matriksi oluşturan inorganik iyonlardan oluşmaktadır. Biyoteknolojide funguslar yoğun olarak kullanıldığından hücre duvarının yapısı da önem teşkil etmektedir. Ayrıca sınıflandırmada ve araştırma alanlarında hücre duvarlarının doğal kimyası kullanılmaktadır. Basit bir beslenmeleri vardır. Birçok türü düşük pH ve yüksek sıcaklık gibi ekstrem koşullara dayanıklıdır. Doğanın her yerinde bulunan fungal sporlar bu organizmaların geniş yayılış göstermesini ve kendilerine yaşam ortamı oluşturmasını sağlar (Madigan vd.2001).

2.4 Fungusların Sınıflandırılması

Alexopoulos ve Mims (1979)'e göre funguslar şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

Alem: Myceteae(fungi)

1. Bölüm: Gymnomycota
2. Bölüm: Mastigomycota
3. Bölüm: Amastigomycota
 1. Altbölüm: Zygomycotina
 2. Altbölüm: Ascomycotina
 1. Sınıf: Ascomycetes
 3. Altbölüm: Basidiomycotina
 1. Sınıf: Basidiomycetes
4. Altbölüm : Deuteromycotina
 1. Form-sınıf: Deuteromycetes

Farklı birçok özelliği olan funguslar farklı şekillerde sınıflandırılabilir, kendi aralarında küfler (filamentli funguslar), mayalar ve mantarlar olarak 3 bölümde incelenmeleri mümkündür.

Moleküler sınıflandırmada canlılar 18s rDNA'larına -rRNA gen kümesi- göre 3'e ayrılmaktadır. (Bakteriler, arkeler, ökaryotlar)Funguslar da ökaryotlar içerisinde dahil edilmiştir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik,2015>)

2.4.1 Küfler (Filamentli Funguslar)

Doğada yaygın olarak bulunurlar. Her bir filamente hif, hif kümelerine ise misel denir. Mikroskopsuz görülebilirler. Çoğu durumda vejetatif hücreler birden fazla çekirdek içerirler. Hifler havada uçabilirler ve bu yolla sporlar dağılır. Bu sporlara konidia denir. Konidialar aseksual sporlardır kurumaya dirençlidirler ve yüksek pigmentasyona sahiptirler.Renkleri beyaz, siyah, yeşil, mavi, kırmızı, sarı ve kahverengi olabilir. Bazı küfler eşeyli spor üretebilirler. Eşeyli sporlar iki tane haploit hücreden bir tane diploit mayaya hücresi oluştururlar. Bu sporlara askospor denir (Madigan vd. 2001).

Tez çalışmasında kullanılan *P. crustosum* Thom (1930), Trichocomaceae familyasına ait birfilamentli fungus türüdür. Bilimsel sınıflandırılması aşağıdaki gibidir.

Alem : Mantarlar

Bölüm: Ascomycota

Sınıf: Eurotiomycetes

Takım: Eurotiales

Aile: Trichocomaceae

Cins: *Penicillium*

Türler: *P. crustosum*

Penicillium cinsi dünyada en yaygın olarak bulunan filamentli funguslardır. Dallanmış yapıda konidiosporlara sahiptir. *Penicillium* türleri küçük hiflere sahip olma

eğilimindedir. Osmotolerantlırlar yani yüksek su seviyelerinde daha iyi gelişebilmelerine rağmen düşük su seviyelerinde de yaşayabilirler. (<https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/P.>)

Birçok fungi sekonder metabolit içerir. *Penicillium* cinsinin sekonder metabolitleri çoğu zaman pensilin cinsi antibiyotik üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca *Penicillium* türleri fırsatçı bir yapıya sahiptir aynı zamanda birçok türü meyve, sebze bozulmalarının temel nedenidir. Şekil 2.1 'de *P. crustosum* gösterilmiştir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik>).



Şekil 2.1 *P. crustosum* (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik>).

2.4.2 Mantarlar

Filamentli Basidiomyceteslerdendir. Büyük yapıdırlar ve besin kaynağı olarak da kullanılırlar. Basit bir yapıya sahip olup, toprakta gelişirler. Genellikle yağmur sonrasında oluşan kuruma başlayınca yeraltında başlayan gelişimleri ilerledikçe yüzeyde görünür hale gelirler. Eşeyli sporlar basidiospor olarak adlandırılır. Doğada bol bulunurlar (Madigan vd. 2001).

2.4.3 Mayalar

Hücreleri genellikle oval, silindir ve hücre bölünmesi halinde görülür. Bölünürken hücre büyür ve ardından bölünür. Maya hücreleri genellikle tek hücreler halinde bölünür. Bazı mayalar bazı koşullarda filament geliştirebilirler. Bazıları da patojenik olabilmektedir. Örneğin *Candida albicans* vajinal ve oral hastalıklara sebep olabilir. Maya hücreleri bakteri hücrelerinden daha büyüktür. Bazı mayalar eşeyli üreme gösterebilirler ve iki maya hücrelerinin birleşmesinden zigot oluşur. Birçoğu hayvanlarda simbiyotik gelişme gösterirler ve birkaçı da insan ve hayvanlarda patojeniktirler. En önemli cins *Saccharomyces* cinsidir, ticari olarak kullanılmakta olup genomu tamamen çıkartılmış ilk ökaryotiktir (Madigan vd. 2001).

Tez çalışmasında kullanılan *R. mucilaginosa* ürü Sporidiobolaceae familyasına ait pigmentli bazidyumlu mayalardır. Bilimsel sınıflandırılması aşağıdaki gibidir. Şekil 2.2’de *R. mucilaginosa* gösterilmiştir (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik>)

Alem: Mantarlar

Bölüm: Basidiomycota

Sınıf: Urediniomycetes

Takım: Sporidiales

Aile: Incertae sedis

Cins: *Rhodotorula* (F.C.Harrison 1927)

Tür: *Rhodotorulamucilaginosa*



Şekil 2.2 *R. mucilaginosa* (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik>)

Rhodotorula cinsi otuzdört tür içermektedir. Birçok *Rhodotorula* türü mercan pembe koloniler oluşturur. Aynı zamanda bu renk Sabouraud agarda karotenoid pigmentlerin varlığına bağlı olarak kırmızı-turuncu bir renkte de olabilmektedir. Koloni morfolojisi, yumuşak, pürüzsüz, nemlive bazen mukoid olarak tarif edilmiştir. *Rhodotorula* türleri, birçok besiyerinde kolayca üreyen ve hızlı büyüme oranlarıyla karakterize edilmektedir. Mikroskop altında yuvarlak veya oval tomurcuklanan hücreler şeklinde görünür ve nadiren psödohif mevcuttur. Belli belirsiz kapsül bazen oluşmaktadır. *Rhodotorula* türleri üreaz enzimi üretir ve karbonhidratları fermente edemezler (Redelman vd 2010).

2.4.4 Fungusların ticari kullanımları, fayda ve zararları

Funguslardan, hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesinde, bazı peynir tiplerinin (Rokafort, Kamembert) ve thiamin, biyotin, riboflavin gibi bazı vitaminlerin eldesinde yararlanır. Bir fungus grubu olan mayalar ekmekçilikte ve sarap, bira gibi fermente ürünlerin eldesinde kullanılır. Organik asitler (asetik, formik, fumarik, gallik, glukonik, laktik, malonik, sitrik, oksalik asitler ve diğerleri), alkoller (alkol, gliserol, eritritol, mannitol, vs.), enzimler (amidase, amilase, invertase, lipase, protease, maltase, vs.), pigmentler (aleoamodin, auratin, beta karoten, aspergillin, vs.), polisakkaritler (glikojen, reguloz, nişasta, vs.), steroller (kolesterol, ergosterol, fungisterol, fitosterol, vs.), antifungal maddeler (griseofulvin, mikostatin, nistatin, vs.) ve antibiyotikler (penisilin,

eritromisin, sikloserin, sefalosporin, kanamisin, streptomisin, vs.) funguslardan elde edilen ürünlerin arasında yer alırlar.(<http://www.mikrobiyoloji.org>, 2015).

Tarımsal ürünler hasattan başlayarak işleme ve depolama aşamalarında ortam koşullarına, tarım ürününün bileşimine ve su içeriğine bağlı olarak değişik küflerle kontamine olurlar. Gıda ve yemlerde gelişen fungusların gelişme sürecini tamamladıktan sonra miselleri içerisinde oluşturdukları ve birçok durumda üzerinde buldukları ürüne (substrata) salgıladıkları toksik metabolitler, insan ve hayvan sağlığını tehdit ettiğinden, küflenme ekonomik boyutunötesinde önem taşımaktadır. Fungusların ürettikleri bu sekonder metabolitlere mikotoksinlerdir. Gıda ve yemler çok çeşitli küflerin saldırısına hedef olmakla beraber, mikotoksin üreten küf sayısının bugün yaklaşık 350 ile sınırlı olduğu bilinmektedir. Mikotoksin üreten en önemli türler; Deuteromycota (Fungi imperfecti) içinde Hypomycetes sınıfında yer alan *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* ve *Fusarium* cinslerine giren üyelerdir. Bugüne kadar 400 mikotoksin tanımlanmıştır. Çizelge 2.7 de *Penicillium* cinsinin ürettiği mikotoksinler verilmiştir.

Çizelge 2.7 *Penicillium* cinsinin ürettiği mikotoksinler (Tunail 2000)

Sitrinin	Penisilikasit	Sitromisetin
Okratoksin A	P-R toksin	Rugulosin
Sitreoviridin	Luteosikrin	Ksantomegnin
Rubratoksin	İzlandotoksin	Rugulovasin A
Rubratoksin B	Ksantosilin-X	Rugulovasin B
Patulin	Siklopiazonikasit	Emodin

Fungusların çok çeşitli sekonder metabolitleri bulunmaktadır. Bu metabolitlerden antibiyotikler sağlık üzerinde olumlu etkiye sahip, çok önemli bir madde grubudur ve tıp ile veterinerlikte terapi amacıyla kullanılmaktadır. Mikroorganizma, bitki, insan ve hayvanlar tarafından oluşturulan ve çok geniş bir yelpazeye yayılan sekonder metabolitlerin, canlılar aleminin ekosisteminde önemli görevlerinin olduğu

bilinmektedir. Organizma üremesine etken fizyolojik öneme sahip sekonder metabolitler bulunduğu gösterilmiştir (Tunail 2000).

Toprak mikroflorasındaki mikroorganizmalar ile bitkiler arasındaki en yaygın simbiyotik yaşam şekillerinden biri olan mikorizal yaşam, dünya üzerindeki hemen hemen bütün karasal bitkilerde görülmektedir. Mikorizal funguslar genel olarak ektomikorizal funguslar ve endomikorizal funguslar olarak iki grupta incelenirler. Rizosferde yaygın olarak görülen yararlı mikroorganizmalardan biri de arbusküler mikorizal funguslardır. Bu fungusların varlığı bitki topluluklarının yapısını, gelişmesini ve yayılmasını dengelerken aynı zamanda patojenlere karşı dayanıklılık sağladığı ve toprak bütünlüğünü dengelediği görülmüştür (Karapire 2013).

2.5 *Rhodotorula* ve *Penicillium* Cinsine Ait Türlerle Biyosorpsiyon Çalışmaları

Literatürde *Rhodotorula* ve *Penicillium* cinsine ait türlerle yapılan çeşitli biyosorpsiyon çalışmaları mevcuttur.

Velmurugan vd. (2010) Güney Kore’de Chonnam eyaletindeki madenden aldıkları ağır metal kontaminasyonu olan toprağın ağır metal adsorbe eden biosorbent kaynağı olduğunu bulmuşlardır. Kimyasal analizler toprakta yüksek oranda kurşun (357 mg/kg) ve siyanit (14.6 mg/kg) olduğunu göstermiştir. Topraktan izole edilen dört metal tolerat fungus türlerinden kurşuna en dirençli türün *Penicillium* sp. MRF-1 olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada pH, sıcaklık ve kurşuna maruziyet süresi çalışılmıştır. Optimum koşulların pH 4 ve 3 saat süre olduğu bulunmuştur. Kurşun biyosorpsiyonu sıcaklık artışıyla yükselmiştir. Langmuir ve Freundlich izotermi kullanılarak biosorbent performansı tespit edilmiştir. Sonuçta *Penicillium* sp. MRF-1’in ağır metalle kirlenmiş ortamlardan metal gideriminde düşük maliyetli bir biosorbent olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

Salinas vd. (2000) yürüttükleri çalışmada, *R. rubra* tarafından dilüe sulu çözeltiden (5-40 mg/L) elde edilen kadmiyum ve kurşun giderimini araştırmışlardır. Ağır metal gideriminde çözeltinin pH ve sıcaklığı ile hücrelerin durumunun (canlı ve cansız)

giderime etkisi incelenmiştir. Kadmiyum ve kurşun alımı çözeltinin başlangıç pH'ından önemli derecede etkilenmiştir. Düşük pH'ta giderim azalırken, pH arttıkça giderim de artmıştır. Optimum pH kurşun için 4-4.5 ve kadmiyum için 5.5-6 olarak belirlenmiştir. Çalışmada Langmuir sorpsiyon model kullanılmıştır. Denge konsantrasyonu 10 mg/L (q_{10}) olarak belirlenmiş ve bu değer diğer biosorbentlerle karşılaştırmak için kullanılmıştır. *Saccharomyces cerevisiae* ile karşılaştırıldığında *R. rubra* kadmiyum alımında $q_{10} = 9.8$ mg/g olarak bulunmuştur. Kurşun alımında ise 8.28 mg/g olarak bulunmuştur.

Tan vd. (2003) *Penicillium chrysogenum* miselyumu ile yaptıkları çalışmada, metal iyonlarının biyosorpsiyonunu çalışmışlardır. Proteinleri ve nükleik asitleri hücrelerden uzaklaştırmak için ön alkali muamele yapılmış ve bu muamelenin adsorpsiyon kapasitesini artırdığı belirlenmiştir. Kapasitelerin Cr^{3+} için 18.6 mg/ g'dan 27.2 mg/g' a, Ni^{2+} için 13.2 mg/g'dan 19.20 mg/g'a, Zn^{2+} için 6.8 mg/g'dan 24.5 mg/g'a çıktığı gözlenmiştir. Metal iyonlarının adsorpsiyonunda pH'm çok önemli bir yere sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar bu maliyeti düşük miselyum adsorbentinin yüksek adsorpsiyon kapasitesinden dolayı endüstride atık su arıtımında kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Say vd. (2003) *Penicillium purpurogenum* 'un sulu çözeltilerden kadmiyum, kurşun ve civa giderimini değerlendirmişlerdir. Ağır metallerin biyosorpsiyonu dört saat içinde denge noktasına ulaşmıştır. *Penicillium purpurogenum* tarafından bağlanan ağır metallerin pH bağımlı olduğu belirlenmiştir. Ağır metal iyonlarının adsorpsiyonu yaklaşık pH 5.0'te platoya değerine ulaşmıştır. Ağır metal iyonu rekabetçi adsorpsiyon kapasitesi 50 mmol /L metal iyonu başlangıç konsantrasyonunda As (III) için 3.4 mg / g, Hg (II) için 15.8 mg / g, Cd(II) için 13.1 mg /g ve Pb (II) 41.8 mg / g olarak bulunmuştur. Rekabetçi olmayan koşullar altında ağır metal iyonlarının adsorpsiyon kapasitesi As (III) için 35.6 mg / g, Hg (II) için 70.4 mg / g, , Cd (II) için 110.4 mg / g ve Pb (II) için 252,8 mg / g olarak bulunmuştur.

Jiang vd. (2012) yaptıkları çalışmada, *Rhodotorula mucilaginosa*'nın Zn^{2+} ve Cd^{2+} biyosorpsiyonunu ve fungusun bu metallere cevabını araştırmıştır. Çalışma 18 mg/mL

yaş biyomasta 10 mg/L Zn²⁺ ve 1mg/L Cd²⁺ ile yürütülmüştür. Biyosorpsiyon zamanı, yaş biyomas ve pH değerleri ölçülmüştür. . Konsantrasyon arttıkça adsorpsiyon oranının azaldığı, optimum pH'ın 7-9 olduğu belirlenmiştir.10 mg/L Zn²⁺ 'da biyosorpsiyon oranı % 78 olarak, 1 mg/L Cd²⁺ da bu oran %100 olarak belirlenmiştir.

Bai vd. (2012) ise *Rhodotorula glutinis* ile uranyum biyosorpsiyonunu araştırmışlardır. Araştırmacılar kesikli kültürde, manyetik olarak modifiye edilmiş *Rhodotorula glutinis* ile sulu çözeltiden elde edilen uranyum adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Biyosorpsiyona etki eden başlangıç pH, biyokütle dozajı, maruziyet süresi, sıcaklık, başlangıç uranyum konsantrasyonu ve diğer katyonlar gibi faktörlerle çalışma yapılmıştır.

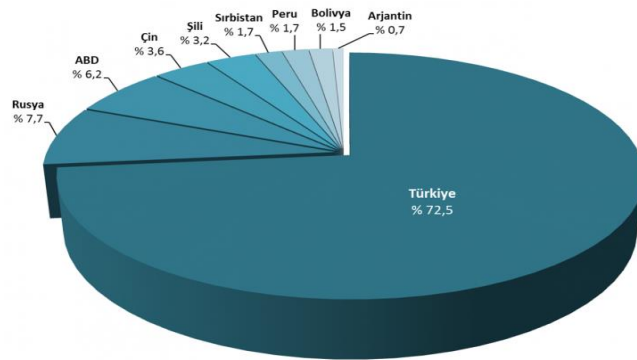
Ayrıca *Rhodotorula glutinis* üzerinde sorpsiyon izotermi, kinetik ve termodinamik çalışmalar da yürütülmüştür. Çalışmalar sonucunda pH6 da 5,15 g biyokütle, 100 mg/L uranyum konsantrasyonu ve 30 dakika süre optimum koşullar olarak bulunmuştur. *Rhodotorula glutinis*'in uranyum biyosorpsiyonu için potansiyel bir sorbent olduğu gösterilmiştir.

2.6 BOR

Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda yaygın olarak bulunan bir elementtir. Toprağın bor içeriği ortalama 10-20 mg/L olmakla birlikte ABD'nin batı bölgeleri ve Akdeniz'den Kazakistan'a kadar uzanan yörede yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunda 0.5-9.6 mg/L, tatlı sularda ise 0.01-1.5 mg/L aralığındadır. (www.boren.gov.tr/tr/bor/2014)

Bor bileşiklerinin gösterdiği farklı özellikler, borun birçok endüstride kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bugün bor mineralleri 200-300 sanayi sektörünün binlerle ifade edilen ürün çeşitlemesine girmektedir. Cam ve seramik sanayii, temizleme ve beyazlatma sanayii, sağlık, enerji, tarım gibi pek çok alanda kullanılan ve düşük konsantrasyonlarda birçok biyolojik tepkimede rol oynayan bor (Lee vd. 2009), yüksek konsantrasyonlarda bitkilere, hayvanlara, insanlara ve diğer organizmalara toksisitesi sebebiyle zarar vermektedir.

Bor, ülkemizde 1800'lü yıllarda Anadolu'da ilk bor madeninin çıkarılmasıyla başlayan ve günümüze kadar uzanan 200 yıllık bir serüvene sahiptir. Ülkemiz bor rezervleri bakımından dünyanın lider ülkesi konumundadır ve dünya bor rezervlerinin % 72,5'ine sahiptir (Şekil 2.4). Bu bağlamda da stratejik bir öneme sahiptir. (http://www.etimaden.gov.tr/bor-hakkinda-69k.htm,2014)

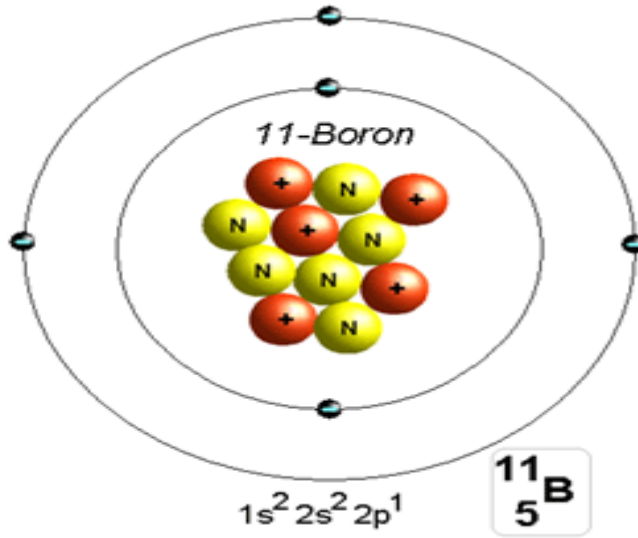


Şekil 2.4 Dünya Bor rezervleri (http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri, 2014)

Yapılan çeşitli çalışmalarda borun bitki büyüme ve gelişimi için gerekli olduğu, kök uçları gibi bitkilerin aktif büyüyen bölgelerinde, yeni yaprak ve tomurcuk gelişimini sağladığı ve yeterli seviyelerdeki borun ekin veriminin yüksek olmasında önemli bir yere sahip olduğu tespit edilmiştir.

2.6.1 Borun Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Bor, periyodik tabloda B simgesi ile gösterilen, atom numarası 5, atom ağırlığı 10,81 olan metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Bor tabiatta hiçbir zaman serbest halde bulunmaz. Doğada yaklaşık 230 çeşit bor minerali olduğu bilinmektedir. Bor kimyası eşsiz özelliklere sahip olmakla beraber karbondan sonra en ilgi çekici ve kompleks yapıya sahiptir (Bolaños vd. 2004).



Şekil 2.5 Borun atom yapısı (www.green-planet-solar-energy.com,2015)

Kristal bor, önemli ölçüde hafiftir, serttir, çizilmeye karşı mukavemetlidir ve ısıya karşı karardır. Bor kırmızı ötesi ışığın bazı dalga boylarına karşı saydamdır ve oda sıcaklığında zayıf elektrik iletkenliğine sahiptir. Yüksek sıcaklıkta iyi bir iletkenidir. Bor, hidroklorik ve hidroflorik asitlerle kaynatıldığında bozulmaz. Sadece çok ince öğütülmüş bor, konsantre nitrat asidi ile yavaş oksitlenir.

Boru saf olarak elde etmek zordur. % 95-98 safsızlıkta bor, borik asidin magnezyum ile indirgenmesinden amorf halde elde edilir ve safsızlığı baz ve asit ile yıkanarak filtre edilir. Elde edilen bor, oksit ve bor bulunduran bileşikleri ihtiva eder ve küçük kristaller halinde koyu kahve renklidir. Bor, tungsten yüzeyinde bor oksidin hidrolizi ile elde edilir. (<http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html#2.Bor>)

Bor elementinin güçlü elektrofilik organik bileşikleri vardır ve bunların en önemli fizyolojik formu borik asittir. Borik asit aynı yönde yerleşmiş hidroksil ve bazı amino gruplarını bağlama kapasitesine sahiptir. Bu gruplar bazı enzimlerin aktif bölgelerinde ve 5 karbonlu furanoz halkalı karbohidratlarda bulunur. S-adenozil metyonin, nikotinamid adenin dinükleotidler, adenzin fosfatlar, diadenozin fosfat ailesi üyeleri ve RNA'ların 3' uçları gibi metabolizmada önemli moleküllerin ribozları borik asitle etkileşmeye açıktır (Avşar 2011).

Bor karbona benzer kararlı kovalent bağlı moleküler ağları oluşturabilir. Bu özellikler yeni bor bileşikleri yapımında yararlanılmaktadır. Organik bileşikler ile bor ilişkilerinin görmek için onun eşsiz fizikokimyasal özelliklerini dikkate almak önemlidir. En yaygın bulunan, doğal olarak oluşan ya da kimyasal olarak üretilen bor bileşikleri arasında , sodyum tetraboratlar (susuz, pentahidrat veya dekahidrat), borik asit, bor oksit, bor sodyum oksit tetrahidrat, bor tribromid, bor triflorid, diboran, dekaboran, pentaboran, çinko borat, baryum borat, bor fosfat vs. gelmektedir (Avşar 2011).

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, endüstride birçok bor bileşiğinin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bor, bileşiklerinde metal dışı bileşikler gibi davranır, ancak, farklı olarak saf bor, karbon gibi elektrik iletkenidir. Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri açısından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir.

Bor yanıcıdır ve tutuşma sıcaklığı yüksektir. Buna ilaveten yanma sonucunda kolaylıkla aktarılabilecek katı ürün vermesi ve çevreyi kirletecek emisyon açığa çıkarmaması gibi bir özelliğe sahip olduğundan dolayı katı yakıt hücresi olarak kullanılmaktadır (Yenialaca 2009).

2.6.2 Borun biyolojik önemi

Bor, ilk olarak 1808 yılında Joseph Louis Gay-Lussac, Louis Jacques Thénard ve Humphrey Davy tarafından izole edilmiştir. Bor her çevresel alanda bulunabilen çok yönlü bir elementtir. Bor bileşikleri en az bin yıldır bilinmektedir ve son zamanlarda teknolojiye yeni kullanım alanları edinmektedir.

Biyokimyasal rolü henüz tam anlamıyla anlaşılamamış olsa da çeşitli çalışmalarda borun üç temel süreçten sorumlu olduğu önerilmektedir: hücre duvarı yapısını sağlamak, membran fonksiyonunu sürdürmek, metabolik aktiviteleri desteklemektir (Avşar 2011).

1920'lerden beri de borun birçok yüksek bitki için ve diğer birçok organizma için önemli bir mikronutrient olduğu bilinmektedir (Carrano vd. 2009). Borun bitkiler için önemli olduğunun belirlendiği ilk çalışmalardan beri borun diğer türlere etkisinin belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Spesifik bakterilerde, *Frankia* cinsi aktinomisetlerde zar yapısında (Bolaños vd. 2004) ve mayalarda (*Saccharomyces cerevisiae*) gelişmede önemli rol oynadığı belirlenmiştir (Bennett vd. 1999).

Bitkiler için gerekli tüm elementler içinde bor, eksiklik belirtilerine neden olan düzeyi ile toksik etki yapan düzeyi birbirine çok yakın olma özelliğindeki tek elementtir. Bir bitki için optimum olan bor konsantrasyonunun diğer bitkiler için son derece toksik olabileceği gösterilmiştir (Gupta vd. 1985, Tanrıseven 2013).

Bor, bitkilerin aktif olarak büyüyen kısımlarına su, besin ve organik bileşiklerin taşınmasını sağlar. Örneğin, bitkilerde bodurluğun nedeni olan apikal (üst) büyüme bölgelerinde hücre sayısının azalması bor eksikliği belirtisidir. Yüksek bitkilerin büyüme ve gelişmesinde önemli olan borun eksikliği genellikle reproduktif gelişmede problemlere neden olduğu gibi dünyanın pek çok yerinde bitkisel ürünlerin üretiminin azalmasına sebep olmaktadır (Iwai vd. 2006).

İnsanlar üzerinde yapılan sınırlı çalışmalar borun kalsiyum, bakır, magnezyum, azot, glikoz ve trigliseritler gibi yaşam sürecinde önemli olan pek çok bileşenin kullanılması ve metabolizmasında etkin roller üstlendiğini ortaya koymaktadır. Bu rollerinden dolayı çeşitli vücut bölümlerinin (iskelet, beyin ve kan) yapılarını ya da fonksiyonlarını etkileyebilmektedirler (Demirtaş 2010).BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) kanser tedavisinde kullanılmaktadır. Özellikle; beyin kanserlerinin tedavisinde hasta hücrelerin seçilerek imha edilmesine yaraması ve sağlıklı hücelere zararının minimum düzeyde olması nedeniyle tercih nedeni olabilmektedir. Metabolizmadaki bor, kalsiyum, magnezyum ve fosfor dengesini ayarlar. Sağlıklı kemiklerin oluşumuna, kasların ve beyin fonksiyonlarının gelişimine yardım eder (Dembitsky vd. 2002).

Hayvanlarda ve insanlarda borun görevi kesin olarak bilinmemekle beraber eksikliği *Xenopus laevis*'te embriyo-larval gelişim sırasında bağırsak ve gözün anormal gelişimine neden olduğu gösterilmiştir (Nozawa vd. 2006). Klinik çalışmalar, Ca ve Mg eksikliğinden kaynaklanan stresi önlemek için günde en az 1 mg borun yararlı olduğunu ortaya koymuştur. Bor, eklem fonksiyonları ve kemikler için gerekli olan kalsiyum ile magnezyumun metabolizmasında önemli rol oynamaktadır. Bor mineralinin, Ca ve Vitamin D'nin aktivasyonu yanında, kemik dokusunun korunması ve demineralizasyonun önlenmesinde, bağışıklık ve hormonal sistemin güçlendirilmesinde etkili olduğu belirtilmektedir (Velioglu vd. 2003).

Canlılara sağladıkları yararlar ve eksikliğinde ortaya çıkan sorunlar dışında, mikrobesein olan bazı elementler, dozlarına, maruz kalma süresine ve uygulanma metoduna bağlı olarak toksik olabilmektedir. Borun yayıldığı alanlarda bitkilerden hayvanlara tüm ekosistem de bor etkisine maruz kalmaktadır. Bor konsantrasyonları beklenenden yüksek değerlerde olduğunda istenmeyen etkilerin görülmesi kaçınılmazdır. Bitkilerin bu elemente karşı hassas olmaları nedeniyle tarımsal üretimde oldukça büyük zararlara neden olmaktadır. Sulama, içme suyu ve topraktaki bor düzeylerinin yüksek olması besin zinciri yolu ile insan sağlığını da etkilemektedir.

Dünyanın bazı bölgelerindeki tarımsal alanlarda mikrobeseinlerin yüksek seviyelere ulaşması ekili bitkilerde toksisiteye sebep olurken, borca zengin topraklar da hem bor

toksisitesine hem de tarımsal verimliliğin düşmesine neden olmaktadır. Farklı bitki türleri, borik asite membran geçirgenliği farklılıklarından dolayı değişken bor toleransı göstermektedir. Çeşitli mikroorganizmalara toksisitesinden dolayı da 1950'lerin ortalarına kadar gıda koruyucusu olarak kullanılmıştır. Günümüzde de klinik çalışmalarda antifungal ajan olarak kullanılmaktadır (Takano vd. 2006).

Borun hayvanlardaki toksik etkisi besinlerle alınan bor $100 \mu\text{g g}^{-1}$ a ulaştığında gözlenmektedir (Kabu ve Akosman, 2013)Yapılan çalışmalarda balıkların erken yaşam evrelerinde de borat toksisitesi birkaç tür için belgelenmiştir. Borat toksisitesi ayrıca fareler, sıçanlar ve köpekler için de belgelenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü insanlarda günlük maksimum bor alımının 13 mg/ gün olması gerektiğini belirtmiştir (Velioglu vd. 2003). Ancak borun toksik etkilerinden insanların ne kadar etkilendiğinin öğrenilmesi için daha ileri çalışmalar yapılmalıdır.

2.6.3 Mayalarda bor direnç mekanizmaları

Bor taşınması ve toleransı ile ilgili birçok canlıda çeşitli genler belirlenmiştir. *Arabidopsis thaliana*'da bulunan BOR1, borun taşınmasını ve sürgünlerin bor eksikliğinden korunmasını sağlamaktadır. BOR1'in homologları maya bitki ve insan dâhil pek çok organizmada bulunmaktadır. *A.thaliana* BOR1'in (AtBOR1) açığa çıkarılması *Saccharomyces cerevisiae*'da potansiyel bir bor taşıyıcının tanımlanmasına ışık tutmuştur. *S. cerevisiae* Bor1 proteini (Bor1p) mayalarda bor toleransı sağlayan ve hücre içi bor konsantrasyonunu azalttığı gösterilen ilk maya proteinidir. Plazma membranında yer alan Bor1p, AtBOR1'e ve hayvanlarda bulunan bikarbonat taşıyıcılara büyük benzerlik göstermektedir (Takano vd. 2006).

Nozawa vd. (2006) yaptıkları çalışmada, BOR1'e ek olarak, mayada bulunan diğer iki taşıyıcı, DUR3 ve FPS1'in de bor toleransında rol oynayan bir etmen olduğunu önermektedir. Yapılan çalışmada, kontrol hücreleriyle karşılaştırıldığında *BOR1* ya da *FPS1*'i aşırı eksprese eden hücreler daha az bor konsantrasyonuna sahipken *DUR3*'ü aşırı eksprese eden hücrelerin daha yüksek bor konsantrasyonuna sahip olduğu belirlenmiştir.

Bor toleransı ve taşınmasıyla ilgili yapılan başka bir çalışmada (Kaya vd. 2009) maya DNA ekspresyon kütüphanesinin taranması ile *ATR1* bor tolerans geni tanımlanmıştır. Çalışmada 30 bor dirençli transformant izole edilmiş ve hepsinin *ATR1* (YML116w) genine sahip olduğu gözlenmiştir. *ATR1* geninin yüksek kopya sayılı ekspresyonu bora şiddetli bir direnç göstermekte ve hücre içi bor miktarını azaltmaktadır. Bu genden yoksun olan hücreler bora aşırı duyarlı ve hücre içinde aşırı bor biriktirmektedir. Analizler sonucu *ATR1*'in bora cevap olarak en fazla indüklenen gen olduğu belirlenmiştir.

ATR1'in bor taşınmasında en önemli protein olduğu belirlendikten sonra bu genin paraloglarının (aynı organizmada -genomda- bulunan aynı kökenden gelen genler) mayada bor stres toleransında yer alıp almadığı araştırılmıştır (Bozdağ vd. 2011). Bu paralog genler, *YMR279c* ve *YOR378w*, mayada klonlanmış ve ekspresyonu sağlanmıştır. Bu genler *ATR1* ile homolojiye sahip olmalarına rağmen ne onların delesyonuna sahip hücreler bora duyarlı ne de ekspresyonları bor muamelesiyle düzenlenmektedir. Bununla birlikte, yüksek kopya plazmid üzerinde *YOR378w* değil fakat *YMR279c*'un ifadesi, hücre içi bor seviyesini azaltarak bor direnci sağlamaktadır. *ATR1*'e benzer fonksiyonları olan *YMR279c* mayada bor direnci sağlayan üçüncü bor taşıyıcısı olarak düşünülmektedir.

2.6.4 Borlu atık suların arıtımı

Literatürde bor arıtım çalışmaları membran filtrasyonu (Güler vd. 2011), adsorpsiyon-flokülasyon (Chong vd. 2009, Kavak 2009), elektrokoagülasyon (Yılmaz vd. 2008), reverse osmosis (Öztürk vd. 2008), presipitasyon (Itakura vd. 2005) ve iyon değiştirme gibi (Okay vd. 1985) çeşitli metotlarla yapılmıştır (Hou vd. 2010, Hilal vd. 2011, Zhai vd. 2011, Wolska ve Bryjak 2013). Ancak bu metotlar işletim, bakım-onarım maliyetleri ve kimyasalların kullanımı yönünden umut vaat edici olarak görülmemektedir.

Bor konsantrasyonları olması gerekenden yüksek değerlere ulaştığında bor arıtımı da kaçınılmaz olmaktadır. Bu bağlamda çevreye ikincil bir zararın verilmeden, en ucuz ve en basit haliyle, en yüksek verimle bor gideriminin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla

çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Son yıllarda hem çevre dostu hem de düşük maliyetli olması bakımından biyolojik materyaller kullanılarak yapılan bor giderimi dikkat çekmektedir (Del-Campo Marín ve Oron 2007, Sasmaz ve Obek 2009, Taştan vd. 2012).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 İzolasyon

Çalışmada mikroorganizmaların izole edileceği kaynak su olarak; Kütahya ilinin Emet ilçesinde bulunan Emet Bor İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Borik Asit Fabrikası'ndan alınan bor içeren atık su kullanılmıştır.

Atık sudan alınan örnekler bor içeren agarlı Minimal Salt Medium (MSM) besiyerinde (Afzal vd. 2007) petrilerde geliştirilmiştir.

MSM Bileşimi	Miktar(g/L):
KH ₂ PO ₄	1.7
(NH ₄) ₂ SO ₄	2.69
MgSO ₄	0.2
CaCl ₂	0.03
Agar	15
Glukoz	1

Atık su örneklerinden iki fungal koloni, artan konsantrasyonlarda bor (3, 6, 9, 12 ve 20 mg/L) içeren MSM agarlı petrilerde 25±2 °C'de inkübe ederek saflaştırılmıştır. İzole edilen saf koloniler +4 °C'de muhafaza edilmiş ve her 3 ayda bir 20 mg/L bor içeren MSM besiyerine aktararak yenilenmiştir.

3.2 Mikroorganizmaların Tanınması

Tez çalışması kapsamında atık sudan elde edilen bora dirençli mikroorganizmaların moleküler düzeyde tanınması RefGen Gen Araştırmaları Biyoteknoloji Limited Şirketi'ne (ODTÜ Teknokent Ankara) yaptırılmıştır.

İzolatların eksponansiyel gelişme evresinde olan kültürdeki tüm hücreleri 5.8 rRNA gen amplifikasyonu için kullanılmıştır. 5.8S rRNA bölgesi verilen primerlerle çoğaltılmıştır. İleri primer olarak F ITS1: 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3, reverse primer olarak R ITS4: 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3 kullanılmıştır. PCR reaksiyonu 50 µL reaksiyon çözeltisi içinde gerçekleşmiştir. Reaksiyon karışımı her bir primerden 0.4 µM, her bir dNTP'den 0.2 mM, 1.5 mM MgCl₂ ve 1 X Taq buffer (thermo) içermektedir. Taq polimeraz amplifikasyonda kullanılmıştır. Amplifikasyon başlangıç denatürasyonu 94 °C'de 5 dakika yürütülmüştür. Bunu 30 saniye boyunca denatürasyonun 30 siklusu takip etmiştir. 50 °C'de 30 saniye boyunca primerler açılan DNA zincirlerine bağlanmış ve 72 °C'de 45 saniye boyunca uzama gerçekleşmiştir.

3.3 Biyokütle Eldesi

Tez çalışmasında borlu atık sudan izole edilen funguslar, melas içeren besiyerine aktarılmış ve 250 ml hacmindeki erlenlerde 100 ml olarak hazırlanmış pH'ı 6 olan besiyerlerinde 72 saat 25± 2°C'de çalkalamalı inkübatörde üretilmiştir. Melaslı besiyerinin bileşimi aşağıda verilmiştir.

Melaslı besiyeri bileşimi (Aksu ve Dönmez, 2000)

Bileşen	Miktar
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.0g/L
KH ₂ PO ₄	0.5g/L
Melas	80 ml/L

İnkübasyon süresi sonunda santrifüj tüplerine aktarılan fungal kültürlerin 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmesiyle yaş biyokütle elde edilmiştir. Toplanan yaş biyokütle +4°C'de saklanmıştır.

3.4 Bor Solüsyonu

Çalışmalarda kullanılacak stok bor solüsyonu, borik asidin (H_3BO_3 , Carlo Erba) son konsantrasyonu 10 g/L olacak şekilde seyreltilmesiyle hazırlanmıştır. Bu solüsyondan uygun miktarlar biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılmıştır.

3.5 Biyosorpsiyon Çalışmaları

Biyosorpsiyon çalışmaları, 150 ml'lik erlenlerdetoplam hacim 50 ml olacak şekilde bor ve biyokütle içeren distile sudaüç paralel olarak yürütülmüştür. Erlenlerdeki biyosorpsiyon ortamlariki saat süreyle $25^{\circ}C$ 'de 100 rpm çalkalamalı inkübatörde belirli aralıklarla (0, 30, 60, 120. dakika) örnekler alınarak inkübe edilmiştir.

3.5.1 Optimum pH değerinin belirlenmesi

Yaş fungal biyokütle son hacim 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde pH'ı 4, 6 ve 8'e ayarlanmış biyosorpsiyon ortamına alınmıştır.

3.5.2 Optimum Bor konsantrasyonunun belirlenmesi

Biyosorpsiyon çalışmaları, seçilen optimum pH'da, yaklaşık 15 - 25 mg/L konsantrasyon aralıklarında bor içeren biyosorpsiyon ortamlarında 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş biyokütle kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.5.3 Optimum biyokütle konsantrasyonunun belirlenmesi

Bor biyosorpsiyonuna biyokütlenin etkisini belirlemek amacıyla, optimum pH'ta ve yaklaşık 16mg/L bor konsantrasyonunda; 1, 2 ve 4 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş fungal biyokütle ile denemeler yapılmıştır.

3.5.4 Farklı biyokütle hazırlama yöntemleri

Çalışmalarda, kurutulmuş ve formaldehit ile inaktive edilen fungal biyokütlenin bor biyosorpsiyon etkinliği araştırılmıştır. Melaslı besiyerinde üretilen ve 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenerek ayrılan fungal biyokütle 80°C'de 24 saat ağırlığı sabit kalana kadar kurutulmuştur.

İkinci inaktivasyon yöntemi için yaş fungal biyokütle %2'lik formaldehit ile 20 dakika muamele edilmiş ve hücreler iki kez distile suyla yıkanıp tekrar santrifüj edilmiştir.

Optimum pH'ta ve 18.75mg/L bor konsantrasyonunda gerçekleştirilen biyosorpsiyon çalışmalarında, 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş biyokütle ile birlikte iki farklı yöntemle inaktive edilmiş fungal biyokütle kullanılmıştır.

3.6 Analiz Yöntemleri

3.6.1 Kuru ağırlığın belirlenmesi

Kuru hücre ağırlığı fungusların 3421 x g = 5000 rpm'de 10 dakika boyunca santrifüj (Hettich® EBA12 Germany) edilmesinin ardından 80°C'de 24 saat etüvde (Nüve FN 400) kurutulup tartılmasıyla belirlenmiştir.

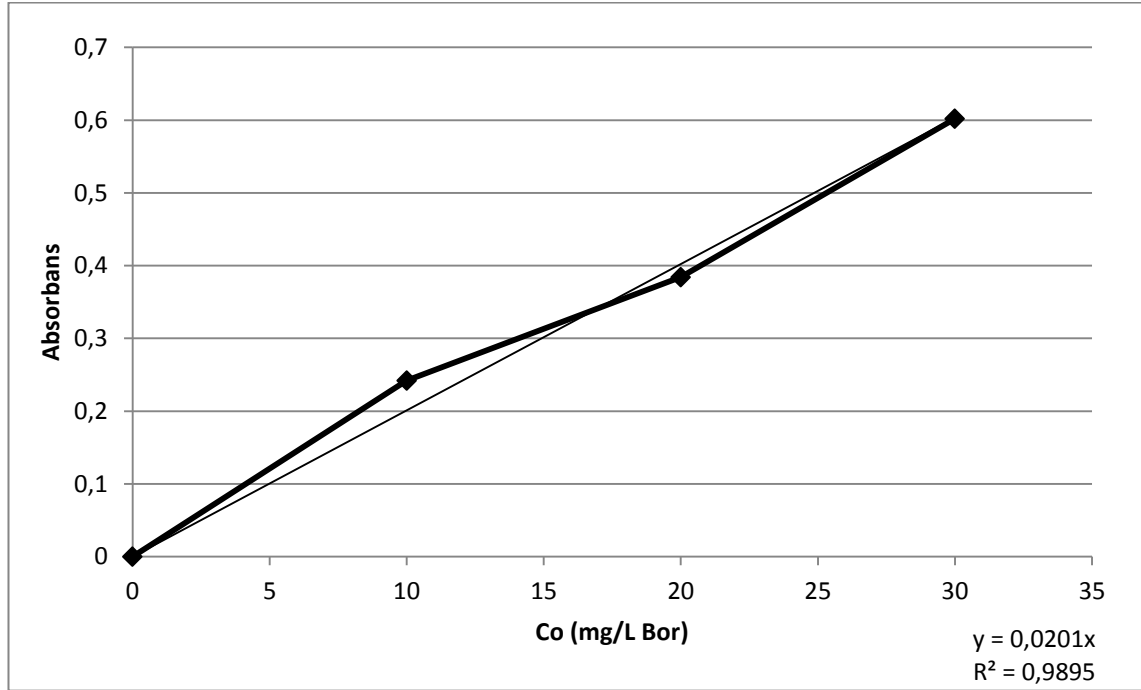
3.6.2 Bor analizi

Biyosorpsiyon çalışmalarında süspansiyondaki bor miktarı Adams (1990) tarafından geliştirilen "karmin metodu" izlenerek 585 nm dalga boyunda spektrofotometrik (Shimadzu® UV 2001 Japan) olarak analiz edilmiştir.

3.7 Bor Standartının Hazırlanması

Bor standartının hazırlanması amacı ile 25 ml'lik balon jöjelerdeki distile suya 0, 10, 20 ve 30 mg/L bor ilave edilmiştir. Standartı bulmak amacı ile hazırlanan bu ortamlardan

alınan örnekler karmin metoduyla analiz edilmiştir. Şekil 3.2’de bor standartı gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Biyosorpsiyon çalışmaları için bor standartı

Sonuçların değerlendirilmesinde kullanılan formüller

C_0 : Başlangıç borkonsantrasyonu (mg/L)

C_t : Mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırdığı borkonsantrasyonu (mg/L)

% Biyosorpsiyon: $\frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$

q_m : $\frac{(C_0 - C_t)}{X_m}$

q_m : Mikrobiyel kütlenin gramı başına giderilen bor konsantrasyonu (mg/g)

X_m : Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/L)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışmasında borlu atık sudan izole edilen funguslar, yapılan moleküler analizler sonucu *Rhodotorula mucilaginosa* ve *Penicillium crustosum* olarak tanımlanmıştır.

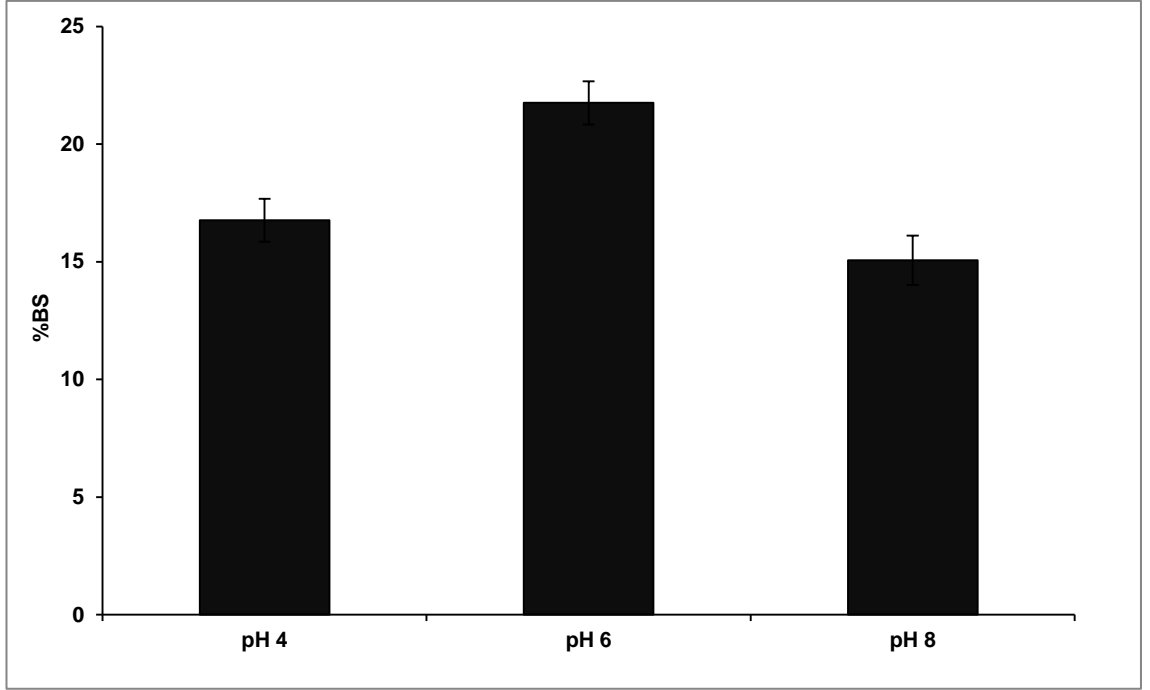
R. mucilaginosa ve *P. crustosum* ile bor biyosorpsiyon çalışmalarında, ortam pH'sının, artan bor ve biyokütle konsantrasyonları ile biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi araştırılmıştır.

4.1 Bor Biyosorpsiyonuna pH'ın Etkisi

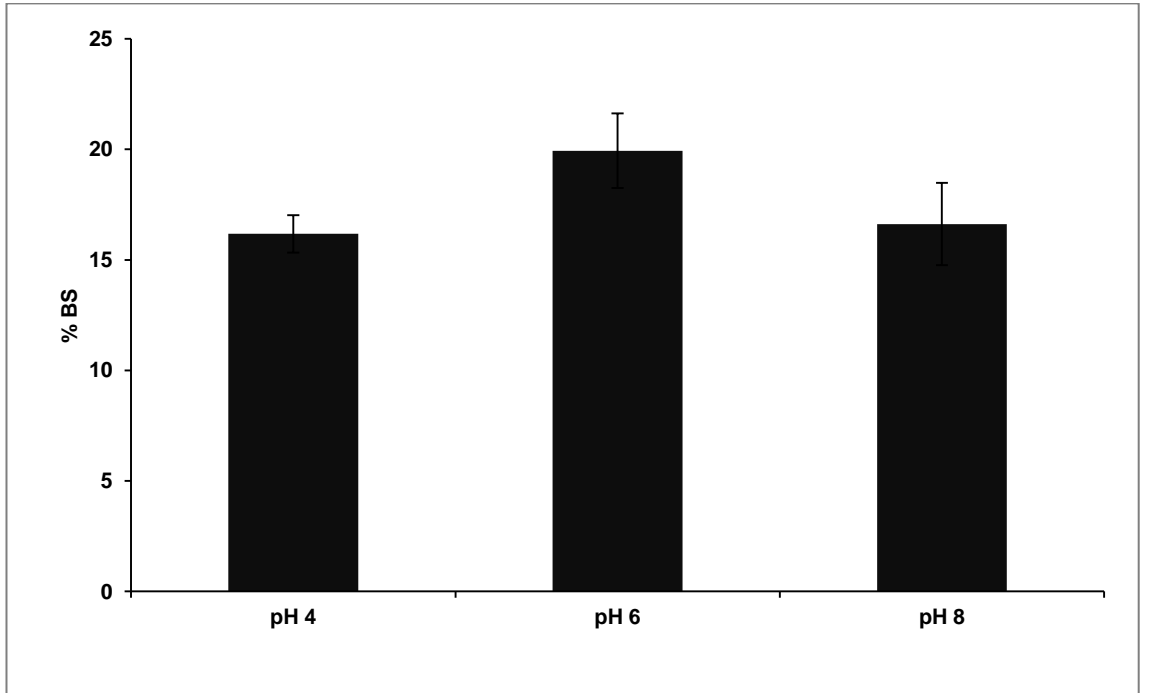
Deneysel çalışmalarda optimum pH'ın belirlenebilmesi için yaş fungal biyokütle son hacim 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde pH'ı 4, 6 ve 8'e ayarlanmış biyosorpsiyon ortamına alınmıştır.

R. mucilaginosa ile yapılan pH çalışmaları 15.80 mg/L (pH 4), 16.55 mg/L (pH 6) ve 15.60 mg/L (pH 8) bor ilave edilen biyosorpsiyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda bor biyosorpsiyonunun pH 4 ve 8'de düşük olduğu, optimum biyosorpsiyonun ise pH 6'da gerçekleştiği belirlenmiştir. Şekil 4.1'de *R. mucilaginosa* için farklı pH değerlerinde biyosorpsiyon verimi gösterilmiştir.

P. crustosum ile yapılan pH çalışmaları da 17.00 mg/L (pH 4), 17.05 mg/L (pH 6) ve 19.85 mg/L (pH 8) başlangıç bor konsantrasyonunda gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda *R. mucilaginosa* için bulunan aynı değer olan pH 6'da optimum biyosorpsiyonun olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.2 de *P. crustosum* için farklı pH değerlerinde biyosorpsiyon verimi gösterilmiştir.

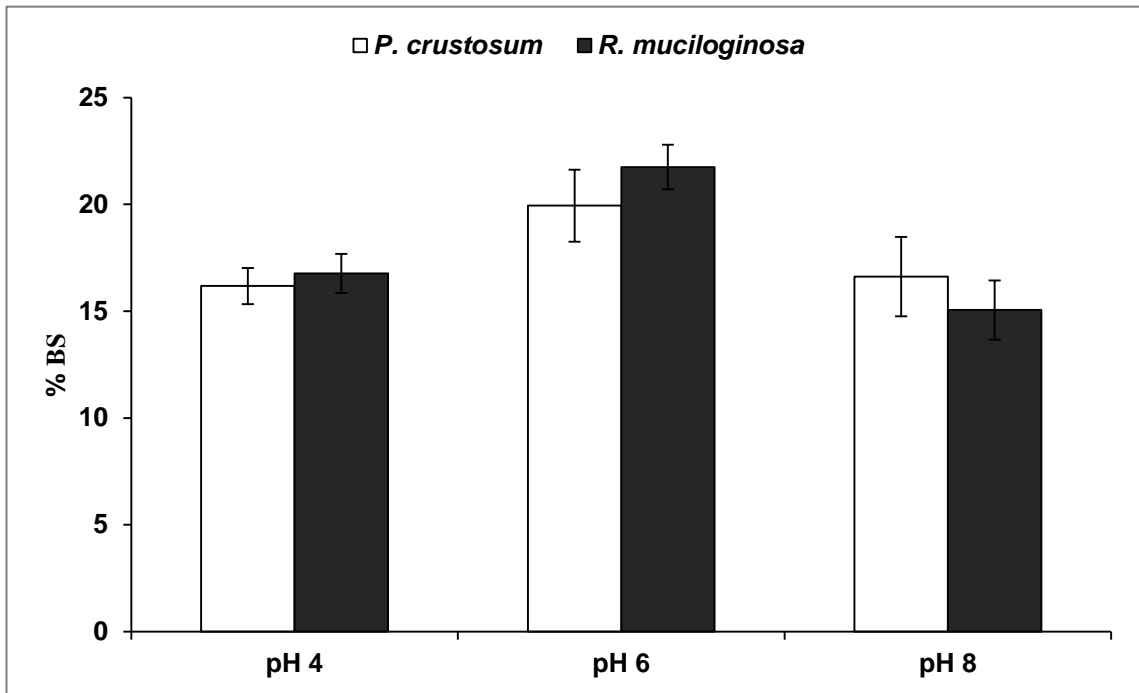


Şekil 4.1 *R. mucilaginosa* için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonuna etkisi
(Co: 15.80 (pH 4), 16.55 (pH 6) ve 15.60 (pH 8) mg/L, İS: 120 dakika; S: 25±1 °C, ÇH; 100 rpm)



Şekil 4.2 *P. crustosum* için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonuna etkisi
(Co: 17.00 mg/L (pH 4), 17.05 mg/L (pH 6) ve 19.85 mg/L (pH 8), İS: 120 dakika, S: 25±1°C; ÇH; 100 rpm)

Her iki fungus türünün birbiriyle kıyaslaması şekil 4.3'te gösterilmiştir. Denenen fungusların aynı pH'da optimum biyosorpsiyon yaptığı ancak *R. mucilaginosa*'nın % 21.75 verimle, *P. crustosum*'dan daha yüksek (% 19.94) verimle bor biyosorpsiyonu gerçekleştirdiği belirlenmiştir. Denemeler sonucu *R. mucilaginosa*'nın düşük pH değerlerinde *P. crustosum*'dan daha yüksek bor biyosorpsiyonu yaptığı, yüksek pH'da ise *P. crustosum*'un daha yüksek bor biyosorpsiyonu yaptığı gözlenmiştir. Her iki fungal türünde denenen tüm pH'larda bor biyosorpsiyonu yapabilmesi, bu türlerin geniş pH aralıklarında etkin olabileceğini göstermektedir.

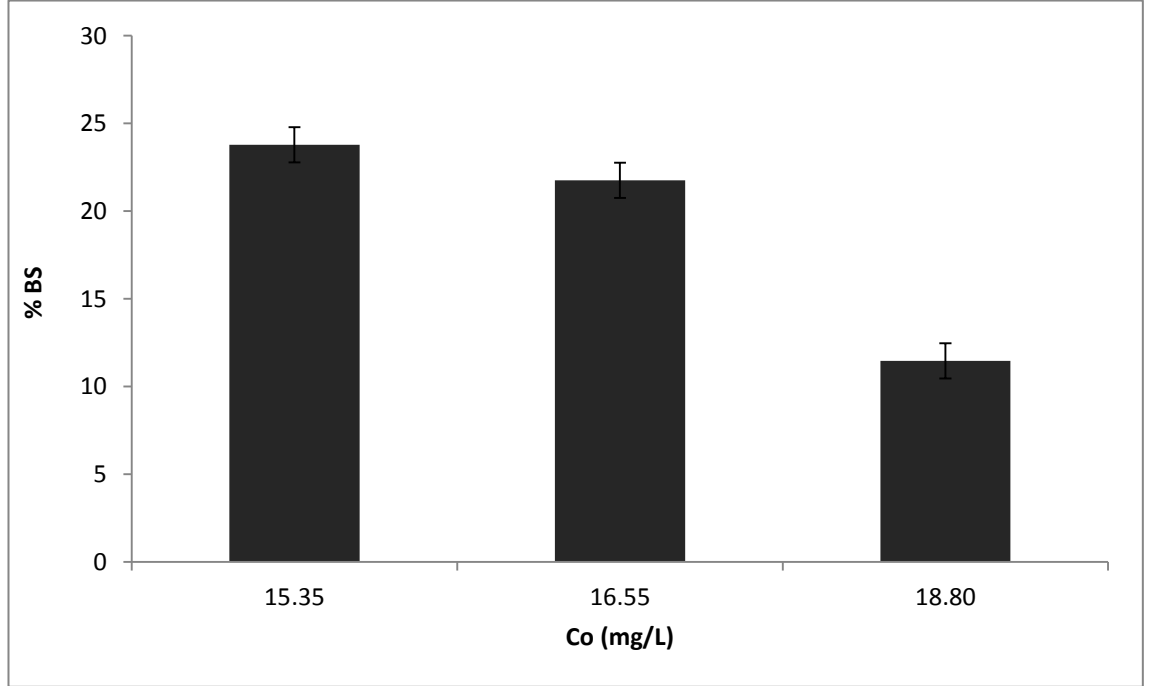


Şekil 4.3 *R. mucilaginosa* ve *P. crustosum* için farklı pH değerlerinin bor biyosorpsiyonu üzerindeki etkisi (*P. crustosum* için Co: 17.00 mg/L (pH 4), 17.05 mg/L (pH 6) ve 19.85 mg/L, *R. mucilaginosa* için Co: 15.80 (pH 4), 16.55 (pH 6) ve 15.60 (pH 8) mg/L (pH 8), İS: 120 dakika; S: 25±1 °C, ÇH: 100 rpm)

4.2 Başlangıç Bor Konsantrasyonunun Etkisi

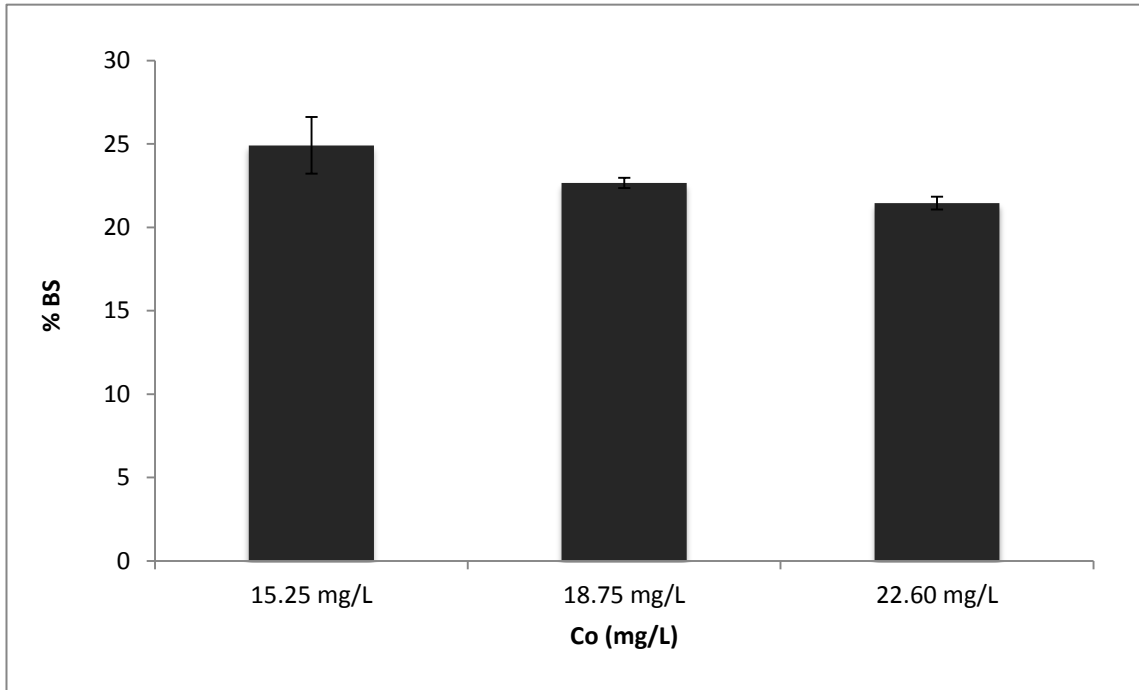
Artan bor (yaklaşık 15 - 25 mg/L) konsantrasyonlarının bor biyosorpsiyonuna etkisi, pH 6'da hazırlanan biyosorpsiyon ortamlarında 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş biyokütle kullanılarak belirlenmiştir.

R. mucilaginosa ile yapılan biyosorpsiyon çalışmaları, şekil 4.4'te gösterilmiştir. Denemelerde başlangıç bor konsantrasyonundaki artışla bor biyosorpsiyonunun düştüğü en yüksek bor biyosorpsiyonun düşük başlangıç bor konsantrasyonlarında olduğu saptanmıştır. Buna göre *R. mucilaginosa* 120. dakikada 15.35 mg/L başlangıç bor konsantrasyonunda % 23.78 verimle bor biyosorpsiyonu yapmıştır.



Şekil 4.4 *R. mucilaginosa*'da başlangıç bor konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi
(Co: 15,35, 16.55, 18.80 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6; S: 25±1 °C, ÇH:100 rpm)

P. crustosum ile yapılan artan başlangıç bor konsantrasyonlarının bor biyosorpsiyonuna etkisi çalışmaları şekil 4.5'te gösterilmiştir. Buna göre *P. crustosum* 120. dakikada 15.25 mg/L olan denenen en düşük bor konsantrasyonunda en yüksek % 24.92 verimle bor biyosorpsiyonu yapmıştır. *R. mucilaginosa*'dan farklı olarak *P. crustosum* ile yapılan denemelerde başlangıç bor konsantrasyonlarındaki artış, bor biyosorpsiyonunu olumsuz etkilememiş, yüksek konsantrasyonlarda da fungus etkin bor giderimi yapmıştır. Denenen en yüksek başlangıç bor konsantrasyonunda (22.6 mg/L) *P. crustosum* tarafından %21.46 verimle bor biyosorpsiyonunun yapılması, bu fungal türün artan bor konsantrasyonlarından olumsuz yönde etkilenmediğini göstermiştir.

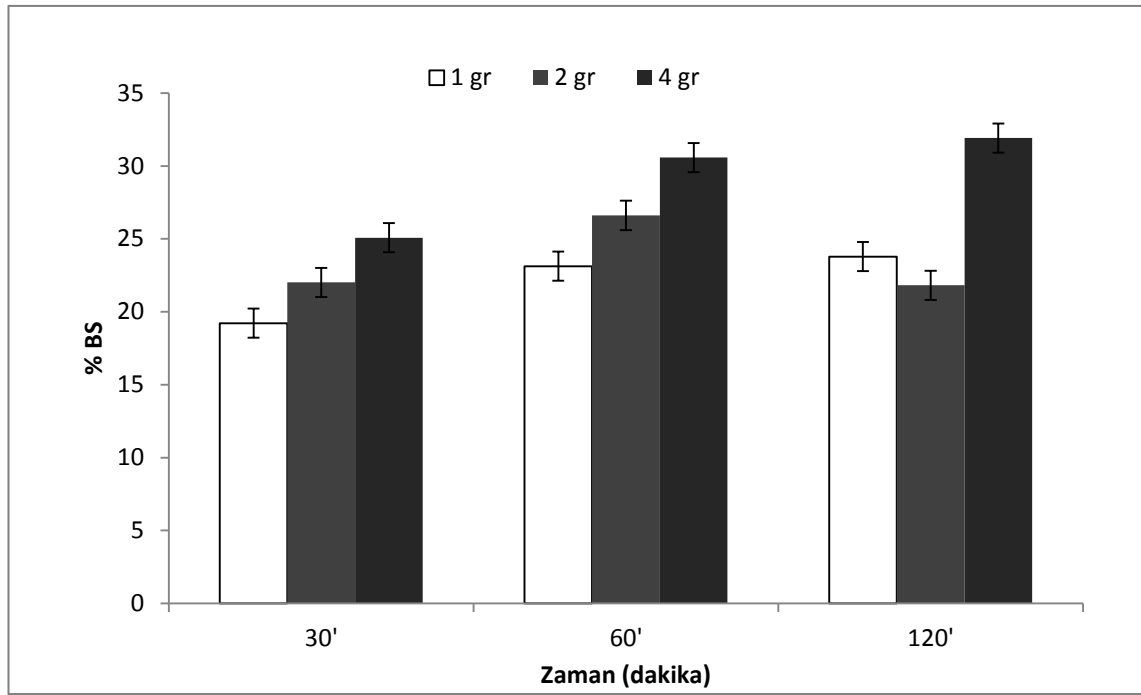


Şekil 4.5 *P. crustosum*'da başlangıç bor konsantrasyonunun biyosorpsiyona etkisi
(Co: 15.25, 18.75, 22.60 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6,S: 25±1 °C; ÇH:100 rpm)

4.3 Bor Biyosorpsiyonunda Biyokütle Miktarının Etkisi

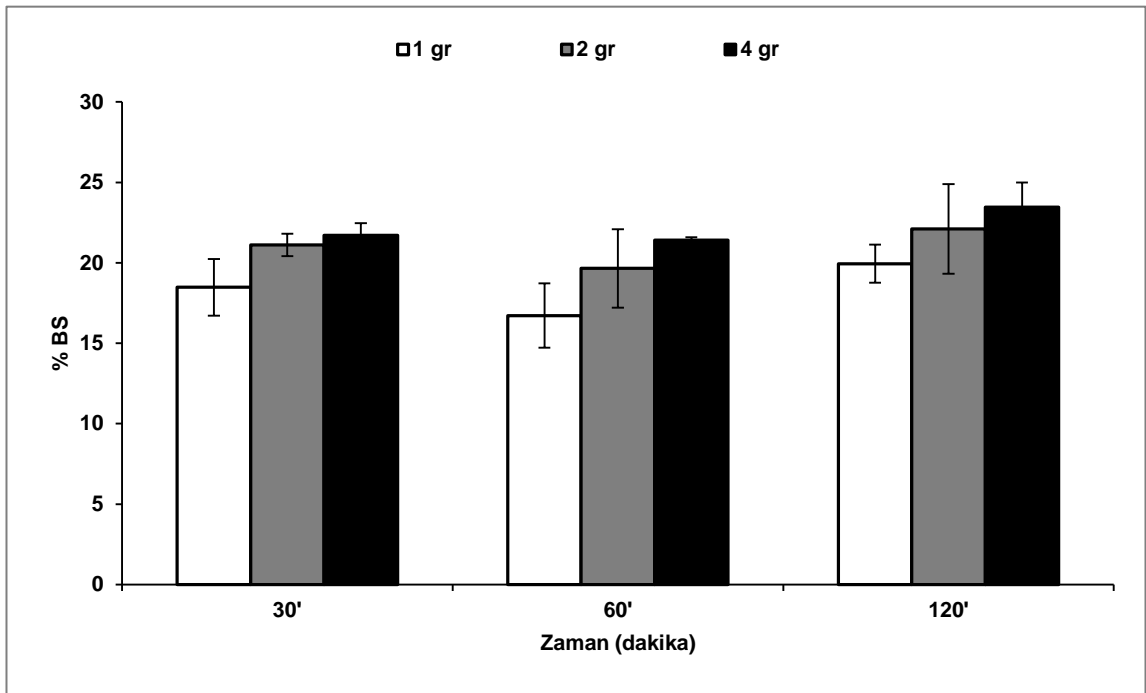
Bor biyosorpsiyonuna biyokütlenin etkisini belirlemek amacıyla, pH 6'da ve 15.35 ve 17.05 mg/L başlangıç bor konsantrasyonunda, 1, 2 ve 4 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş fungal biyokütle ile denemeler yapılmıştır.

Artan biyokütle konsantrasyonlarının *R. mucilaginosa* bor biyosorpsiyonuna etkisi Şekil 4.6'da verilmiştir. Denenen her üç biyokütle konsantrasyonunda da üç farklı zamanda alınan örneklerde, biyokütle miktarı arttıkça bor biyosorpsiyonunda artış gözlenmiştir. Düşük biyokütle konsantrasyonlarında inkübasyon süresindeki artış belirgin bir farklılık yaratmamıştır. En yüksek bor biyosorpsiyonu 4 g/L biyokütle konsantrasyonunda 120. dakikada % 31.9 verimle gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6 *R. mucilaginosa* için bor biyosorpsiyonunda biyokütle miktarının etkisi
(Co:15.35 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6, S: 25±1 °C, ÇH: 100 rpm)

P. crustosum ile yapılan artan biyokütle konsantrasyonlarının bor biyobirikimine etkisi deney sonuçları Şekil 4.7’de gösterilmiştir. *R. mucilaginosa* biyokütle çalışmasına benzer şekilde artan biyokütle konsantrasyonlarında bor biyosorpsiyonunda artış belirlenmiştir. Ancak biyosorpsiyon süresindeki artış bor biyosorpsiyonunu arttırmamıştır. Denenen tüm biyokütle konsantrasyonlarında *P. crustosum*, *R.mucilaginosa*’dan daha kısa sürede bor biyosorpsiyonu yapmıştır. Denemelerde ilk ölçüm süresi olan 30. dakikada üç biyokütle konsantrasyonunda bor giderimi ile 120. dakikada yapılan ölçümlerde belirgin bir farklılık olmamıştır.

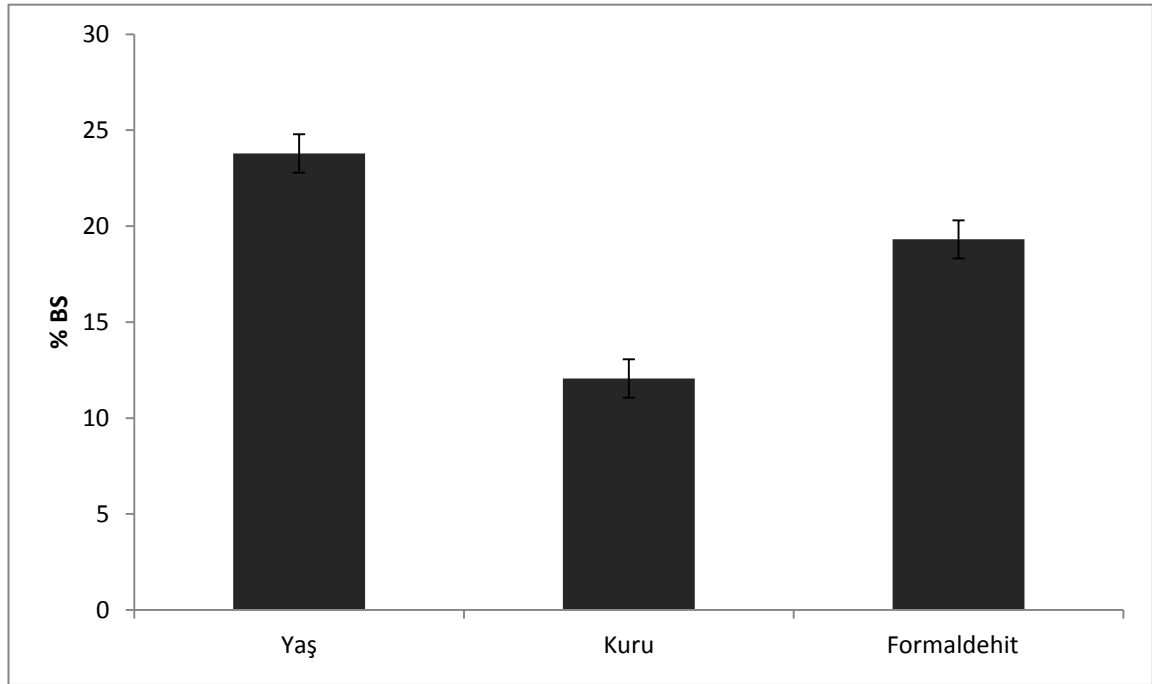


Şekil 4.7 *P. crustosum* için bor biyosorpsiyonunda biyokütle miktarının etkisi
(Co:17.05 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6, S: 25±1 °C; ÇH: 100 rpm)

4.4 Bor biyosorpsiyonunda Farklı Biyokütle Hazırlama Yöntemlerinin Etkisi

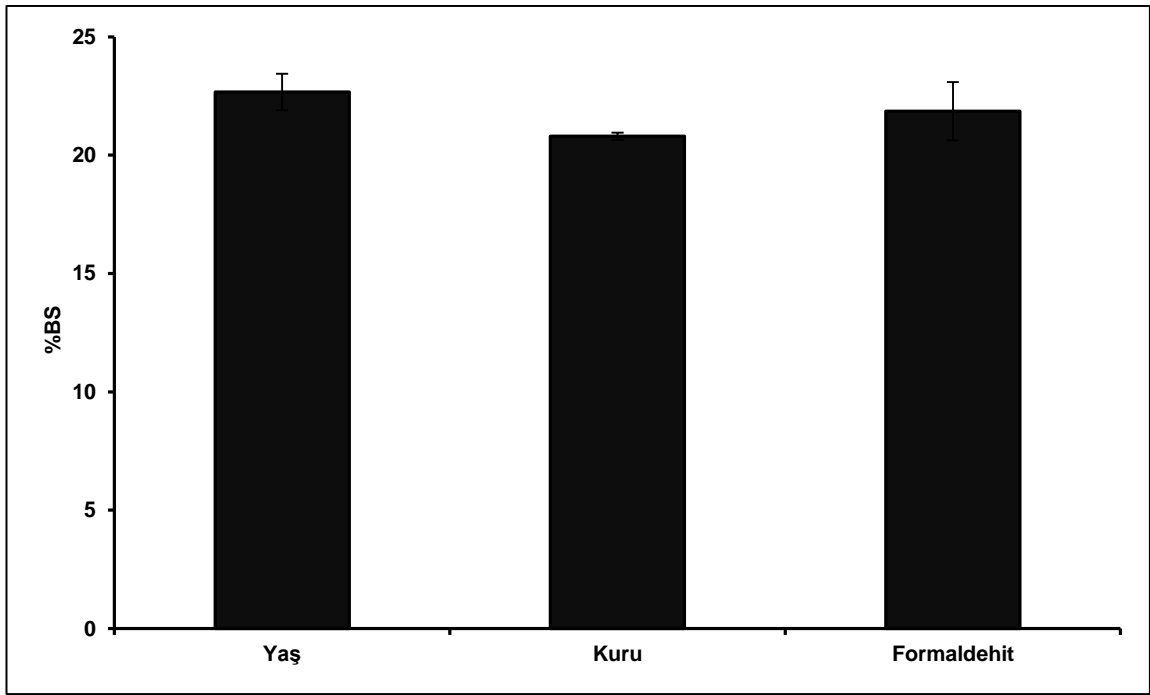
Yaş fungal biyokütle, formaldehit ile inaktive edilmiş yaş biyokütle ve kurutulmuş fungal biyokütle ile yapılan denemelerde farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin bor biyosorpsiyonuna etkisi, *R. mucilaginosa* için Şekil 4.8’de, *P. crustosum* için de Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

R. mucilaginosa ile pH 6’da, 15.35 mg/L başlangıç bor konsantrasyonunda ve 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde üç farklı biyokütle ile yapılan denemelerde, en fazla bor biyosorpsiyonu yaş biyokütleyle elde etmiştir. Yaş fungal biyokütle çalışmanın 120. dakikasında %23.78 verimle bor biyosorpsiyonu yapmıştır. Bunu formaldehit ile muamele edilen %19.31 biyokütleyle yapılan biyosorpsiyon izlemiştir. Kurutulmuş hücreler ise %12.07 oranında bor giderimi yapmıştır.



Şekil 4.8 *R. mucilaginosa* için bor biyosorpsiyonunda farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi (Co: 15.35 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6, S: 25±1 °C; ÇH, 100 rpm)

Şekil 4.9’da verilen *P. crustosum* ile yapılan bor biyosorpsiyonunda, denenen üç biyokütle tipinde de benzer bor gideriminin olduğu görülmektedir. *R. mucilaginosum* ile yapılan denemelerde farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin bor biyosorpsiyonunda etkili olduğu gözlenirken, *P. crustosum* ile yapılan bor biyosorpsiyonunda bu etki görülmemiştir. *P. crustosum* fazla bor giderimini yaş biyokütleyle yapmıştır. Yaş biyokütle ile çalışmanın 120. dakikasında %22.67 verimle bor biyosorpsiyonu gerçekleşmiştir. Kuru biyokütle ise % 20.80 verimle bor giderimi yapmıştır. Bunu %21.86 ile formaldehit ile hazırlanan biyokütlenin yaptığı bor biyosorpsiyonu izlemiştir.



Şekil 4.9 *P. crustosum* için bor biyosorpsiyonunda farklı biyokütle hazırlama yöntemlerinin etkisi (Co:18,75 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6; S: 25±1 °C; ÇH; 100 rpm)

P. crustosum ve *R. mucilaginosa* funguslarının üç farklı yöntemle hazırlanan biyokütlelerinin maksimum spesifik bor giderimi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. *R. mucilaginosa* ile yapılan denemelerde yüzde bor biyosorpsiyonundaki düşüşe paralel olarak maksimum spesifik bor giderimi de azalmıştır. *P. crustosum* ile yapılan bor biyosorpsiyonundaki etki görülmemiştir. *P. crustosum* denenen tüm biyokütle hazırlama yöntemlerinde, benzer yüzde bor biyosorpsiyon verimi ve maksimum spesifik bor giderimi yapmıştır.

Denemeler sonucunda her iki fungal türün de en fazla bor giderimini yaş biyokütleyle yaptığı belirlenmiştir. Funguslar benzer verimle bor biyosorpsiyonu yapsa da *P. crustosum* daha hızlı ve farklı biyokütle tipleriyle diğer türden daha etkin bor biyosorpsiyonu yapmıştır.

Çizelge 4.1 *P. crustosum* ve *R. mucilaginosa* mikroorganizmalarının maksimum spesifik bor giderimi (q_m) ve % Biyosorpsiyon verimlerinin karşılaştırılması

<i>P. crustosum</i>			<i>R. mucilaginosa</i>	
C ₀ : 18.75 mg/L			C ₀ : 15.35 mg/L	
	%BS	q_m	%BS	q_m
Yaş	22.67±0.8	4.25±0.15	23.78±1.1	4.30±0.87
Kuru	20.8±0.20	3.9±0.04	12.07±1.4	2.60±0.03
Formaldehit	21.86±1.2	4.65±0.52	19.31±2.6	3.65±0.58

(C₀: 18.75 mg/L, İS: 120 dakika; pH: 6, ; S: 25±1 °C; ÇH; 100 rpm)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya bor rezervlerinin % 72,5'ine sahip olan ülkemiz bor rezervleri bakımından dünyanın lider ülkesi konumundadır. 1861'de ilk Osmanlı Maden Yasası'nın çıkmasından günümüze kadar borun çıkarılmasında ve işlenmesinde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

Bor mineralleri ülkemizde açık ocak madenciliği ile çıkarılmaktadır. Çıkarıldıktan sonra madencilik yöntemleri ile işlenerek çeşitli bor kimyasallarına dönüştürülmektedir. Bütün bu işlemler sırasında da yeterli arıtım yapılamadığı takdirde bor toprağa ve sulara karışarak çevreye yayılmaktadır.

Ülkemizde toksik bileşikleri ve borun da dahil olduğu diğer metalleri içeren atık su arıtımı yapan tesislerin sayısı ve arıtım verimleri ne yazık ki yeterli değildir. Arıtım yapan tesislerde çoğunlukla fiziksel ve kimyasal arıtım yapılmakta, biyolojik arıtmise tam verimlilikle gerçekleştirilememektedir. Biyolojik arıtımın yapıldığı bazı tesislerde yurtdışından ithal edilen yüksek maliyetli mikroorganizma karışımları kullanılmaktadır. Ancak gerek maliyeti yüksek olan gerekse ülkemiz koşullarına adaptasyonlarında problemlerle karşılaşılan bu biyokütle ile etkin bir arıtım yapılamamaktadır.

Tez çalışmasında borlu atık sudan iki fungus türü izole edilmiştir. İlki Sporidiobolaceae familyasına ait pigmentli bir maya olan *R. muciloginosa*, diğeri de Trichocomaceae familyasına ait bir filamentli fungus türü olan *P. crustosum*'dur.

Denemelerde kullanılan fungal cinslere ait farklı türlerle çeşitli ağır metallerin biyosorpsiyonu çalışılmıştır. Bu konuda yapılan bazı çalışmalarda tez çalışmasında olduğu gibi fungal türler kirleticilerin olduğu ortamlardan izole edilmiştir.

Velmurugan vd. (2010), Güney Kore Chonnam eyaletindeki yüksek oranda kurşun ve siyanit içeren maden toprağından izole ettikleri fungal türlerden, kurşuna en dirençli türün *Penicillium* sp. MRF-1 olduğunu belirlemişlerdir.

Salinas vd. (2000) yürüttükleri çalışmada *R. rubra* tarafından yapılan kadmiyum ve kurşun giderimini araştırmışlardır. Optimum pH kurşun için 4-4.5 ve kadmiyum için 5.5-6 olarak belirlenmiştir. Diğer biyosorbentlerle karşılaştırıldığında *R. rubra* kadmiyum ve kurşun gideriminde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Tan vd. (2003) *P. chrysogenum* miselyumu ile yaptıkları çalışmada Cr^{3+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} metal iyonlarının biyosorpsiyonunu çalışmışlardır. Sonuçlar bu maliyeti düşük miselyum adsorbentinin yüksek adsorpsiyon kapasitesinden dolayı endüstride atık su arıtımında kullanım potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir.

Say vd. (2003) *P. purpurogenum*'un sulu çözeltilerden kadmiyum, kurşun ve civa giderimini değerlendirmişlerdir. Ağır metal iyonu rekabetçi adsorpsiyon kapasitesi 50 mmol /L metal iyon başlangıç konsantrasyonunda As (III), Hg (II), Cd(II) ve Pb (II) için araştırılmış ve *P. purpurogenum* 'un etkili bir giderim yaptığı gözlenmiştir.

Jiang vd. (2012) yaptıkları çalışmada, *R. mucilaginos*'nın Zn^{2+} ve Cd^{2+} biyosorpsiyonunu ve fungusun bu metallere cevabını araştırmıştır. 10 mg/L Zn^{2+} 'da biyosorpsiyon oranı % 78 olarak, 1 mg/L Cd^{2+} da bu oran %100 olarak belirlenmiştir.

Bai vd. (2012) ise, *R. glutinis* ile uranyum biyosorpsiyonunu araştırmışlardır. Araştırmacılar kesikli kültürde, manyetik olarak modifiye edilmiş *R. glutinis* ile sulu çözeltilerden elde edilen uranyum adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Biyosorpsiyona etki eden başlangıç pH, biyokütle dozajı, maruziyet süresi, sıcaklık, başlangıç uranyum konsantrasyonu ve diğer katyonlar gibi faktörlerle çalışma yapılmış ve *R. glutinis*'in uranyum biyosorpsiyonu için potansiyel bir sorbent olduğu gösterilmiştir.

Literatürde bor arıtım çalışmaları membran filtrasyonu (Güler vd. 2011), adsorpsiyon-flokülasyon (Chong vd. 2009, Kavak 2009), elektrokoagülasyon (Yılmaz vd. 2008), reverse osmosis (Öztürk vd. 2008), presipitasyon (Itakura vd. 2005) ve iyon değiştirme gibi (Okay vd. 1985) çeşitli metotlarla yapılmaktadır (Hou vd. 2010, Hilal vd. 2011, Zhai vd. 2011, Wolska ve Bryjak 2013). Ancak bu metotlar işletim, bakım-onarım

maliyetleri ve kimyasalların kullanımı yönünden umut vaat edici olarak görülmemektedir.

Bugüne kadar sınırlı sayıdaki çalışmada bor arıtımında biyolojik materyal kullanılmıştır. Biyolojik materyallerin çevre dostu ve düşük maliyetli olması nedeniyle yıllarda bu materyaller kullanılarak yapılan bor giderimi dikkat çekmektedir (Del-Campo Marín ve Oron 2007, Bursalı vd. 2009, Sasmaz ve Obek 2009, Taştan vd. 2012).

Del-Campo Marín ve Oron (2007) çalışmalarında, biyomateryal olarak bir su mercimeği olan *Lemna gibba*'yı seçerek bor giderimini araştırmışlardır. *Lemna gibba* en iyi giderimi 2 mg/L altındaki bor konsantrasyonlarında gerçekleştirmiş ve 12 günlük inkübasyon süresinin sonunda 10 mg/L bor bulunan ortamda giderim gerçekleştirememiştir.

Lemna gibba ile yapılan başka bir çalışmada ise ikincil olarak çöktürülmüş bir atık suda bulunan 625 ppb borun biyobirikimi çalışılmıştır. *Lemna gibba* bu konsantrasyonda % 40 oranında bor giderimi gerçekleştirmiştir (Sasmaz ve Obek 2009).

Bursalı vd. (2009) yaptıkları çalışmada, *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*'yı biyomateryal olarak kullanmışlardır. Optimum koşullarda yapılan çalışmalarda 8 mg/L başlangıç bor konsantrasyonunda maksimum bor sorpsiyonu % 63 olarak belirlenmiştir.

Taştan vd. (2012) yaptıkları çalışmada, yeşil mikroalglerden *Chlorella* sp.'nin bor giderim kapasitesini araştırmışlardır. Çalışmada farklı besiyeri bileşenleri, artan bor konsantrasyonları, pH ve artan biyokütle konsantrasyonları üzerine araştırmalar yapılmıştır. *Chlorella* sp. 8.37 mg/L bor konsantrasyonunda % 27.56 giderim yapmıştır.

Tez çalışmasında, öncelikle *R. mucilaginosa* ve *P. crustosum*'un bor biyosorpsiyonu yaptığı optimum pH 6 olarak belirlenmiştir.

Başlangıç bor konsantrasyonunun (yaklaşık 15 - 25 mg/L) biyosorpsiyona etkisinin araştırıldığı denemelerde, 1 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş biyokütle kullanılarak, en yüksek biyosorpsiyon veriminin, *R. mucilaginosa* için % 23.78; *P. crustosum* için de % 24.92 olduğu bulunmuştur.

Bor biyosorpsiyonuna biyokütle konsantrasyonunun etkisinin belirlendiği çalışmalarda 1, 2 ve 4 g/L kuru ağırlık olacak şekilde yaş fungal biyokütle kullanılmıştır. Denemeler sonucu en yüksek bor biyosorpsiyonunun 4g/L biyokütle konsantrasyonunda olduğu (*R. mucilaginosa* % 31.92, *P. crustosum* % 23.46) belirlenmiştir.

Farklı yöntemlerle hazırlanan biyokütle ile yapılan bor biyosorpsiyonunda, denenen her iki fungal türde de en fazla verim yaş biyokütleyle elde edilmiştir.

Laboratuvarımızda tamamlanan bir TÜBİTAK öğrenci projesinde, tez çalışmasında kullanılan *R. mucilaginosa* ve *P. crustosum* ile bor biyobirikim çalışması yapılmıştır. Farklı konsantrasyonlarda bor içeren besiyerlerinde her iki fungal tür, altı gün boyunca geliştirilmiştir. Optimum pH' 4 olarak belirlendiği bu çalışmada, *R. mucilaginosa* % 19.76, *P. crustosum* ise % 19.97 verimle bor giderimi yapmıştır.

Tez çalışması sonucunda borlu atık sudan izole edilen *R. mucilaginosa* ve *P. crustosum*'un borla kirlenmiş atık suların arıtılmasında düşük maliyetli ve etkili birer biyosorbent olduğu gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

Adams, V.D. 1990. Water and Wastewater Examination Manual, vol. 247. CRC Press LLC, Florida.

Anonim 2015 Web sitesi <https://www.tuik.gov.tr> Erişim Tarihi:05.01.2015

Anonim 2015 Web sitesi https://bulten.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019

Erişim tarihi: 05.01.2015

Anonim 2015 Web sitesi <http://cevreonline.com/des.f/aritma.htm>

Erişim tarihi:28.01.2015

Anonim 2014. Web sitesi <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-elementi>

Erişim tarihi: 24.10.2014

Anonymus.2014.Websitesi <https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/P>.

Erişim tarihi: 31.12.2014

Anonymous, 1997. EPA office of compliance sector notebook project: profile of the textile industry, Washington: Office of Compliance, Office of Enforcement and Compliance Assurance, U.S. Environmental Protection Agency

Anonim. 2014.Web sitesi <http://www.cevre.gov.ct.tr/tr> Erişim tarihi: 19.01.2015

Anonim.2015 Web sitesi

<http://www.deu.edu.tr/UploadedFiles/Birimler/16928/FUNGUSLAR.pdf>

Erişim tarihi:05.02.2015

Anonim. 2015 Web sitesi <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/aktifkurs.doc>

Erişim tarihi: 05.02.2015

Anonim. 2015.Web sitesi <http://www.ucmp.berkeley.edu> Erişim tarihi: 10.02.2015

Anonim. 2015.Web sitesi <http://www.bilgihanemiz.com/>

Erişim tarihi: 11.02.2015

Anonim. 2015. Web sitesi <http://www.mikrobiyoloji.org>Erişim tarihi: 19.01.2015

Anonim2015.Websitesi <http://www.etimaden.gov.tr/bor-hakkinda-69k.htm>

Erişim tarihi: 29.03.2015

Anonim 2015.Web sitesi <http://bor.balikesir.edu.tr/bor.html#2.Bor>

- Erişim tarihi: 08.04.2015
- Anonim 2015.Web sitesi <http://www.csb.gov.tr/db/bolu/eduardosya/SU.pdf>
Erişim tarihi: 08.04.2015
- Anonim 2015. Web sitesi <http://kutaksam.karabuk.edu.tr/index.php/ilk/download/123>
Erişim tarihi: 05.05.2015
- Anonim 2015. Web sitesi http://tr.wikipedia.org/wiki/Atk_su_artımı
Erişim tarihi: 05.05.2015
- Anonim 2015. Web sitesi <http://tr.wikipedia.org/wiki/Filogenetik>
Erişim tarihi: 05.05.2015
- Anonim 2015. Web sitesi <http://www.green-planet-solar-energy.com>
Erişim tarihi: 05.05.2015
- Anonim 2015.Web sitesi <http://http://www.mmo.org.tr/>
Erişim tarihi: 05.05.2015
- Aksu, Z. And Dönmez, G. 2000. Combined effects of sucrose and copper(II) ions on the growth and copper(II) bioaccumulation properties of *Candida sp*J. Chem. Technol. Biotechnol., 75 pp. 847–853
- Afzal, M., Iqbal, S., Rauf, S. And Khalid, Z. M. 2007.Characteristics of phenol biodegradation in saline solutions by monocultures of *Pseudomonasaeruginosa* and *Pseudomonas pseudomallei*. Journal of Hazardous Materials, 149(1), 60-66.
- Ahalya, N., Ramachandra, T. V. and Kanamadi, R. D. 2003. Biosorption of Heavy Metals. Res.J.Chem.Envirion 7(4):71-79.
- Alexopoulos, C.J. and Mims, C.W. 1979. Introductory Mycology. 3rd edn. John WileySons, New York, U.S.A.
- Aksu, Z. 2005. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: A review,Process Biochemistry, 40, 3–4, 997–1026.
- Aksu, Z. and Dönmez G. 2001.Comparison of copper(II) biosorptive properties of live and treated *Candida sp.*, Journal of Environmental Science and Health, A36(3), 367-381,
- Bai J., Huijun Y., Fangli F., Maosheng L., Lina Z., Huajie D., Fuan L., Xiaolei W., Xiaofei L., Junsheng G., Zhi Q. 2010. Biosorption of uranium by chemically modified *R. glutinis*Original Research Article Journal of Environmental Radioactivity, Volume 101, Issue 11, November, Pages 969-973

- Berger K.C., 1949. Boron in Soils and Crops. *Advances in Agronomy*, 321-351.
- Bennett, A., Rowe, R. I., Soch, N., Eckhert, C. D. 1999. Boron stimulates yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) growth. *The Journal of nutrition*, 129(12),2236-2238.
- Bolaños L, Lukaszewski K, Bonilla I, Blevins D., 2004. Why boron? *Plant Physiology Biochemistry*, 42(11),907-912.
- Bozanta, E., Ökmen, G. 2011. *Biyosorpsiyon ve Mikroorganizmalar. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 4 (2):69
- Carrano J. C., Schellenberg S., Amin A. S., Green H.D., Küpper C. F. 2009. Boron and marine life: a new look at an enigmatic bioelement. *Marine Biotechnology*, 11,431-440.
- Chong M.F., Lee K.P., Chieng H.J., Ramli I.I.S.B. 2009. Removal of boron from ceramic industry wastewater by adsorption-flocculation mechanism using palm oil mill boiler (POMB) bottom ash and polymer. *Water Research*, 43, 3326-3334,
- Criscuoli A., Rossi E., Cofone F., Drioli E. 2010. Boron removal by membrane contactors: the water that purifies water. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12,53-61.
- Del-Campo Marín C.M., Oron G. 2007. Boron removal by the duckweed *Lemna gibba*: a potential method for the remediation of boron-polluted waters. *Water Research*, 41, 4579-4584.
- Dembitsky, V. M., Smoum, R., Al-Quntar, A. A., Ali, H. A., Pergament, I., Srebnik, M. 2002. Natural occurrence of boron-containing compounds in plants, algae and microorganisms. *Plant Science*, 163(5), 931-942.
- Demirtaş A. 2010. Bor'un İnsan Beslenmesi ve Sağlığı Açısından Önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 41(1), 75-80.
- Dönmez, G. 2002. Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium. *Enzyme and Microbial Technology*, 30; 363- 366.
- Eltem, R. 2001. *Atıksular ve Arıtım*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları No:172, İzmir, 10.
- Eren, H.A. ve Anış, P. 2006. *Tekstil boyama atıksularının ozonlama ile renk giderimi*. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 11(1);83-91.
- Fourest E., Roux J. C. 1992. Heavy metal biosorption by fungal mycelia by-products: Mechanisms and influence of pH. *Appl. Microbiol. Biotech.* 37:399-403
- Fry R.S., Brown Jr. T.T., Lloyd K.E., Hansen S.L., Legleiter L.R., Robarge W.P., Spears J.W. 2011. Effect of dietary boron on physiological responses in

- growing steers inoculated with bovine herpesvirus type-1. Research in Veterinary Science, 90, 78-83.
- Goodarzi S., Pazirandeh A., Jameie S.B., Khojasteh N.B. 2012. Differentiation in boron distribution in adult male and female rats' normal brain: A BNCT approach, Applied Radiation and Isotopes, 70, 952-956.
- Gunes A., Soylemezoglu G., Inal A., Bagci E.G., Coban S. and Sahin O.2006. Antioxidant and stomatal responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to boron toxicity”, *Scientia Horticulturae*, 110, 279-284.
- Gupta, U. C., Jame, Y. W., Campbell, C. A., Leyshon, A. J. and Nicholaichuk, W.1985.Boron toxicity and deficiency: a review, *Canadian Journal of Soil Science*, 65(3), 381-409.
- Güler, E., Kabay N., Yüksel M., Yiğit N.Ö., Kitiş M. and Bryjak M. 2011. Integrated solution for boron removal from seawater using RO process and sorption-membrane filtration hybrid method, *Journal of Membrane Science*, 375, 249-257.
- Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D., Aras, S. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk hijyen ve deneysel biyoloji dergisi*, 235.
- Hilal, N., Kim G. J. and Somerfield, C. 2011. Boron removal from saline water: A comprehensive review. *Desalination*,273;23-35.
- Hou, D., Wang J., Sun X., Luan, Z., Zhao, C. and Ren, X. 2010. Boron removal from aqueous solution by direct contact membrane distillation. *Journal of Hazardous Materials*, 1-3;613-619.
- Itakura T., Sasai R., Itoh H.2005. Precipitation recovery of boron from wastewater by hydrothermal mineralization”, *Water Research*, 39, 2543-2548.
- Iwai, H., Hokura, A., Oishi, M., Chida, H., Ishii, T., Sakai, S., Satoh, S., 2006. The gene responsible for borate cross-linking of pectin Rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(44), 16592-1659.
- Jiang, Bin-hui; WANG, Qian-qian; JING, Li; ZHONG, Yu; LIY, Hai-ning. Study on Biosorption of Zn²⁺ and Cd²⁺ by a R. Mucilaginosa. 2012. Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology Advances in Biomedical Engineering, Vol.6
- Ju Z.,Ding L., Zheng F., Zhang Q., Li Y. 2011.Effects of silicon, calcium or boron on cell growth and lipid accumulation in *Pinnularia gibba* var. Linearis 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science, IPCBEE, 22.
- Kabu M., Akosman M. S.2013. Biological Effects of Boron, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 225, 57-75.

- Kaya A. 2008. Identification of genes that play roles in boron metabolism, Master's thesis, Graduate School of Engineering and Sciences of İzmir Institute of Technology
- Karapire, M., Özgönen, H. 2013. Doğada Yararlı Mikroorganizmalar Arasındaki Etkileşimler ve Tarımsal Üretimde Önemi.
- Kavak D. 2009. Removal of boron from aqueous solutions by batch adsorption on calcined alunite using experimental design, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 308-314.
- Kılıçoğlu ÇEBİ, M. ve Özkoç İ. 2008. Fungal sistematikteki moleküler gelişmeler. OMÜ Zir. Fak. Dergisi (fungal sistematikteki moleküler gelişmeler)
- Lee S.H., Kim W.S., Han T.H. 2009. Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*)", *Scientia Horticulturae*, 122, 77-82.
- Lo, W., Nelson, M. Y., Lion, L. W., Shuler, M. L. and Ghorse, W. C. 1996. Determination of iron colloid size distribution in the presence of suspended cells: Application to iron deposition onto a biofilm surface. *Water Res.*, 30(10); 2413-2423.
- Madigan, T.M., Martingo, J. M. and Parker, J. 2001. *Brock Biology of Microorganisms*. Prentice Hall, 986, New Jersey.
- Nielsen, F. H. 1991. Nutritional requirements for boron, silicon, vanadium, nickel, and arsenic: current knowledge and speculation. *The FASEB journal*, 5(12), 2661-2667.
- Nable O. Ross, Bañuelos S. Gary, P. Jeffrey G. 1997. Borontoxicity, *Plant and Soil*, 193, 181-198.
- Nozawa, A., Takano, J., Kobayashi, M., Von Wirén, N., Fujiwara, T., "Roles of BOR1, DUR3, and FPS1 in boron transport and tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*." *FEMS Microbiology Letters*, 262: 216-222, 2006
- Okay O., Güçlü H., Soner E., Balkaş T. 1985. Boron pollution in the Simav River, Turkey and various methods of boron removal", *Water Research*, 19, 857-862.
- Özercan, S. 2010. *Saccharomyces cerevisiae* Mikroorganizması İle Ağır Metal Biyosorpsiyonu Yüksek Lisans Tezi Kimya Mühendisliği Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Öztürk N., Kavak D., Köse T.E. 2008. Boron removal from aqueous solution by reverse osmosis, *Desalination*, 223, 1-9.
- Öztürk, E., Demirer G.N., Yetiş Ü., Dilek F.B. 2010. Türkiye'de bir tekstil fabrikasında kimyasal madde değişimine yönelik ön değerlendirme *İTÜ Dergisi/e* 20.2
- Redelman-Sidi, G, Brown.A. E., Seo, S.K. 2010. *R. species*. Antimicrobial therapy and vaccines. Pittsburgh, PA: ESun Technology, LLC.

- Sağlam, N., Cihangir, N. 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbisyonu çalışmaları." Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11.11.
- Salinas, E., de Orellano, M. E., Rezza, I., Martinez, L., Marchesvky, E., de Tosetti, M. S. 2000. Removal of cadmium and lead from dilute aqueous solutions by *R. rubra*. *Bioresource Technology*, 72(2), 107-112.
- Sarp S., Lee S., Ren X., Lee E., Chon K., Choi S.H., Kim S., Kim I.S., Cho, J. 2008. Boron removal from seawater using NF and RO membranes, and effects of boron on HEK 293 human embryonic kidney cell with respect to toxicities. *Desalination*, 223, 23-30.
- Say, R., Yılmaz, N., Denizli, A. 2003. Biosorption of cadmium, lead, mercury, and arsenic ions by the fungus *P. purpurogenum*. *Separation Science and Technology*, 38(9), 2039-2053.
- Smith, B., 1994. Future pollution prevention opportunities and needs in the textile industry in Pojasek, B., eds, *Pollution Prevention Needs and Opportunities*, Center for Hazardous Materials Research, Pittsburgh, USA.
- Şasmaz A., Obek E., 2009. The accumulation of arsenic, uranium, and boron in *Lemna gibba* L. exposed to secondary effluents, *Ecological Engineering*, 35, 1564-1567.
- Tan, T., Cheng, P. 2003. Biosorption of metal ions with *P. chrysogenum*. *Applied biochemistry and biotechnology*, 104(2), 119-128.
- Tanrıseven A. 2013. Balıkesir-Bigadiç Bor Maden Yatakları ve Çevresinden Bor Toleransı Yüksek Bakterilerin İzolasyonu ve Karakterizasyonu, Yüksek lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı
- Takano J., Kobayashi M., Noda Y., Fujiwara T., 2007. *Saccharomyces cerevisiae* Bor1p is a boron exporter and a key determinant of boron tolerance, *FEMS Microbiology Letters*, 267(2), 230-235.
- Taştan B.E., Duygu E., Dönmez G. 2012. Boron bioremoval by a newly isolated *Chlorella* sp. and its stimulation by growth stimulators, *Water Research*, 46, 167-175,
- Taştan B.E. 2008. Atıksulardan Bakır (II), Nikel (II), Krom (VI) Ve Reaktif Boyar Madde Gideriminde *Aspergillus* sp. Kullanımı. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı,
- Thom, C. 1930. *The Penicillia*. Baltimore
- Tunail, N. 2000. Funguslar ve Mikotoksinler. Gıda Mikrobiyolojisi ve Uygulamaları, Genişletilmiş, 2: 03.
- Turkez H., Geyikoglu F., Tatar A., Keles M.S., Kaplan İ. 2012. The effects of some boron compounds against heavy metal toxicity in human blood, *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64, 93-101.

- Uluşık I, Kaya A, Fomenko D.E., Karakaya H.C., Carlson B.A., Gladyshev, V. N., Koç, A. 2011. Boron Stress Activates the General Amino Acid Control Mechanism and Inhibits Protein Synthesis, *PLoS ONE* 6(11): e2777.
- Uluşık, I., Kaya, A., Unlu E.S., Avşar K., Karakaya H.C., Yalçın T., Koc A.2010. Genome-wide identification of genes that play a role in boron stress response in yeast”, *Genomics*, 97, 106–111.
- Veglio, F., Beolchini, F. 1997. Removal of metals by biosorption: a review. *Chem. Hydrometallurgy*, 44 301 316
- Velioğlu, S., Şimşek, A.2003.İnsan Sağlığı ve Beslenme Açısından Bor. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 123-130.
- Velmurugan, N., Hwang, G., Sathishkumar, M., Choi, T. K., Lee, K. J., Oh, B. T., Lee, Y. S. 2010.Isolation, identification, Pb (II) biosorption isotherms and kinetics of a lead adsorbing P. sp. MRF-1 from South Korean mine soil. *Journal of Environmental Sciences*, 22(7), 1049-1056.
- Vijayaraghavan K., Yun Y. S. 2008. Bacterial biosorbents and biosorption, *Biotechnology Advances* 26:266-291
- Waggott A., 1969. An investigation of the potential problem of increasing boron concentrations in rivers and water courses. *Water Research*, 3, 749-765.
- Wolska, J.i Chen, C.,2010. Methods for boron removal from aqueous solutions-A review. *Desalination*,99;794-800.
- Yasui L., Kroc T., Gladden S., Andorf C., Bux S., Hosmane N. 2012. Boron neutron capture in prostate cancer cells. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 6-12.
- Yenialaca Ç. 2009. Bor ve Kullanım Alanları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fizik Eğitimi Bilim Dalı
- Yılmaz A.E., Boncukcuoğlu R., Kocakerim M.M., Kocadağistan E., 2008. An empirical model for kinetics of boron removal from boron-containing wastewaters by the electrocoagulation method in a batch reactor”, *Desalination*, 230, 288-297.
- Zhai, X., Meng, J., Li, R., Ni, L. and Zhang Y.2011. Hypochlorite treatment on thin film composite RO membrane to improve boron removal performance. *Desalination*. 1-3;136-143.
- Zabochnicka-Świątek, M., Krzywonos, M. 2014. Potentials of Biosorption and Bioaccumulation Processes for Heavy Metal Removal. *Mercury*, 6(5,245), 1-145

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilara Nur ÇAKIR

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 18.02.1991

Medeni Durum : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Muğla Gazi Anadolu Lisesi (2009)

Lisans : Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2013)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı
(Eylül 2013- Mayıs 2015)

Çalıştığı Kurum

TÜBİTAK Sağlık Bilimleri Araştırma Destek Grubu Bilimsel Programlar Uzman
Yardımcısı (2014- Devam Ediyor)

TÜBİTAK Programlarında Alınan Görevler

Yürütücü, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri
Destekleme Programı ‘‘Farklı Mikrobiyal İzolatların Bor Giderim Kapasitelerinin
Belirlenmesi’’ (2012)

Uluslararası Kongre Sunumları

Tastan, B. E., Cakir, D. N. and Dönmez G. The determination of boron removal
capacities of newly isolated microorganisms from boron-contaminated waters.
SW06.W33–49. FEBS Journal Volume 280 Supplement 1EAbstracts of the 38th FEBS
Congress Page 605, Saint Petersburg, Russia July 6–11, 2013.

Cakir, D. N., Tastan, B. E., Kilic, N. K. and Dönmez G. Boron biosorption by a novel

B-resistant fungus isolated from boron mining wastewater. International Conference on Bio-Medical Engineering and Environmental Technology (BMEET-15), ISBN 978-93-84468-19-4, 21-22 March, 2015, London (UK)