

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI MİKROORGANİZMALARIN BOR GİDERİM KAPASİTELERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Bengü LAÇİN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2013**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI MİKROORGANİZMALARIN BOR GİDERİM KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bengü LAÇİN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

Bor içeren atık suların arıtımında farklı mikroorganizmaların kullanıldığı tez çalışmasında, ülkemiz için çok önemli bir element olan borun yüksek miktarda atık sulara karıştığında meydana getireceği muhtemel zararlı etkilerin bertaraf edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda farklı gruplardan mikroorganizmaların (bakteriler ve funguslar) sentetik atık su kullanılarak farklı deneysel koşullarda en yüksek bor giderimi yapmasına yönelik çalışmalar düzenlenmiştir. Öncelikle farklı pH'larda 20 ppm bor içeren besiyerlerinde en iyi giderimi gerçekleştiren mikroorganizma türleri belirlenmiştir. Bakteriler için optimum pH 5, funguslar için ise 6 olarak bulunmuştur. Bu pH'larda en yüksek giderim yapan mikroorganizmalar *Aspergillus versicolor* ve *Bacillus cereus* olarak belirlenmiştir. Daha sonra konsantrasyon çalışmalarına geçilmiş ve yüksek verim eldesinden ötürü bu çalışmalara *Aspergillus versicolor* ile devam edilmiştir. Artan bor konsantrasyonlarında yapılan çalışmalar neticesinde en yüksek bor giderimi 15 ppm'de %49.25 olarak kaydedilmiştir.

Biyogiderim çalışmalarında başarılı sonuçların alınmasının ardından mikroorganizmaların bor gideriminde biyosorpsiyonun rolü araştırılarak kıyaslamalar yapmak amaçlanmıştır. Biyogiderim çalışmalarındaki optimum parametreler ve aynı araştırma parametreleri kullanılarak tam bir kıyasın yapılması hedeflenen biyosorpsiyon çalışmalarında en yüksek bor giderimi 25 ppm bor konsantrasyonunda %41 olarak kaydedilmiştir.

Savunma sanayinden mutfak gereçlerine kadar hayatımızın her alanında kullanılan ve ülkemiz için oldukça büyük stratejik öneme sahip olan “bor” elementinin farklı bir yönünün ele alınarak çalışıldığı tez çalışmasında borun mikroorganizmalar kullanılarak giderilebileceği sonucuna varılmıştır.

Haziran 2013, 50 sayfa

Anahtar Kelimeler: Bor, sentetik atık su, mikroorganizma, atık su arıtımı, *Aspergillus versicol*

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF BORON REMOVAL CAPACITIES OF DIFFERENT MICROORGANISMS

Bengü LAÇIN

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

Supervisor: Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ

Removal of boron from waste water by different microorganisms was investigated in this study. High amounts of boron, which is very important element for our country mixed with waste water disposal is intended to bring about the possible harmful effects. For these purposes, different groups of microorganisms (bacteria and fungi) were used synthetic wastewater studies at different experimental conditions which was designed to make the highest boron removal capacity. In the first series of experiments, boron removal was determined at different pH values and at 20 ppm boron concentration for determining the best performed types of microorganisms. Optimum pH value was found as 5 for bacteria, and 6 for fungi. *Aspergillus versicolor* and *Bacillus cereus* was determined as the best boron removal microorganisms at these pH values. Then, concentration studies have been started and due to the high yield was achieved by fungi, studies continued with *Aspergillus versicolor*. As a result of increasing boron concentration, the highest boron removal was recorded as % 49.25 at 15 ppm boron concentration.

After obtaining successful results in bioaccumulation studies, aimed at making comparisons to investigate the role of microorganisms in biosorption of boron removal. In biosorption studies, we used the optimal parameters and same research conditions of the bioaccumulation studies and targeted to a comparison. In this studies the highest removal of boron was recorded as % 41.00 at 25 ppm boron concentration.

In this study dealt with a different aspect of the elemental boron, which is used every field of our lives (from defense industry to kitchen utensils) and have quite a large strategic importance for our country, was concluded that boron could removal by using microorganisms.

July 2013, 50 page

Key Words: Boron, Synthetic wastewater, microorganism, wastewater treatment, *Aspergillus versicolor*

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında ilgi ve desteğini gördüğüm; çalışmalarımın yönlendirilmesi ve sonuçlandırılmasında büyük emeği geçen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Gönül DÖNMEZ'e, tezimin deney ve yazım aşamalarında yardım ve desteklerini esirgemeyen Burcu ERTİT TAŞTAN'a, tez çalışmam boyunca beni sürekli destekleyen ve yönlendiren hocam Doç. Dr. Sevgi Ertuğrul KARATAY'a ve tüm laboratuvar arkadaşlarıma, her konuda desteklerini gördüğüm ve tezimin hazırlandığı sürede gösterdikleri sabır, ilgi ve hoşgöründen dolayı ailem ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bengü LAÇİN

Ankara, Haziran 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
2.1 Bor.....	3
2.2 Türkiye ve Dünyada bor.....	4
2.3 Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları.....	5
2.4 Bor Atığı.....	8
2.5 Borun Çevresel Etkileri.....	8
2.6 Atık Su Arıtım Yöntemleri.....	9
2.6.1 Kimyasal yöntemler.....	9
2.6.2 Fiziksel yöntemler.....	10
2.6.3 Biyolojik yöntemler.....	10
2.6.3.1 Biyobirikim.....	11
2.6.3.2 Biyodegradasyon.....	13
2.6.3.3 Biyosorpsiyon.....	13
2.7 Atık Su Arıtımında Kullanılan Mikroorganizmalar.....	14
2.7.1 Funguslar.....	14
2.7.1.1 Funguslarla yapılan biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmaları.....	16
2.7.1.2 Diğer mikroorganizmalarla yapılan biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmaları.....	19
2.8 Boru Atık Sulardan Arıtma Yöntemleri.....	20
2.8.1 Kimyasal yöntemler.....	20
2.8.2 Biyolojik yöntemler.....	25

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Besiyerinin Hazırlanması.....	27
3.2 Mikroorganizmaların Geliştirilmesi.....	28
3.3 Bor Giderimi.....	28
3.3.1 Biyobirikim çalışması için deneysel parametreler.....	29
3.3.1.1 Mikroorganizma seçimi.....	29
3.3.1.2 pH'ın bor giderimine etkisi	29
3.3.1.3 Başlangıç bor konsantrasyonunun giderime etkisi.....	29
3.3.2 Biyosorpsiyon çalışması.....	29
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	30
4.1 Mikroorganizma Seçimi.....	30
4.2 Farklı pH'larda Bor Giderimi	32
4.3 Farklı Başlangıç Bor Konsantrasyonlarının Bor Giderimi.....	34
4.4 Biyosorpsiyonda Konsantrasyonların Etkisi.....	36
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	40
KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Borun kristal yapısı.....	3
Şekil 2.2 NMDG tipi şelat reçinesi.....	21
Şekil 2.3 NMDG tipi şelat reçinesine bor bağlanma mekanizması.....	21
Şekil 2.4 Borik asitin borat şekline dönüşümü.....	22
Şekil 2.5 İyon değişim süreci mekanizması.....	25
Şekil 4.1 <i>Candida tropicalis</i> , <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> ve <i>Aspergillus versicolor</i> 'a ait bor giderimi yüzdesi.....	31
Şekil 4.2 Çalışmada kullanılan <i>Bacillus</i> türlerine ve <i>P. aeuroginosa</i> 'ya ait bor giderim yüzdeleri.....	31
Şekil 4.3 <i>Bacillus cereus</i> 'a ait farklı pH'lardaki bor giderim yüzdeleri.....	33
Şekil 4.4 <i>Aspergillus versicolor</i> 'a ait farklı pH'lardaki bor giderim yüzdeleri.....	33
Şekil 4.5 <i>A. versicolor</i> 'ın farklı konsantrasyonlardaki giderim verimi.....	35
Şekil 4.6 <i>A. versicolor</i> 'ın 16.20 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi....	36
Şekil 4.7 <i>A. versicolor</i> 'ın 22.02 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi....	37
Şekil 4.8 <i>A. versicolor</i> 'ın 24.01 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi.....	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerin toplam bor rezervindeki payı.....	5
Çizelge 2.2 Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları.....	7
Çizelge 2.3 Biyobirikim yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar.....	12
Çizelge 2.4 Biyosorpsiyon yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar.....	14
Çizelge 4.1 Sentetik atık su besiyerinde farklı mikroorganizmaların bor giderimi.....	32
Çizelge 4.3 Sentetik atık su besiyerinde <i>A. versicolor</i> 'ın farklı konsantrasyonlardaki giderim verimi ve qm değeri (mg/g).....	35
Çizelge 4.4 Farklı bor konsantrasyonlarında <i>A. versicolor</i> 'ın biyosorpsiyon verimi ve qm değeri (mg/g).....	38
Çizelge 4.5 Biyosorpsiyon ve biyobirikim deneylerinin karşılaştırılması.....	39

1. GİRİŞ

Günümüzde çevre kirliliği önemli bir sorun haline gelmiştir. Su kirliliği ise bu sorunun önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Sanayileşmenin giderek artmasıyla oluşan atık sular doğanın özümseyebileceği miktarı aşmıştır. Bundan dolayı atık su arıtımında yeni tekniklerin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar giderek önem kazanmaktadır.

Atık sular fiziksel ve kimyasal kirlilik gösterebilirler. Fiziksel kirlilik renk, koku, sıcak atıkların etkisi ile su kaynağının sıcaklığında yükselme, asılı maddeler ve köpüklenme ile kendini gösterir. Atık suların kimyasal kirliliği ise içerdiği çözünmüş organik maddeler, toksik maddeler ve fosforlu bileşiklerden ileri gelir. Atık suda bulunan bor ise insanlar, hayvanlar ve bitkiler açısından önemli çevresel etkilere sahiptir.

Bor, doğada serbest halde bulunmayıp, oksijenle yaptığı borat adı verilen bileşikler halinde bulunur. Bor, yeryüzünde toprak, kayalar ve suda az miktarlarda fakat yaygın olarak bulunan bir elementtir. Bor, sulama suyu ve topraktan bitkilerin bünyesine taşınmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar beslenme yoluyla bitkilerden ve içme suyundan bora maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle bor, dünyamızın yapısında ve üzerinde yaşayan canlıların bünyesinde bulunmaktadır.

Tarımsal sulamada yalnız uygulanan sulama yöntemi, sulama zamanı ve sulama suyu miktarı değil, aynı zamanda kullanılan suyun kalitesi de son derece önemlidir. Tarımsal faaliyetler ve diğer sektörler geliştikçe ne yazık ki çevresel kirlenmeler de artmaktadır. Bitkiler için gerekli olan, ancak özellikle 1 ppm'den fazla bor içeriğine sahip suların sulamada kullanılması bitkilerde ve topraklarda sorun yaratabilmektedir.

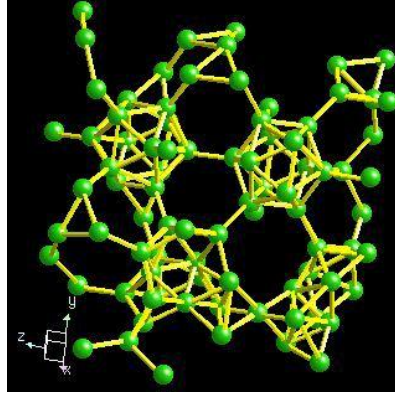
Bor rezervlerinin işletilmesi sırasında, Simav Çayı'nda ortaya çıkan bor miktarı yükselmesinin, bu suyun sulama suyu olarak kullanılması halinde bu yöre topraklarında bor birikimine sebep olup olmadığı konusunda araştırma yapılmıştır. Sonuç olarak, uygulanan su miktarı ile orantılı olarak toprağın bor içeriğinin arttığını, çoğu bitki için toksik düzeye yükseldiğini ve bor birikiminin derinlere doğru azaldığını gözlemlemiştir.

Bor işletmesi katı atıklarının yağış suları ile yıkanması suretiyle yüzey sularına boşalması ya da yeraltı sularına karışması da her daim var olan risklerdir. Yüksek konsantrasyonda bor içeren atık suların arıtılmaksızın nehir, göl veya akarsulara boşaltılmaları canlılar için önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

Bor gideriminde kullanılan teknikler ; yüzeye tutunma (adsorpsiyon) metodu, membran metodu, hibrid metodlar (PEUF metodu, AMF metodu) ile elektrokoagülasyon, Donnan diyaliz, Kapasitif deiyonizasyon, direk temasla membran distilasyon yöntemi, mikrodalga hidrotermal metod ve iyonik sıvılarla ekstraksiyon metodudur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Borun Özellikleri



Şekil 2.1 Borun kristal yapısı

Bor atom numarası 5 ve kimyasal sembolü B olan bir yarımetaldir. Elemental bor yüksek erime noktası, katılık ve düşük elektrik iletim kapasitesine sahiptir. Bileşiklerde çeşitli oksidasyon durumlarında bulunur en önemli ve yaygın formu +3 değerlikli olanıdır. Bor, su, toprak ve kayalarda sık rastlanan bir element olmasına rağmen doğada çok az miktarlarda bulunmaktadır. Bor doğal olarak 4 şekilde ortaya çıkabilir; çözünmemiş ortoborik asit, poliborat şeklinde kısmen ayrılmış borat anyonlar, geçiş metali kompleksleri ve floroborat kompleksleridir. Bu formlar çoğunlukla yüzey sularında mevcuttur (Wolska ve Bryjak 2012).

Bor, bitkilerin büyümesi ve gelişimi için önemlidir. Sulama suları ve toprakta bulunan bor miktarı ekinlerin verimi ve üretim kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Borun en yaygın kabul gören rolü ise birincil hücre duvarı yapısına katılmasıdır. Bunun yanı sıra, bor hücre duvarı matriksinde yer alarak, hücre duvarının yapısal bütünlüğünün stabilitesinin sağlanmasında da rol almaktadır. Ayrıca, lignin birikimi, zar taşıma sistemleri, enzim interaksyonları, nükleik asit sentezi, fenol ve karbonhidrat metabolizması ile de ilişkilidir (Hilal vd. 2011).

Yapılan çalışmalara göre, bor insanlar ve hayvanlar için düşük konsantrasyonlarda gerekli bir elementtir. Araştırmalara göre, bor, omurgalıların embriyo gelişimi için gereklidir ve bor eksikliği embriyonik gelişim bozukluğuna sebep olmaktadır (Hilal vd. 2011).

Çeşitli metal veya ametal elementlerle yaptığı bileşiklerin gösterdiği farklı özellikler, bor bileşiklerinin birçok endüstride 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, veneredeys e lmas kadar serttir(www.boren.gov.tr).

2.2 Türkiye ve Dünyada Bor

Türkiye’de bor cevherlerinin ilk olarak Romalılar tarafından keşfedildiği düşünülmektedir. Bor madenciliği, 1861 yılında Balıkesir’de başlamış ve 1978 yılına kadar yerli-yabancı özel şirketlerin faaliyetinde sürdürülmüştür. 1983 yılında bor madenlerinin işletim hakkı Etibank tarafından devletin kontrolüne geçmiştir. 1998 yılında Etibank yeniden yapılandırılarak Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü (Eti Holding A.ř.) adını almıştır (www.boren.gov.tr).

Türkiye’de, ticari olarak bor madenine, ilk olarak Balıkesir’in Susurluk ilçesinin Sultançayır bölgesinde rastlanmıştır. İkinci Dünya Savaşı’nın ardından arama çalışmalarının yoğunlaşmasıyla birlikte 1950 yılında Bigadiç’te, 1952 yılında Mustafa Kemal Paşa’da ve 1956 yılında Emet’te bor madeni yatakları bulunmuştur (Buluttekin 2008).

Ekonomik boyutlardaki bor yatakları, borun oksijenle bağlanmış bileşikleri halinde daha çok Türkiye, ABD, Arjantin, Rusya, Kazakistan, in, Bolivya, Peru ve şili’nin kuarak, volkanik ve hidrotermal aktivitesi olan bazı bölgelerinde bulunmaktadır. Türkiye’de Eti Holding A.ř. aracılığı ile 1 milyon 700 bin hektarlık bor maden rezervleri alanı kamulaştırılmıştır. Bu alanlardaki bor rezervleri yaklaşık 2.5 milyar tonluk kapasiteyle dünyanın en zengin lkesi Türkiye’dedir. Dünya bor rezervinin

%64'üne ve mevcut rezervlerle 240 yıllık ömre sahip Türkiye'nin borlardan elde ettiği yıllık gelir, ortalama 225 milyon ABD dolarıdır.

Yirmibirinci yüzyılın petrolü olarak tanımlanan bor, uzay teknolojisinden bilişim sektörüne, nükleer teknolojiden savaş sanayine pek çok alanın hammaddesi durumuna gelmiştir. Dünyada az sayıda bor minerali üreticisi ülke bulunmaktadır. En büyük üreticiler Türkiye (Eti Bor A.Ş.) ve ABD (Rio Tinto Borax)'dir. 2001 yılı itibariyle B₂O₃ bazında en büyük üretici 650.000 ton ile ABD'dir. İkinci sırada ise 517.000 ton ile Türkiye bulunmaktadır. Bugün dünyada yaklaşık 1.2 milyar ABD doları kadar B₂O₃ pazarı bulunmaktadır. Eti Holding A.Ş., dünya bor pazarında US Borax Inc. Şirketi ile birlikte stratejik bir konumdadır.

Bor ve borlu yakıtlar, 1950'lilerin başında ABD savunma programında geleceğin yakıtı olarak adlandırılmış ve nükleer silahlanma dışında ikinci önemli stratejik malzeme olarak nitelendirilmiştir. Yapılan araştırmalar, bor bileşiklerinin yüksek teknolojili ürünlerdeki yeni kullanım alanlarını keşfetmesi, bu madeni gelecekte petrol gibi üzerinde uluslar arası mücadelelerin yaşandığı bir konuma getirecektir (Kılıç 2004).

Çizelge 2.1 Bazı ülkeler ve toplam bor rezervindeki payı

ÜLKE	TOPLAM REZERVDEKİ PAY (%)
Türkiye	72.20
A.B.D.	6.80
Rusya	8.50
Çin	3.10
Şili	3.50

2.3 Bor Ürünleri ve Kullanım Alanları

Elemental bor doğada bulunmaz. Endüstride yüksek saflıkta bor zorlukla elde edilebilir; çünkü bor, karbon ve başka elementlerle bileşikler oluşturur.

Bor elementi bileşiklerinden 4 yolla elde edilebilir:

- ✓ Metaller ve diğer reaktiflerle bor bileşiklerinin indirgenmesi
- ✓ Elektrolitik indirgeme
- ✓ Uçucu bor bileşiklerinin hidrojenle indirgenmesi
- ✓ Bor bileşiklerinin termal bozunması

Yüksek saflıkta elemental bor hazırlamak için en etkili yöntem bortribromürün (BBr_3) sıcak bir telde hidrojen ile indirgenmesidir. Bor elde etmek için kullanılan kaynaklar; boraks, borik asit, bor halojenürleri ve metal fluoboratlardır. İndirgeme için kullanılan metaller ise; Li, Na, K, Be, Mg, Ca, Al, Fe, Zn ve Hg'dir.

En yaygın metod, magnezyum ile B_2O_3 'ün kuvvetli ekzotermik reaksiyonu ve ürünün sulu asidik ekstraksiyonudur. Koşullara tamamen uyulduğunda %95-98 oranında saf ürün elde edilebilmiştir. Elektrolitik indirgeme, eritilmiş borat veya fluoboratlardan, metal veya karbon elektrotlar arasındaki elektrolizi ile amorf, toz halinde ve çeşitli saflıkta elemental bor elde etmek mümkündür (Cantaş 2007).

Bor bileşiklerinin ana kullanım alanları, çamaşır tozunda beyazlatıcı olarak (sodyum perborat) ve ısı yalıtımında cam elyafının boraks bileşeni şeklinde kullanılmasıdır. Bor bileşikleri cam ve seramiklerde ısı şokuna dayanıklı malzeme elde etmek için kullanılır (www.wikipedia.com, 2012).

Bor karbür, elmaştan sonra en sert ikinci maddedir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı olması ve nötron absorpsiyon yeteneği nedeniyle askeri araçların zırhlanmasında ve nükleer reaktörlerde kullanılmaktadır.

Bor nitrür, hegzagonal ve kübik sistemde kristalleşen bir bileşiktir. Hegzagonal bor nitrür oksidasyon direnci olan ve yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklarda yağlama malzemesi olarak geniş bir alanda kullanılmaktadır (Kılıç 2004).

Bor bileşikleri bazı önemli endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Bardak, seramik, sabun, deterjan, farmasötik, kozmetik ve geç alev alıcı malzeme üretiminde kullanıldığı gibi bu alanların atıklarında da bor elementi bulunmaktadır. Doğada bor, deniz

sularında, jeotermal sularda yüksek seviyede bulunur. Özellikle Türkiye'nin jeotermal suları 60 ppm seviyesinde bor içermektedir (Zerze vd. 2012).

Borik asit günümüzde zararlılarla mücadelede kullanılmaktadır. Kısırlaştırıcı etkisinden dolayı böceklerin çoğalmasını önlemektedir. Bu amaçla, mısır şurubu, su ve borik asitten oluşan karışım bitkinin kök ve yapraklarına özel bir aletle püskürtülerek, bu bitkilere zarar veren böceklerin çoğalması önlenir. Borik asit, insan sağlığı ve yaşamı ile yakından ilişkili olan hamam böceği ve ev çıyanı gibi zararlı böceklerle mücadelede de bazı şekerler ile karıştırılarak oluşturulan solüsyonlar şeklinde kullanılırlar (Doğan vd. 2005).

Bor ürünlerinin kullanım alanları çizelge 2.2'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Bazı özel bor kimyasalları için kullanım alanları

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor	Askeri Piroteknik
Kristalin Bor	Nükleer Silahlar ve Nükleer Güç Reaktörlerinde Muhafaza
Bor Flamentleri	Havacılık için Kompozitler, Spor malzemeleri için Kompozitler
Bor Halidleri(tuzları)	İlaç Sanayii, Katalistler, Elektronik Parçalar, Bor Flamentleri ve Fiber Optikler
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık Kimyasalları, Yapıştırıcılar, Tekstil “Finishing” Bileşikleri, Deterjan ve Temizlik Malzemeleri, Yangın Geciktiricileri, Gübreler ve Zırai Araçlar
Fluoborik Asit	Kaplama Solüsyonları, Fluoborat Tuzlar, Sodyum Bor Hidrürler
Trimetil Borat	Sodyum Bor Hidrürler
Sodyum Bor Hidrürler (Sodyum Borohidrat)	Özel Kimyasalları Safılaştırma, Kağıt Hamurunu Beyazlaştırma, Metal Yüzeylerin Temizlenmesi
Bor Esterleri	Polimerizasyon Reaksiyonları için Katalist, Polimer Stabilizatörleri, Yangın Geciktiricileri

2.4 Bor Atığı

Yapılan gözlemlere göre, son yıllarda yüzey sularındaki bor konsantrasyonu artış göstermiştir. Farklı bölgelerdeki konsantrasyon dalgalanmalarının yanı sıra bu artış doğal ve antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Doğal kaynak için kayaçların ayrışması ve tuz yatakları çözündürmesi sayılabilir. Doğal bor yatakları çoğunlukla kıyı şeridi üzerinde görülür.

Borik asit ve bor tuzları pek çok sanayi dalında koruyucu olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda bor bileşikleri yüksek enerjili yakıtlar, soğutucular ve katalizörlerin üretiminde kullanılmaktadır. Tüm bu faktörler endüstriyel ve kentsel alanlardaki yüzey sularında bor konsantrasyonunu arttırmaktadır. Sonuç olarak, yüzey sularındaki bor giderim problemi doğal kaynaklardan değil, gelişmiş ülkelerde yüksek miktarlardaki kullanımından kaynaklanmaktadır (Wolska ve Bryjak 2012).

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2010 yılı verilerine göre 3.58 milyar m³ atıksuyun %48.6'sı akarsuya, %41.8'i denize, %3.6'sı bara, %2.1'i göle-gölete, %1'i araziye ve %2.8'i diğer alıcı ortamlara deşarj edilmiştir (www.boren.gov.tr, 2012).

Bor bileşikleri yeraltı ve yerüstü sularında yaygın olarak bulunmaktadır. Yeraltı sularında bor konsantrasyonu bütün dünyada 0.3-100 mg/L arasında değişmektedir. Deniz suyunda 0.5-9.6 ppm, tatlı sularda ise 0.01-1.5 ppm aralığındadır. Atık sulardaki bor konsantrasyonu ise 5-100 mg/L arasında değişmektedir. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde derin deniz deşarjında atık sulardaki bor miktarının bor cevherleri için 500 ppm, kimyasal bor bileşikleri üreten fabrikaların atık sularında ise 50 ppm olarak belirtilmiştir (Ünlü vd. 2011).

2.5 Borun Çevresel Etkileri

Bor havaya doğadan yani, okyanuslardan, volkanlardan ve jeotermal buharlardan ve endüstriyel kaynaklardan ötürü salınmaktadır. Borun suya etkisi içme sularına ve

tarımsal sulara olan etki şeklindedir. Yapılan araştırmalara göre bilhassa içme sularının insan sağlığı açısından yüksek oranda bor ihtiva etmemesi gerekir (Doğan vd. 2005).

Bor bileşikleri, üretim ve kullanımları sırasında endüstriyel atık olarak çevreye salınmaktadır. İnsanlarda, bora maruz kalma yiyecek ve içme suyu yoluyla gerçekleşir. Dünyada içme suyundaki ortalama bor konsantrasyonu 0.1-0.3 mg bor/l'dir. İnsanlarda ve hayvanlarda borik asit ve borat bileşikleri solunum yolları ve gastrointestinal yollarda absorbe edilir (Yoshikawa vd. 2012).

Dünya Sağlık Örgütü'nün araştırmalarına göre günlük bir yetişkinin tolere edebileceği bor miktarı kg başına 0.16 mg'dır. Bu miktarın fazlası mide bulantısı, baş ağrısı, diyare, böbrek hasarı ve hatta ölüme yol açabilmektedir (Zhang vd. 2011).

Bazı Akdeniz ülkelerinin yer altı sularında yüksek bor konsantrasyonuna rastlanmıştır, örneğin Türkiye Dünya'da en yüksek bor rezervlerine sahip ülkedir. Bor kirliliği, Türkiye için ciddi bir problem yaratmaktadır. Bor madenleri atıkları ve borik asit bitkileri kirliliğin başlıca kaynaklarıdır. Buna ek olarak, Batı Anadolu'daki jeotermal sular yüksek seviyede bor ihtiva etmektedirler (Kavak 2009).

2.6 Atık Su Arıtım Yöntemleri

2.6.1 Kimyasal yöntemler

Kimyasal arıtım yöntemlerini 4 başlık altında toplayabiliriz (Yüce 2007):

- İndirgeme çökeltme
- Yükseltgeme çökeltme
- Nötralizasyon çökeltme
- İyon değişimi

İndirgeme çökeltme yöntemi: Yüksek değerlikli metal iyonları çökelebilen bir şekline indirgendikten sonra nötralize edilirler. Çöktürmede karıştırma, flokülasyon, koyulaştırma ve süzme işlemleri yapılır. Bu yöntem özellikle kromlu atıkların arıtımında kullanılır.

Yükseltgeme çökeltme: İndirgenmiş metal kararlı, yükseltgenmiş ve çözünmeyen formlarına dönüştürülür. Bu yöntem özellikle demirli ve manganlı atıkların arıtımında kullanılır.

Nötralizasyon çökeltme: Bakır, krom, çinko, nikel, demir ve kadmiyum gibi ağır metal iyonları ortama kireç, soda ve/veya NaOH katılarak nötralize edilirler, daha sonra hidroksitler halinde çökeltilerek atık sulardan uzaklaştırılırlar.

İyon değişimi yöntemi: Ağır metal iyonlarının elektrostatik kuvvet ile fonksiyonel grup halinde katı yüzey üzerinde tutunarak ortamdaki farklı türdeki iyonlarla değiştirilmesidir.

2.6.2 Fiziksel yöntemler

Hiçbir kimyasal veya mikroorganizma kullanmadan mekanik işlemlerle fiziksel olarak atık suyun içindeki yağ ve kaba atıkların çeşitli şekillerde uzaklaştırılmasıdır (Yüce 2007).

- Izgaralar
- Kum ve yağ tutucular
- Çökeltme tankları
- Filtrasyon havuzları

2.6.3 Biyolojik yöntemler

Bütün mikroorganizmaların yüzeyi çeşitli anyonik yapıların varlığından dolayı negatif yüklüdür. Bu durum mikroorganizmalara metal katyonlarına bağlanma özelliği kazandırır. Mikroorganizmalar ağır metallerle bir dizi mekanizmayla reaksiyon verirler. Bu reaksiyonlar hücre zarından karşılıklı taşınım, hücre duvarında biyosorpsiyon, hücre

dışı kapsüllerle tutunma, çökelme, kapsül oluşumu ve oksidasyon redüksiyon mekanizmalarının içinde bulunduğu mekanizmalardır (Aksu ve Dönmez 2000).

Abiyotik metodlar pahalı, çevre dostu olmayan ve genellikle atık konsantrasyonuna bağımlı olmalarına karşın biyolojik yöntemler çevre dostu ve az maliyetlidir(Vijayaraghavan ve Yun 2008).

Biyolojik arıtım yöntemleri(Taştan 2008):

- Biyobirikim
- Biyodegradasyon
- Biyosorpsiyon

2.6.3.1 Biyobirikim

Biyobirikim sadece canlı hücrelerle gerçekleşen adsorpsiyon işlemidir. Biyobirikimde metaller hücre içinde veya dışında çökelme, kompleksleşme gibi bir takım yüzey reaksiyonları ile tutunurlar. Canlı hücrelerin kullanılması biyosorpsiyonda uygulanan bazı yöntemlerin kullanılmasını gerektirmez dolayısıyla daha pratik bir yöntemdir. Bu yöntemde hücrelerin devamlı gelişmesi sağlanmalıdır. Atık sularda yer alan ve klasik yöntemlerle arıtilamayan maddelere karşı direnci fazla olan mikroorganizmaların bu kirleticileri hücre yapısına alarak biriktirme yeteneğinden yararlanması temeline dayanan bir yöntemdir. Genellikle arıtım, yapay besin ortamında gerçekleşir. Böylece bu tip atık sularda gelişip üreyebilen mikroorganizmaların üreme verimi arttırılır, dolayısıyla bünyelerinde biriktirdikleri kirletici derişimi artar (Yüce 2007).

Biyogiderim çalışmaları, fungusların iyi bir biyoakümülatör olduğunu göstermiştir. Ayrıca kolay bulunabilmeleri, gelişimlerinin ucuz olması da avantaj sağlamaktadır. *Aspergillus versicolor* ile yapılan çalışmada Cr(VI) gideriminde %99'a, Cu(II) gideriminde ise %51'e varan verimler gözlenmiştir (Taştan vd. 2010).

Biyobirikim yapabilen hücreler ağır metallerin etkilerinden korunmak için bazı mekanizmalar geliştirmişlerdir (Bruins vd. 2000).

- ✓ Metalin hücre içine alınamaması: Hücre duvarında, duvar proteinlerinde veya zarda meydana gelen değişimler metalin hücreye girişini engeller.
- ✓ Metalin hücreden aktif olarak taşınması: Metaller aktif taşıma yoluyla hücre dışına pompalanırlar.
- ✓ Metalin proteinlere bağlanması ile hücre içinde tutulması: Ağır metallerin hücre içinde bir yerde birikmesi sağlanır, hücresel organellerle etkileşmesi önlenir.
- ✓ Metallerin hücre dışında tutulması: Funguslarda Cu direnci sağlanırken metal oksalat kompleksleri oluşturmak üzere hücre dışına oksalat salgılandığı ispatlanmıştır.
- ✓ Metalin daha az toksik forma dönüştürülmesi: Hücre içinde enzimatik yollarla gerçekleştirilir.

Biyobirikim yapan mikroorganizmalarla ilgili çalışmalar çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Biyobirikim yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar

Canlı	Metal	Kapasite	Literatür
Candida sp.	Cu	% 12.8	Dönmez ve Aksu 1999
Saccharomyces cerevisiae	Cu	% 74.2	Dönmez ve Aksu 1999
Aspergillus niger	Pb, Cd, Cu, Ni	2.25, 1.31, 0.75, 1.75 mg/g	Kapoor vd. 1999
Phanerochaete chrysosporium	Pb	33.003 mg/g	Yetiş vd. 2000
Mucor rouxii	Pb, Cd, Zn, Ni	35.69, 11.09, 8.46, 7.75 mg/g	Yan ve Viraraghavan 2003
Aspergillus versicolor	Cr, Cd	1.2, 2.72 mg/g	Zafar vd. 2007
Typha angustata	Cd, Fe, Mn, Pb, Zn	% 61, % 51.26, %82, % 85, %59.51, % 53,7	Chandra vd. 2008
Euplotes mutabilis	Pb, Cr	% 97, % 98	Rehman vd. 2008
Penicillium sp.	As	% 58.38	Srivastava vd. 2011
Neocosmospora sp.	As	% 57.82	Srivastava vd. 2011
Trichoderma sp.	As	% 56.21	Srivastava vd. 2011
Rhizopus sp.	As	% 60.21	Srivastava vd.2011
Chlorella sp.	B	% 32.95	Taştan vd.2012

2.6.3.2 Biyodegradasyon

Biyodegradasyon, boyar madde gibi organik bileşiklerin canlı organizmalarda bulunan enzimlerle parçalanmasıdır. Boyaların bakteriyel degradasyonunda intraselüler enzimler, funguslarda ise ekstraselüler enzimler rol oynamaktadır. Anaerobik şartlarda renk giderimi boyar maddenin kimyasal yapısında bulunan renk verici grubun indirgenmesi ile gerçekleşir. Bu indirgenme işlemi anaerobik bakteriler tarafından üretilen azoredüktaz enzimi ile gerçekleşir (Taştan 2008).

2.6.3.3 Biyosorpsiyon

Ölü mikroorganizmalar ile metal iyonları arasında gerçekleşen çeşitli mekanizmalar sonucu metal iyonu mikroorganizma bünyesine alınarak giderim sağlanmaktadır.

Bu yöntemde biyokütle olarak; bakteri, alg, mantar ve maya türleri gibi çok çeşitli türler kullanılmaktadır. Ölü biyokütle kullanılmasının bazı avantajları vardır. Ölü hücreler; uzun süre oda sıcaklığında saklanabilirler, metal toksisitesinden etkilenmezler ve besine ihtiyaç duymazlar. Bunların yanı sıra, fiziksel ve kimyasal işlemlerle biyokütlenin öldürülmesi ve bazı ön işlemlere tabi tutulması biyosorpsiyon kapasitesini arttırabilir. Hücre yüzeyinde gerçekleşen giderim olayının mekanizması hücre metabolizmasından bağımsızdır (Aslan vd. 2007).

Bakteri, fungus, maya ve algler ağır metalleri sulu ortamdan giderebilmektedirler. Ağır metal alımını canlı hücreler yapıyorsa biyoakümülyasyon, ölü hücreler yapıyorsa biyosorpsiyon denir. Hücreler, yüksek sıcaklık, otoklavlama, kimyasal asitler veya formaldehit gibi diğer organik kimyasallar kullanılarak öldürülebilir. Ön muamele metodları funguslarda giderim kapasitesini arttırmaktadır (Kapoor ve Viraraghavan 1995).

Biyosorpsiyon sırasında, biyokütle ve metal iyonu yüksek affinite gösterir. Bu bağlanma süreci kemisorpsiyon, kompleksleşme, yüzey ve gözenekler üzerinde adsorpsiyon, iyon değişimi gibi mekanizmaları içerdiğinden çok karmaşıktır (Sud vd. 2008).

Biyosorpsiyonun bazı avantajları:

- ✓ Biyomas tekrar kullanılabilir.
- ✓ Toksisiteden etkilenmeksizin ağır metal giderimi yapılabilir.
- ✓ Kısa sürede sonuç alınabilir.
- ✓ Toksik olabilecek ikincil atıkların oluşması engellenebilir.

Çizelge 2.4 Biyosorpsiyon yapan bazı mikroorganizmalarla yapılan çalışmalar

Canlı	Metal	Kapasite	Literatür
Aspergillus niger	Pb(II), Cd(II), Cu(II)	3.81 mg/g, 2.0 mg/g, 2.09 mg/g	Kapoor vd. 1999
Dunaliella sp.	Cr(VI)	58.3 mg/g (100 mg/L)	Aksu ve Dönmez 2002
Bacillus sp.	Pb (II)	%89.45	Çabuk vd. 2006
Spirulina platensis	Cd(II)	%98	Solisio vd. 2008
Pseudomonas veronii	Cu(II), Zn(II), Cd(II)	% 35, %41, %47	Vullo vd. 2008
Aspergillus fumigatus	azo boyası	186.6 mg/l, 41.1 mg/g	Wang vd. 2008
Phormidium sp.	Cr(VI)+ Remazol Black B	%83.7-90.6	Aksu vd. 2009
Geobacillus thermodenitrificans	Fe ⁺³ , Cr ⁺³ , Co ⁺² , Cu ⁺² , Zn ⁺² , Cd ⁺² , Ag ⁺ , Pb ⁺²	%91.31, %80.80, %79.71, %57.14,% 55.14, %49.2, %43.25, %36.86	Chatterjee vd. 2010
Candida lypolitica	Cr(VI)	15 mg/g (30 mg/L)	Ye vd. 2010

2.7 Atık Su Arıtımında Kullanılan Mikroorganizmalar

2.7.1 Funguslar

Funguslar hem ekolojik hem ekonomik alanlarda önemli rollerde bulunan ökaryotik mikroorganizmalardır. Hif denilen filamentlere sahiptirler. Hücreleri uzun, ipliksi ve

uçtan uca bağlıdır. Hücre çeperleri kitin içeren heterotrofik organizmalardır. Bitki hücrelerine benzer olarak funguslarda da hücre duvarı vardır. Hücre duvarları %80-90 polisakkarit, polifosfat, protein, lipit ve inorganik iyonlardan oluşmaktadır. Fungusların yaşam ortamları oldukça geniştir. Bitkisel atıklarda, sulak yerlerde, toprakta ve canlılarda parazit yapabilirler(www.ucmp.berkeley.edu/fungi, 2012).

Funguslar hareket edemezler, onların bu hareket eksikliği uygun çevresel koşullarda hızla gelişen filamentler aracılığıyla olur. Hayvanlarda olduğu gibi diğer organizmaların organlarında veya atıklarında saklanan besinleri parçalayarak hayatta kalırlar. Bazıları diğer organizmalardan beslenerek parazitik bir yaşamla bazı hastalıklara sebep olurlar. Hayvanlardan farklı olarak, funguslar besinleri direk almazlar, onun yerine, kompleks molekülleri hücre dışına enzim salgılayarak daha küçük moleküller haline getirir ve absorblarlar (Byers vd. 2005).

Fungusların dışarıya salgıladıkları bu enzimler proteaz, karbonhidraz, lipaz ve nükleaz karakterindedir. Bazıları birden fazla enzim sentezleyebilmektedir. Örneğin; *Aspergillus niger*, amilaz, sellobiyaz, katalaz, lipaz, proteaz, maltaz gibi ekstraselüler enzimleri üretebilmektedir(www.mikrobiyoloji.org).

Funguslar toprak fertilitésinin sağlanmasında, peynirlerin olgunlaşmasında ve bazı önemli endüstri ürünleri elde edilmesinde çok büyük yararlar sağlarlar(www.mikrobiyoloji.org).

- Organik asitler; asetik, formik, fumarik, gallik, glukonik, lakik, malonik, sitrik, oksalik asitler
- Alkoller; alkol, gliserol, eritritol, mannitol
- Enzimler; amilaz, amidaz, invertaz, lipaz, proteaz, maltaz
- Pigmentler; aleoamodin, auratin, beta karoten, aspergillin
- Polisakkaritler; glikojen, reguloz, nişasta
- Steroller; kolesterol, fungisterol, ergosterol, fitosterol
- Antifungal maddeler; griseofulvin, mikostatin, nistatin
- Antibiyotikler; penisilin, eritromisin, sikloserin, sefalosporin, kanamisin, streptomisin

- Vitaminler, proteinler ergot alkaloidler, lipidler, toksin ve diğer toksik substanlar (www.mikrobiyoloji.org, 2012).

2.7.1.1 Funguslarla yapılan biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmaları

Son yıllarda ağır metal içeren atık suların arıtımında biyolojik yöntemler, etkili, pratik ve ekonomik olmaları nedeniyle fiziksel ve kimyasal arıtım yöntemlerine tercih edilmektedir.

Ağır metallerin uzaklaştırımı ve metal biriktirme yetenekleri yönünden özellikle mantarlarla yapılan biyosorpsiyon çalışmaları daha verimli bulunmuştur. Ayrıca fungal kitlelerin fermantasyon endüstrilerinden büyük miktarlarda hazır elde edilmesi, genetik ve morfolojik manipülasyon çalışmalarında kolaylıklar içermesi, özellikle toksik metallerin yüksek derişimlerine karşı farklı dirençlilik yetenekleri ve mikoriza üretmeleri tercih nedenleridir (Sağlam ve Cihangir 1995).

Kluyveromyces marxianus ile yapılan bir çalışmada, melaslı besiyerinde bu mikroorganizmanın Cu(II) giderimi gözlenmiştir. Çalışmada süktroz , Cu(II) iyonlarının mikroorganizma gelişimine ve biyoakümülyasyona birlikte etkisi laboratuvar şartlarında, farklı pH dereceleri ve Cu(II) konsantrasyonunda gözlenmiştir. Giderim için optimum pH 4 olarak bulunmuştur. Bakır(II) biyoakümülyasyonunun süktroz ve Cu(II) konsantrasyonlarından etkilendiğı anlaşılmıştır. Yüksek Cu(II) konsantrasyonlarında bazı maya hücreleri inhibe olurken, *Kluyveromyces marxianus* bu ağır metali maksimum Cu(II) kapasitesi olan 512.2 mg/l ‘ de, 20.4 g/l süktroz bulunan ortamda 8 günde %48,4 Cu(II) giderimi olmuştur (Dönmez ve Aksu 2000).

Atık sulardaki ağır metallerin giderimi için yeni teknolojilere ihtiyaç vardır. Mikroorganizmaların sulardan metal iyonlarını giderdiği bilinmektedir. *Aspergillus niger* ile yapılan çalışmasında, kurşun(II), kadmiyum(II), bakır(II) ve nikel(II) iyonlarının giderimi gözlenmiştir. Ölü biyomas ile biyosorpsiyon ve biyobirikim yapılan giderimin canlı biyomas ile yapılan giderime oranla daha fazla olduğı

saptanmıştır. Fakat nikel(II)'li ortamda canlı hücreyle yapılan giderimin biyosorpsiyondan daha etkili olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmaya göre ölü hücrelerle yapılan giderim canlı hücrelere oranla daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır (Kapoor vd. 1999).

Mucor rouxii ile yapılan bir çalışmada, kurşun(II), kadmiyum(II), nikel(II) ve çinko(II) giderimi gözlenmiştir. Ölü ve canlı hücreler giderim öncesi NaOH ile muamele edilmiştir. Ölü biyomas ile yapılan biyosorpsiyonda pH 3 ve altındaki değerlerde biyosorpsiyon inhibe olmaktadır. pH 4 ve yukarısındaki derecelerde biyosorpsiyon artmaktadır. pH 5'te canlı hücrelerle yapılan giderim miktarları sırasıyla kurşun, nikel, kadmiyum ve çinko için 35.69, 11.09, 8.46, 7.75 mg/g bulunmuştur. Aynı pH'ta ölü hücreler için yapılan giderimde ise sırasıyla kurşun(II), çinko(II), kadmiyum(II) ve nikel(II) için 25.22, 16.62, 8.36 ve 6.34 mg/g'dır. pH 6'da ise ölü biyomasla yapılan biyosorpsiyonda giderim sırasıyla 53.75, 53.85, 20.31 ve 20.49 mg/g bulunmuştur. NaOH ile ön muameleye tabi tutulan biyomas biyosorpsiyonda daha yüksek aktivite gösterdiği gözlenmiştir(Yan ve Viraraghavan 2003).

Javaid ve diğerlerinin (2011) *Pleurotus ostreatus* ile yaptığı bir çalışmada bakır(II), nikel(II), çinko(II) ve krom(VI) giderimi araştırılmıştır. Bu çalışmada başlangıç metal iyon konsantrasyonu, sıcaklık, karıştırma hızı, pH, biyomas dozu, kararlılık zamanı gibi parametrelerin metal giderimine etkisi araştırılmıştır. Maksimum adsorpsiyonun Ni(II), Cu(II) ve Zn(II) için pH 4.5-5.0 aralığında iken Cr(VI) için pH 2.5 olduğu saptanmıştır. Maksimum biyosorpsiyon kapasiteleri ise; Cu(II) %51.77, Ni(II) %60.50, Zn(II) %9.7 ve Cr(VI) %20.01 olarak bulunmuştur.

Mikroorganizmalar, ağır metallerle kirlenen suların biyoremediasyonunda kilit rol oynamaktadırlar. *Aspergillus niger* izolatlarının, endüstriyel atık sulardan Ni(II) ve Cr(VI) gibi ağır metallerin giderim kapasitelerinin ölçüldüğü çalışmada, optimum pH ve sıcaklıkta Ni(II)ve Cr(VI) için sırasıyla %90, %92 giderim sağlanmıştır (Congeevaram vd. 2007).

İmmobilize edilen *Aspergillus niger*'in endüstriyel atık sudaki Cu(II), Mn(II), Zn(II), Ni(II), Fe(III), Pb(II) ve Cd(II) gibi ağır metallerin giderim veriminin araştırıldığı bir çalışmada, elde edilen verimler sırasıyla %72.8, %52.3, %55.4, %54.4, %80, %90, %96.2 olarak bulunmuştur (Tsekova vd. 2010).

Aspergillus terreus'un Cu(II) gideriminin optimize edildiği bir çalışmada sıcaklık, pH, karıştırma hızı ve biyomas miktarının giderime etkisi bulunmuştur. En yüksek verim pH 6, biyosorbent miktarı 0.175 g, karıştırma hızı 50/dk ve sıcaklık 50 °C olduğu zaman elde edilmiştir. Optimum şartlar sağlandığında elde edilen verim % 68.52 olarak bulunmuştur (Cerino-Cordova vd. 2012).

Tekstil boyalarının gideriminin yapıldığı bir çalışmada ise, *Aspergillus fumigatus*'un ölü biyoması kullanılarak metilen mavisinin giderimine bakılmıştır. Başlangıç metilen mavisi konsantrasyonunun 5 mg/l, pH 7 ve sıcaklığın 30 °C olduğu şartlarda, otoklavlanan *Aspergillus fumigatus* örneklerinin metilen mavisi giderim verimi yaklaşık %75 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada, *A. fumigatus* örneklerinin, ön muamele yaparak ve ön muamelesiz giderim verimini de denemişlerdir. NaClO ile ön muamele yapılan örneklerde optimum şartlarda % 98, H₂O₂ ile yapılan da ise %89 oranında verim elde edilmiştir (Abdallah ve Taha 2012).

Filamentli mantarların Cu(II) ve Pb(II) giderimlerinin belirlendiği bir çalışmada, *Aspergillus niger*, *A. fumigatus*, *Trichoderma asperellum*, *Penicillium simplicissimum* ve *P. janthinellum* kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda maksimum giderim kapasitesine sahip olan izolat *A. niger* olarak bulunmuştur (Iskandar vd. 2011).

Trichoderma viride ile yapılan bir çalışmada, Cu(II) biyoakümülyasyon mekanizması ve bu mikroorganizmanın gelişim sırasındaki metal toleransı çalışılmıştır. Maksimum Cu(II) gideriminin pH 5'te ve 30 °C 'de olduğu saptanmıştır. Kullanılan mikroorganizma artan Cu(II) konsantrasyonundan etkilenmeyerek gelişimini sürdürmüştür. Optimum şartlarda yapılan giderim %81.77 olarak belirlenmiştir (Anand vd. 2006).

Uranyum biyosorpsiyonunun yapıldığı bir çalışmada *Aspergillus fumigatus* kullanılmıştır. Başlangıç uranyum konsantrasyonu 60 mg/L, biyosorbent miktarının ise %2 olduğu durumda (pH 5, 30 ° C) maksimum giderim % 87.8 olarak bulunmuştur (Wang vd. 2010).

Önemli bir filamentli endüstriyel fungus olan *Rhizopus cohnii* kullanılarak atık sulardan Cd(II) giderimi çalışılmıştır. Bu çalışmada pH 2 ve altında hiç giderim olmadığı saptanmıştır. Optimum şartlarda % 80'e varan giderim görülmüştür (Luo vd. 2010).

2.7.1.2 Diğer mikroorganizmalarla yapılan biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmaları

Kadmiyum(II) ve kurşun(II) biyosorpsiyonunun *Anabaena sphaerica* ile yapıldığı bir çalışmada, optimum pH'ların her iki ağır metalde de farklı olduğu saptanmıştır. Cd(II) pH 5.5'te optimum giderilirken, Pb(II) giderimi ise pH 3'te yapılmaktadır. Maksimum verim Cd(II) için % 94.3, Pb(II) için ise % 88.6 olduğu görülmüştür (Abdel-Aty vd. 2012).

Bir diğer çalışmada, endüstriyel atık suda *Geobacillus thermodenitrificans*'ın metal bağlama kapasitesi ölçülmüştür. Bu çalışmada Fe⁺³, Cr⁺³, Co⁺², Cu⁺², Zn⁺², Cd⁺², Ag⁺, Pb⁺² metallerinin *G. thermodenitrificans* tarafından giderim kapasiteleri ölçülmüştür. Optimum pH'lar sırasıyla 6.5, 7, 4.5, 7.5, 5, 6, 7.5, 4.5 olarak saptanmıştır. Her metal için optimum pH'nın farklı olduğu görülmüştür. Maksimum giderim oranları % 91.31, % 80.80, % 79.71, % 57.14, % 55.14, % 49.2, % 43.25, % 36.86 şeklindedir (Chatterjee vd. 2010).

Şahin ve Öztürk (2005) *Bacillus thrungiensis*'in Cu(II) içeren besiyerinde gelişebildiğini ve giderim yapabildiğini gözlemlemişlerdir. Farklı sıcaklıklar denemişler ve optimum sıcaklığı 25 C° olarak bulmuşlardır.

Candida lypolitica ve *C. tropicalis* türleriyle yapılan biyosorpsiyon çalışmasında boyar madde giderimine bakılmıştır. Bu mikroorganizmaların da yaklaşık 400 ppm boyar madde içeren ortamda gelişebildikleri gözlenmiştir (Aksu ve Dönmez 2003).

Candida albicans ile yapılan bir çalışmada, 100 mg/l Pb(II) içeren besiyerinde optimum şartlar sağlandığında etkili bir giderim olduğu gözlenmiştir. En yüksek giderim 45°C 'de elde edilmiştir (Baysal vd. 2009).

Bacillus sp. ile yapılan Pb(II), Cr(VI) ve Cu(II) giderim çalışmasında, her bir ağır metal için optimum pH derecesi farklıdır. 27-° C 'de pH dereceleri Pb(II), Cu(II) ve Cr(VI) için sırasıyla 4.5, 4.5 ve 2 olarak bulunmuştur. Çalışmada metal iyonlarının konsantrasyonu ve başlangıç pH derecelerinin biyosorpsiyon veriminde etkili olduğu anlaşılmıştır. Optimum şartlarda bu mikroorganizmanın yaklaşık %72 oranında giderim yapabildiği gözlenmiştir (Nourbakhs vd. 2002).

Bacillus thuringiensis ile yapılan bakır(II), kadmiyum(II), kurşun(II), nikel(II) ve krom(VI) gideriminde optimum pH dereceleri nikel ve krom için 7, kadmiyum, bakır ve kurşun için 6 olarak bulunmuştur. Bu ağır metallerin bulunduğu besiyeri ortamında gelişebildiği ve giderim yapabildiği gözlenen *B. thuringiensis*'in %94 oranında nikel, %91.8 oranında bakır ve %87 oranında kadmiyum giderimi yaptığı görülmüştür (Oves vd. 2012).

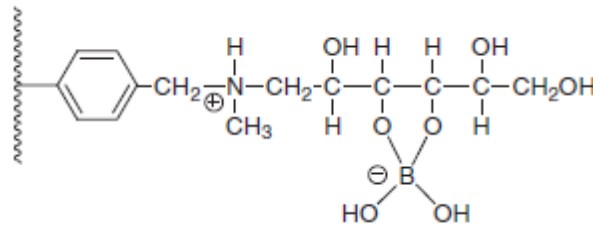
2.8 Boru Atık Sulardan Arıtma Yöntemleri

2.8.1. Kimyasal yöntemler

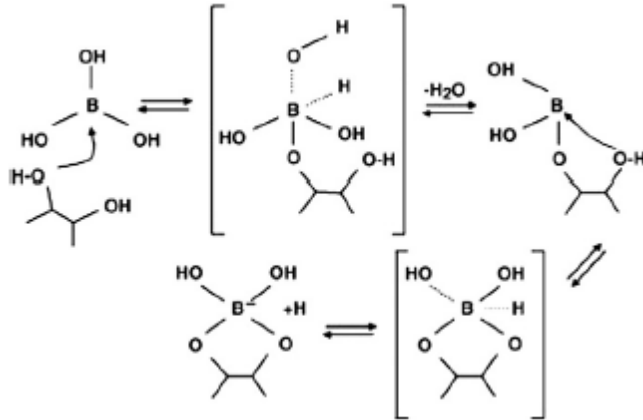
Deniz ve yüzey sularındaki artan bor konsantrasyonu dikkate alınarak, güncel araştırmalarda, etkili bor giderim tekniklerinin geliştirilmesine ağırlık verilmiştir. Doğal ve atık sulardaki bor konsantrasyonunun yüksekliği, araştırmaların bor giderim verimi ve geliştirilmesi için belirleyicidir. Bor giderimindeki en büyük zorluk, borun suda birkaç farklı kimyasal yapıda görülmesi ve konsantrasyonunun bölgeden bölgeye farklılık göstermesidir. Su arıtımında yaygın olarak kullanılan metodlar olan sedimentasyon, koagülasyon yada adsorpsiyon bor bileşikleri için etkili değildir (Wolska ve Bryjak 2013).

Bor gideriminde kullanılan teknikler (Wolska ve Bryjak 2013);

- Adsorpsiyon metodları: Bor gideriminde en yaygın kullanılan tekniktir. Şelat reçinelerinin uygulaması etkili metodlardan biri olarak görülmektedir. Şelat reçineleri *cis* pozisyonunda üç ve daha fazla hidroksil grubuna sahip ligandlar içerir, bu da bor için yüksek seçicilik sağlar ve diğer metaller veya elementlerle reaksiyona girmezler. Sentezlenen bütün reçineler N-metil-D-glukamin (NMDG) ile modifiye edilirler. Bor bu reçinelerin fonksiyonel grupları ile kovalent bağ kurar, şekil 2.2 ve şekil 2.3’de görülen kompleks bir yapı oluşturur.



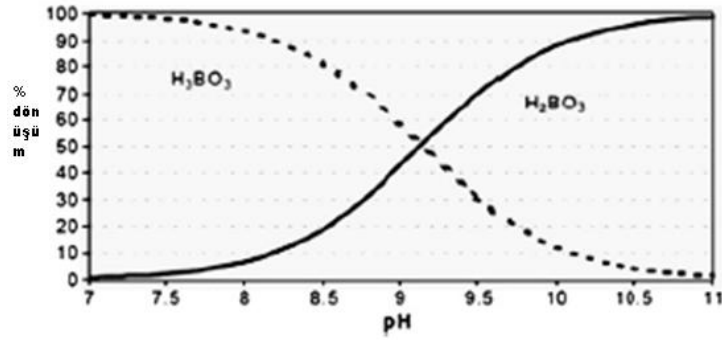
Şekil 2.2 NMDG tipi şelat reçinesi



Şekil 2.3 NMDG tipi şelat reçinesine bor bağlanma mekanizması

- Membran metodları: Bor bileşiklerinin gideriminde kullanılan bir diğer yaygın tekniktir. Bu teknolojiler belirli bir seviyenin altındaki bor giderimi için bazen kullanışlı olmamakta ve ek bir teknolojik süreç gerektirmektedir. Membran işlemlerinin çoğunda pH değeri 10-11 olmak zorundadır. Bu şartlarda borik asit borat şekline dönüştürülmektedir. %98-99 oranında borat giderimi

sağlanmaktadır ancak yüksek pH değeri membran yüzeyinde magnezyum ve kalsiyum hidroksit çökmesine neden olmaktadır.



Şekil 2.4 Borik asitin borat şekline dönüşümü

- Hibrit metodlar: Düşük moleküler ağırlıklı ajanlar olan, sodyum D-glukonat, D-mannitol komplekslerin filtrasyonunda birlikte kullanılarak bor giderimine yeni bir yaklaşım getirmişlerdir, hibrit sistemler. Herhangi bir hibrit sistemin hedefi, yeterince büyük çapa sahip ve kolayca filtrelenebilir suda çözünebilir yapılara borat bileşiklerinin bağlanmasıdır. Bu grup ayırma metodları zararlı küçük parçacıkların sudan ayrılmasını amaçlamaktadır. Bu ayırma iki fenomenle kombine edilir; birincisi ince yapılar üzerinde sorpsiyon, ikincisi ise B yüklü cisimlerle membran ayırma.

En popüler metodlar:

- ✓ PEUF (Polimer Destekli Ultrafiltrasyon): Bu yöntem, suda çözünebilir polimer üzerindeki borat komplekslerinin Ultrafiltrasyon membranları ile ayrılması esasına dayanır. Polimerler bor için seçici bileşiklerdir.
- ✓ AMF (Adsorpsiyon Membran Filtrasyonu): Bu yöntem, mikrosferik sorbentler ve mikrofiltrasyon membranları ile donatılmış hibrit bir yapıdırma için en iyi yaklaşım olarak görünmektedir. Mikrofiltrasyonun yüksek basınca ihtiyaç

duymaz ve membranların kritik akı koşullarında da çalışabilir. AMF sisteminde piyasadaki herhangi bir bioreaktör membranı kolayca uyarlanabilir.

✓ MEUF (Micelle Destekli Ultrafiltrasyon)

➤ Diğer metodlar

Elektrokoagülasyon (EC): Bu yöntem nötralizasyon ile kirleticileri uzaklaştıran bazı ajanların elektrokimyasal üretimine dayanmaktadır. EC metal anoda sahip (çoğunlukla alüminyum veya demir) bir hücre içerir ve doğrudan elektrik kullanılır. 3 aşama içerir; i. Anot elektrik oksidasyonu ile koagülasyon oluşumu, ii. Emülsiyon ile kirleticilerin ve asılı maddelerin destabilizasyonu, iii. Topaklar oluşturmak için kararsız partiküllerin birleştirilmesi.

Donnan diyaliz yöntemi (DD): Seyreltik çözeltilerin arıtılması için kullanılan iyon değişim membran sürecidir.

Kapasitif deiyonizasyon yöntemi: Klasik CDI yönteminde çözelti, aktive edilmiş karbon ile sürekli beslenmektedir. Bor gideriminde 2 aşama izlenir; i. Bazik bir pH ile polarize olan hücreyle negatif elektrod üzerinde borik asit ayrıştırılması, ii. Pozitif yüklü elektrod üzerinde borat iyonunun elektro-adsorpsiyonu.

Doğrudan temas membran distilasyon yöntemi: Bu yöntem membran distilasyonunun bir çeşididir. Sıcaklığa dayalı süreçte, gözenekli hidrofobik zarla su buharı taşınmasıdır.

Mikroalga hidrotermal metodu: Presipitasyonu arttırmak için mikroalga radyasyon uygulamasıdır. Bor için, presipite tuz olarak kalsiyum hidroksit ilave edilir.

İyonik sıvılar ile ekstraksiyon: Yüksek tuz içerikli sularda bor giderimi için kullanışlı bir yöntemdir.

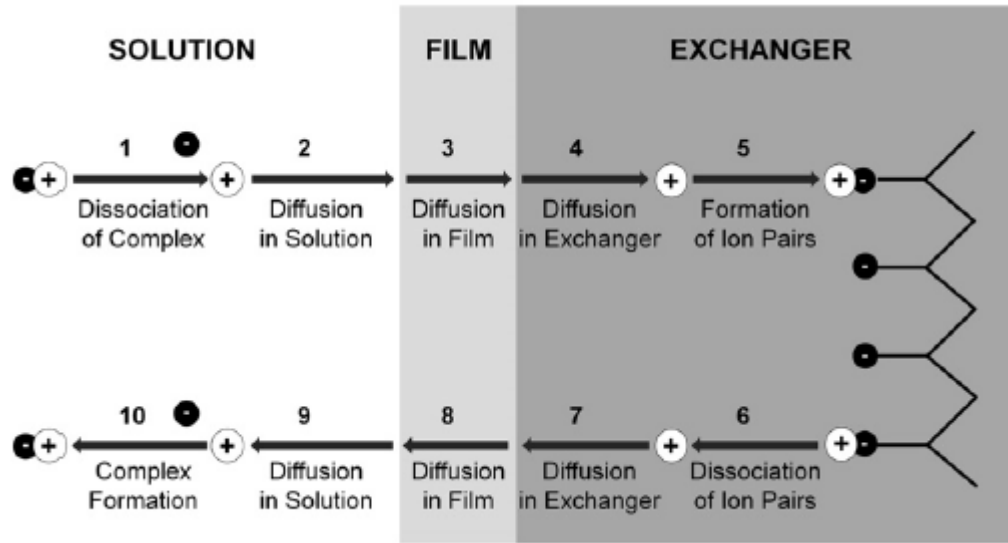
Ayrıca; ters ozmoz, iyon değişimi ve presipitasyon gibi yöntemleri de uygulanmaktadır (Hilal vd. 2011).

Ters ozmoz: Deniz suyunun arıtılmasında yararlanılan membran yöntemlerinden biridir. Deniz suyuyla ters ozmoz da yarı geçirgen zar kullanılmaktadır. Su nüfuz ederken, çözünebilir türlerin çok bulunduğu yerde fayda sağlamaktadır. Ters ozmoz da süreç, deniz suyu üzerindeki ozmotik basıncı yenebilecek kadar dış basınç uygulanarak gerçekleştirilir.

Borun analizi sulu ortamlardan alınan örneklerden hem spektrofotometrik hem de spektrometrik yöntemlerle yapılmaktadır. Spektrofotometrik method borun bazı spesifik reaktifler olan karmin, azometin H ve curcumin ile kolorimetrik reaksiyonlara girmesine dayanmaktadır. Ters ozmoz membranlarının sodyum reddi çok yüksek olmasına rağmen bor için aynı durum söz konusu değildir (Tu vd. 2010).

İyon değişimi: Bor gideriminde iyon değişim reçinelerinin kullanılmasına 1970lerde başlanmıştır. Borik asit, borat esterlerini oluşturmak üzere çoklu hidroksil gruplarına sahip bileşiklerle tepkimeye girerler. Esterlerden hızla serbest protonlar ayrılır. Sonuçta, asidifikasyon miktarı poliollerin ilavesiyle oluşan esterleşme oranıyla orantılıdır(Şekil 2.5).

İyon değişimi sürecinin genel mekanizması:



Şekil 2.5 İyon değişim süreci mekanizması

2.8.2 Biyolojik yöntemler

Bütün bu metodlara ek olarak biyolojik materyaller de bor gideriminde kullanılabilir. Bu konuda mikroorganizma ile yapılmış literatürde bulunan tek çalışma Taştan vd. (2012)'ne ait çalışmadır. Bu çalışmada, *Chlorella sp.* türünün bor giderim kapasitesi araştırılmıştır. *Chlorella sp.* 'nin başlıca kirleticileri giderebildiği bilinmektedir, fakat B giderim kapasitesi daha önce çalışılmamıştır. Artan biyokütle ile giderim verimini sınamak için, izole edilen *Chlorella sp.* örnekleri BG 11 besiyerinde, triakantonol (TRIA) ve/veya NaHCO_3 (sodyum bikarbonat) gibi uyarılar eklenerek ve her ikisi de eklenmeden bor giderimleri araştırılmıştır. Bu çalışmada farklı ortam bileşiklerinin etkisi, B konsantrasyonları, pH ve biyomas konsantrasyonunun giderim verimine etkisi belirlenmiştir. Sonuç olarak; pH 8'de, TRIA ve NaHCO_3 bulunan ortamda en yüksek giderim %38.03 olarak bulunmuştur.

Diğer bir çalışma da ise bitkisel arıtma yöntemi kullanılmıştır. Diğer adıyla fitoremediasyon tekniği, atık suların kirleticilerden arındırılması için bitkilerden yararlanılmasıyla geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntemde yaygın olarak su mercimeği kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda su mercimeği türlerinin organik maddelerin ve yaygın iz elementlerin giderimini yaptıkları görülmüştür. Bazı su mercimeği türlerinin iyi bir B akümülatörü olduğu bilinmektedir. *Lemna gibba* kullanılarak yapılan bu

Çalışmada 0.3-10 mg/L B içeren besiyerleri hazırlanmıştır. B konsantrasyonunun bitki gelişimine etkisi ve B akümüasyonu çalışılmıştır. Bu türün fitoremediasyon sistemiyle bor gideriminde kullanım potansiyelini belirlemeye çalışmışlardır. Sonuçlar 10 mg/L'ye kadar borun herhangi bir toksik etki yapmadığını göstermiştir. 12 gün boyunca geliştirilen örneklerden 3., 6., 9., ve 12. günlerde yapılan analiz sonuçlarına göre *Lemna gibba*'nın 2 mg/L'ye kadar olan bor konsantrasyonlarında iyi bir giderim yaptığı bor konsantrasyonu arttıkça giderim etkinliğinin azaldığı saptanmıştır (Del-Campo Marin ve Oron 2007).

Bor gideriminde sucul bitkilerin kullanıldığı bir diğerk çalışmada ise *Caulerpa racemosa* kullanılmıştır. İzmir'in Seferihisar ilçesinden toplanan örneklerle optimum pH, sıcaklık, başlangıç bor konsantrasyonu, adsorbant miktarı, maruz kalma süresi ve iyon gücü gibi parametreler çalışılmıştır. Optimum koşullar pH 7.5, sıcaklık 318 K, 8 mg/L başlangıç bor konsantrasyonu 0.2 g adsorbant, maruz kalma süresi 2.5 saat ve 10^{-1} M NaCl olarak bulunmuştur. Optimum koşullar sağlandığında elde edilen maksimum verim %63 olarak gözlenmiştir (Bursali vd 2009)

3. MATERİYAL VE METOD

3.1 Besiyerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılmış olan besiyeri hem düşük maliyetli hem de kolay hazırlanabilir sentetik atık su besiyeridir. Kullanılan besiyerinin içeriği aşağıda gösterilmiştir.

Sentetik atık su besiyeri bileşimi (Bracklow vd.2007):

Bileşen	Miktar g/L
Pepton	0.025 g
Ayçiçeği yağı	0.035 g
Yeast (maya özütü)	0.080 g
Peyniraltı suyu tozu	0.160 g
Glukoz	2 g
Nişasta	0.200 g
NH ₄ COOH	0.150 g
K ₂ HPO ₄	0.026 g
KH ₂ PO ₄	0.026 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.006 g
Üre	0.050 g
Fe SO ₄ . 7H ₂ O	0.008 g

Borun hazırlanışı; Sentetik atık su besiyeri hazırlandıktan sonra çeşitli konsantrasyonlarda borik asit çözeltisi ilave edilmiştir.

3.2 Mikroorganizmaların Geliştirilmesi

Bu çalışmada kullanılan mikroorganizmalar Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı saf kültür koleksiyonundan alınmıştır. Saf kültürden alınan mikroorganizmalar 250 mL hacmindeki erlenlere 100 mL olarak hazırlanmış sentetik atık su besiyerine aktararak gelişimleri izlenmiştir. Mikroorganizmalar bakteriler pH 6'da, fungus ve mayalar pH 5'te, 100 rpm'de 5 gün boyunca karıştırılarak geliştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan mikroorganizmalar: *Candida tropicalis*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Micrococcus luteus*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas aeruginosa* ve *Aspergillus versicolor*.

3.3 Bor Giderimi

Çalışmada her bir deneysel parametre üçer tekrarlı olacak şekilde hazırlanmıştır. Mikroorganizmaların en yüksek oranda bor giderimi yaptığı koşullar optimize edilmiş, elde edilen veriler % biyobirikim, ve q_m (gram hücre başına maksimum spesifik bor alımı) (mg/g) değerleri hesaplanmıştır.

$$CAD = E_{\text{gim}} \cdot C_0 \quad \% \text{Biyobirikim} = CAD \cdot 100 / C_0$$

$$q_m = CAD / x \quad x = \text{mikroorganizma kuru ağırlığı}$$

Besiyerinin pH'ı bakteriler için 6, fungus ve mayalar için 5 olarak ayarlanıp 20 ppm bor konsantrasyonunda 2. gün ve 4. gün örnekler alınarak mikroorganizmaların bor giderim kapasiteleri belirlenmiş ve giderim kapasitesi görece en yüksek mikroorganizmalar olan *Aspergillus versicolor* ve *Bacillus thuringiensis* üzerinde çeşitli parametreler denenmiştir.

Bor giderimi Adams (1990) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır.

3.3.1 Biyobirikim çalışması için deneysel parametreler

3.3.1.1 Mikroorganizma seçimi

Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan alınan 9 adet mikroorganizma, hazırlanan sentetik atıksu besiyerine 20 ppm borik asit çözeltisi de ilave edilerek geliştirilmiştir. Gelişmeleri gözlenen bu mikroorganizmaların bor giderim kapasiteleri belirlenmiş ve giderim verimliliği en yüksek olan mikroorganizma seçilerek denemelere bu mikroorganizmayla devam edilmiştir.

3.3.1.2 pH'ın bor giderimine etkisi

Farklı pH derecelerinin bor giderimine etkisini araştırmak için 20 ppm bor içeren besiyeri, *Aspergillus versicolor* için pH 4, 5, 6 ve 7, *Bacillus cereus* için ise 6, 7, 8 ve 9 dereceleri olarak ayarlanmıştır. Bor giderimi inkübasyonun 2. ve 4. günlerinde ölçülmüştür.

3.3.1.3 Başlangıç bor konsantrasyonunun giderime etkisi

Farklı başlangıç bor konsantrasyonlarının giderime etkisini araştırmak için *Aspergillus versicolor* için besiyerine pH 5'te 15, 20 ve 25 ppm bor konsantrasyonlarında 1., 2., 3., 4. ve 5. günlerdeki giderim miktarı hesaplanmıştır. Her bir ppm derecesi için üç paralel yapılmıştır.

3.3.2 Biyosorpsiyon çalışması

Biyobirikim çalışmalarının biyosorpsiyon çalışmasıyla karşılaştırılabilir olması açısından aynı konsantrasyonlarda denemeler yapılmıştır. Biyosorpsiyon çalışmasında, 80 °C'de bir gece fırında kurutulduktan sonra tartılan *Aspergillus versicolor* örnekleri

250 mL'lik erlenlere 100 mL distile su içerisinde farklı bor konsantrasyonlarında farklı miktarlarda ilave edilerek, 0., 5., 15., 30. dakika ve 1., 4., 24. saatlerde ölçüm yapılarak bor giderim kapasiteleri belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez çalışmasında Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan 9 adet mikroorganizma alınarak bor giderimleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda *Aspergillus versicolor*'ın diğer mikroorganizmalara göre nispeten daha fazla giderim yaptığı gözlemlendiğinden çalışmalara bu mikroorganizmayla devam edilmiştir.

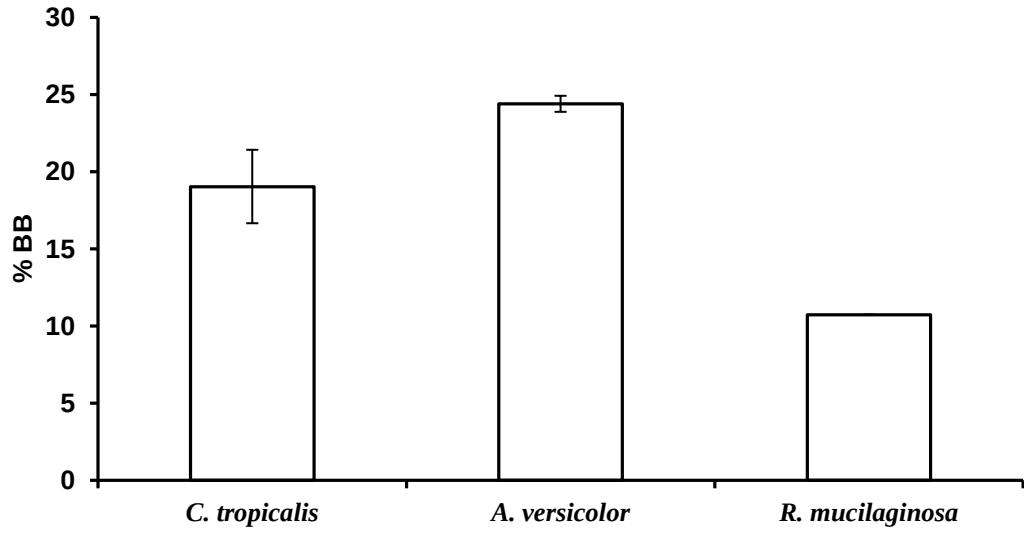
Çalışmanın ikinci aşamasında *Aspergillus versicolor* ile borun farklı konsantrasyonlarında ve farklı pH derecelerinde biyobirikim çalışması yapılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında ise biyobirikim çalışması sonunda elde edilen biyokütle ve konsantrasyonlara eş biyosorpsiyon çalışması yapılmış ve biyobirikim ile biyosorpsiyon çalışmaları karşılaştırılmıştır.

4.1 Mikroorganizma Seçimi

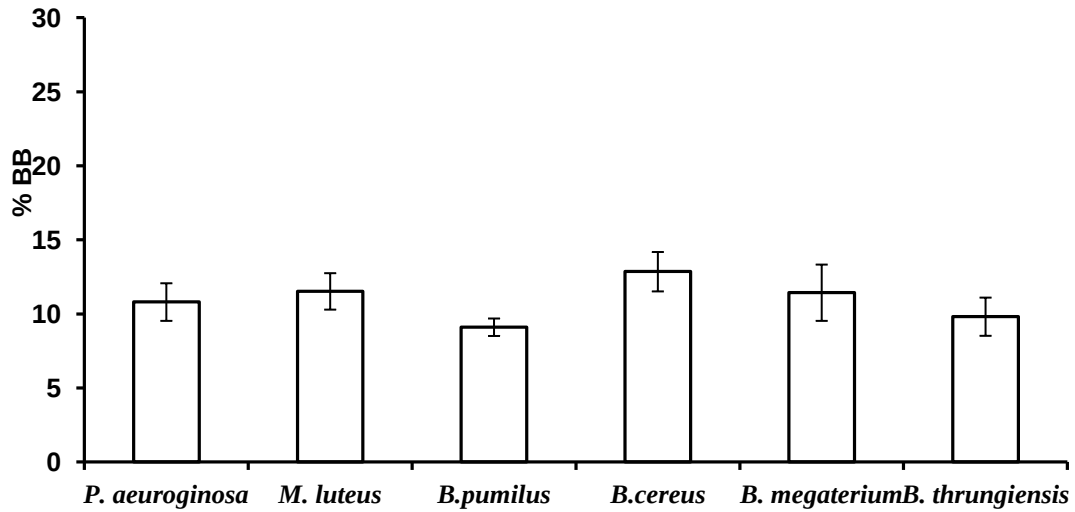
Bor birikimini en iyi yapan mikroorganizmayı bulmak için yapılan deneylerde denenen bütün mikroorganizmalar 20 ppm bor içeren sentetik atık su besiyerinde geliştirilmiştir. Denemeler her mikroorganizma gelişiminin 5. gününde bor gideriminin ölçümleriyle gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.1'de mikroorganizmaların bor giderim verimleri verilmiştir.



Şekil 4.1 *Candida tropicalis*, *Rhodotorula mucilaginosa* ve *Aspergillus versicolor*'a ait bor giderimi yüzdesi (C_0 ; 20 mg/L, inkübasyon süresi; 5 gün, pH; 5, T; 25 ± 2 °C karıştırma hızı; 100 rpm)

Candida tropicalis, *Rhodotorula mucilaginosa* ve *Aspergillus versicolor*'a ait yukarıdaki grafikte, başlangıç bor konsantrasyonu 20 mg/L'dir. 5 günlük inkübasyon süresi sonunda pH 5'te *C. tropicalis* %19, *R. mucilaginosa* %10 giderim gösterirken *A. versicolor* %25 giderim yapmıştır. Mayalar arasında yüksek oranda bor giderimi gösteren mikroorganizmanın *A. versicolor* olduğu bulunmuştur.



Şekil 4.2 Çalışmada kullanılan *Bacillus* türlerine ve *P. aeuroginosa*'ya ait bor giderim yüzdeleri (C_0 ; 20 mg/L, inkübasyon süresi; 5 gün, pH; 6, T; 25 ± 2 °C karıştırma hızı; 100 rpm)

Bakterilerde ise giderim verimliliğinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Başlangıç bor konsantrasyonu burada da 20 mg/ L'dir. 5 günlük inkübasyon süresi sonunda pH 6 da geliştirilen mikroorganizmaların şekil 4.2'de görüldüğü gibi ortalama giderim yüzdesi % 10'dur. Diğer mikroorganizmalara nazaran *B. cereus*'un %13'lük giderimle görece daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.1 Sentetik atık su besiyerinde farklı mikroorganizmaların bor giderimi (C_0 ; 20 mg/L, inkübasyon süresi; 5 gün, pH; 5 mayalar için, pH; 6 bakteriler için, T; 25 ± 2 °C karıştırma hızı; 100 rpm)

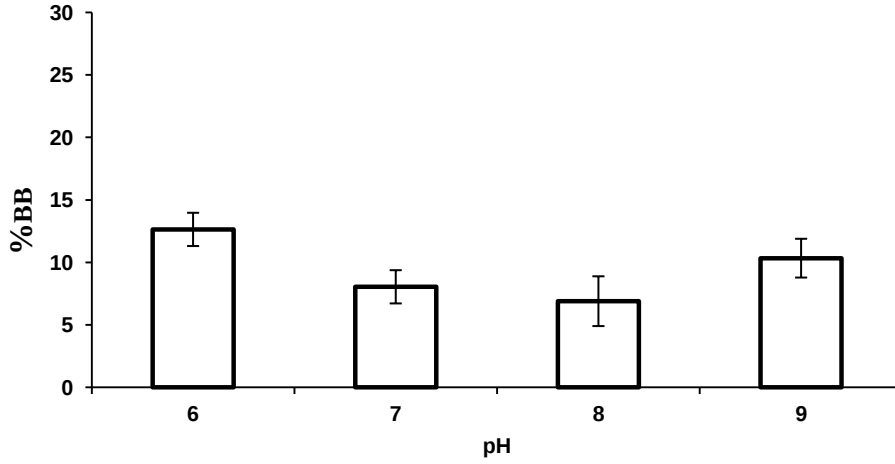
	Mikroorganizma	% BB
Mayalar	<i>Candida tropicalis</i>	19.03 ± 2.38
	<i>Aspergillus versicolor</i>	24.39 ± 0.52
	<i>Rhodotorulla muciliginosa</i>	10.72 ± 0.17
Bakteriler	<i>Pseudomonas auroginosa</i>	10.81 ± 1.27
	<i>Micrococcus luteus</i>	11.53 ± 1.23
	<i>Bacillus pumilus</i>	9.11 ± 0.59
	<i>Bacillus cereus</i>	12.86 ± 1.33
	<i>Bacillus megaterium</i>	11.44 ± 1.90
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	9.82 ± 1.29

Giderim verimlilikleri incelenerek diğer mikroorganizmalara oranla daha fazla bor biyobirikimi yaptıkları için çalışmanın diğer aşamalarına *A. versicolor* ve *B. cereus* ile devam edilmiştir. Denenen tüm mikroorganizmaların % giderim miktarları çizelge 4.1'de verilmiştir. Çalışmanın devamı için bu mikroorganizmalar seçilmiştir.

4.2 Farklı pH'larda Bor Giderimi

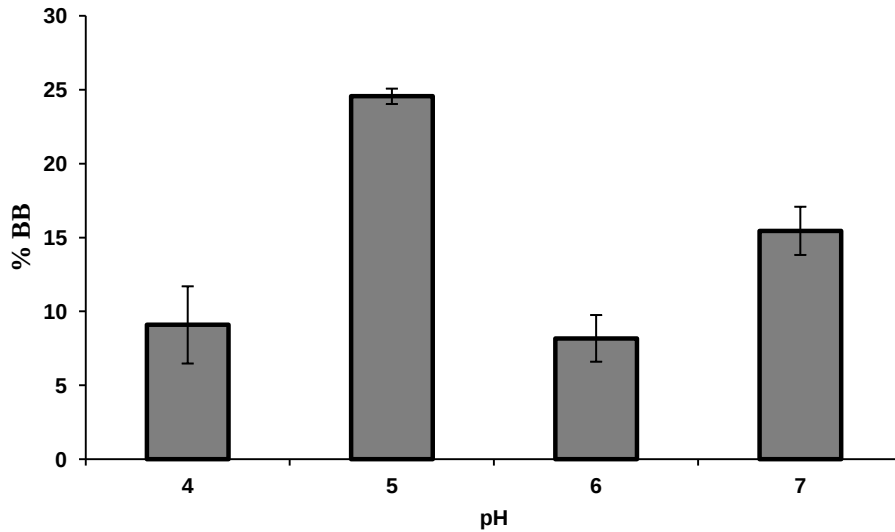
Aspergillus versicolor ve *Bacillus cereus* için bor biyobirikiminin en verimli yapıldığı pH değerini bulmak amacıyla hazırlanan yaklaşık 20 ppm konsantrasyonunda borik asit ilave edilen sentetik atık su besiyerine daha önce bu besiyerinde aktifleştirilmiş saf kültürden ekim yapılmıştır. Her bir pH derecesi için yapılan üç paralel 4 gün boyunca

oda sıcaklığında 100 rpm devirde çalkalanarak geliştirilmiştir. Bu süre içerisinde çeşitli zamanlarda örnek alınarak ortalama biyobirikim değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.3 *Bacillus cereus*’a ait farklı pH’lardaki bor giderim yüzdeleri (C_o ; 20 mg/L, inkübasyon süresi; 4 gün, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

Farklı pH’lardaki giderim verimliliğini gösteren şekil 4.3’te görüldüğü gibi, en düşük giderim pH 8’de olmuştur. pH 6’da mikroorganizma daha çok gelişim göstermiştir ve yaklaşık olarak %13 giderim verimliliği sağlanmıştır. pH 7’de % 8, pH 9’da ise % 10 civarında verimlilik gözlenmiştir.



Şekil 4.4 *Aspergillus versicolor*’a ait farklı pH’lardaki bor giderim yüzdeleri (C_o ; 20 mg/L, inkübasyon süresi; 4 gün, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

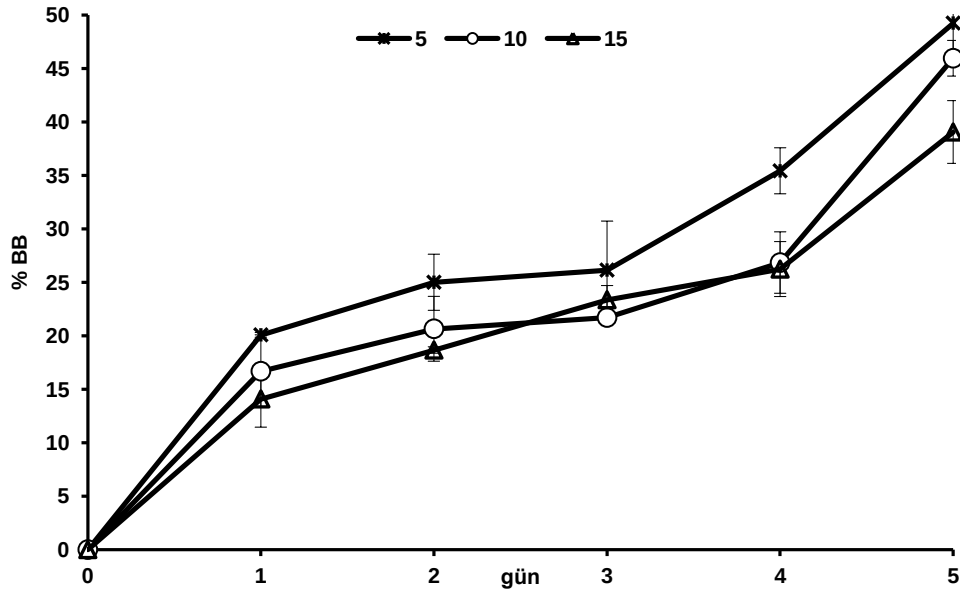
Şekil 4.4'te *A. versicolor*'ın farklı pH'lardaki giderim verimliliği gösterilmiştir. En düşük gelişimi pH 4'te görülmüştür ve buna bağlı olarak %9 civarında düşük bor giderimi gözlenmiştir. pH 6'da yaklaşık olarak %8'lik bir giderim yüzdesi bulunmuştur. pH 7'de ise 4 ve 6'ya nazaran daha iyi bir giderim gözlenmiştir, 4 günlük inkübasyon boyunca yaklaşık %16'lık bir verim gözlenmiştir. Öte yandan *A. versicolor* için optimum pH derecesi olan pH 5'te en iyi gelişim gözlenmiş olup en yüksek verimlilikte % 25 civarında bulunmuştur. Bu mikroorganizma için deneyin diğer aşaması pH 5'te yapılmıştır.

Bu denemenin sonucunda *A.versicolor*'ın bor gideriminde *B.cereus*'dan daha iyi giderim yapabildiğini göstermiştir. *B.cereus* optimum pH'da iyi bir gelişim gösterse bile farklı pH derecelerinde de düşük bir giderim gösterdiği için deneyin diğer aşamalarında *A.versicolor* kullanılmıştır.

4.3 Farklı Başlangıç Bor Konsantrasyonlarında Bor Giderimi

Bu çalışma, *Aspergillus versicolor* için optimum değer olan pH 5'te 5 günlük bir periyotta hergün örnek alınarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada 250 mL'lik erlenlerde 100 mL olacak şekilde hazırlanan sentetik atık su besiyerine daha önce bu besiyerinde aktifleştirilmiş olan saf kültürlerden ekim yapılmıştır. Başlangıç bor konsantrasyonları; 15 ppm, 20 ppm ve 25 ppm'dir. En yüksek % giderim 15 ppm konsantrasyonunda elde edilmiştir.



Şekil 4.5 *A. versicolor*'ın farklı konsantrasyonlardaki giderim verimi (inkübasyon süresi; 5 gün, pH; 5, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

5 gün boyunca günlük örnek alınarak gerçekleştirilen konsantrasyon deneyinde elde edilen veriler Grafik 4.5'te görülmektedir. 100 rpm'de 5 gün boyunca karıştırılarak geliştirilen mikroorganizmalardan 5. günün sonunda alınan örneklerden yapılan ölçüm sonucu 15 ppm'de %50, 20 ppm'de %46, 25 ppm de ise %39 civarında giderim gözlenmiştir.

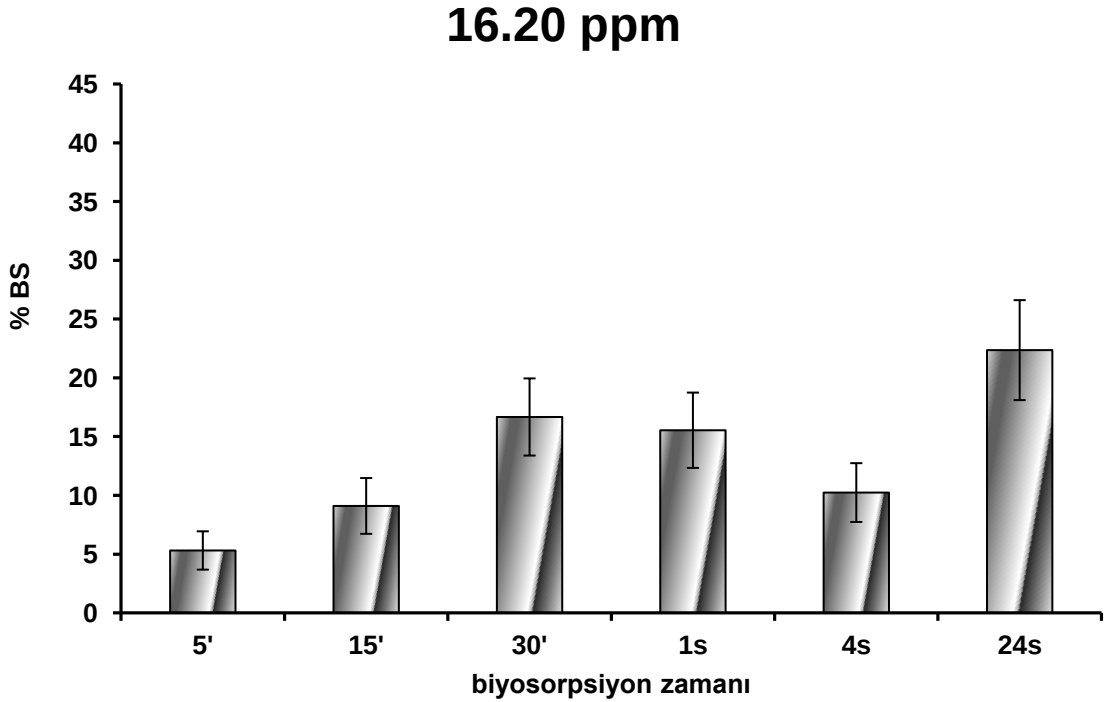
Çizelge 4.3 Sentetik atık su besiyerinde *A. versicolor*'ın farklı konsantrasyonlardaki giderim verimi ve q_m değeri (mg/g) (inkübasyon süresi; 5 gün, pH; 5, ısı; 25 ± 2 °C, karıştırma oranı; 100 rpm)

Co (mg/L)	% giderim	q_m (mg/g)
16.20	49.25 ± 3.58	17.32 ± 1.56
19.20	46.00 ± 1.66	20.53 ± 2.53
24.17	39.08 ± 2.93	21.45 ± 1.37

Her üç konsantrasyon sonucu elde edilen giderim yüzdeleri ve q_m (mg/g) değerleri çizelge 4.3'te verilmiştir. En yüksek giderim başlangıç konsantrasyonu 16.20 mg/L'de gözlenmiştir. *A.versicolor* optimum pH, ısı, karıştırma hızı ve 5 günlük inkübasyon süresi boyunca maksimum %50 civarında giderim yapmıştır.

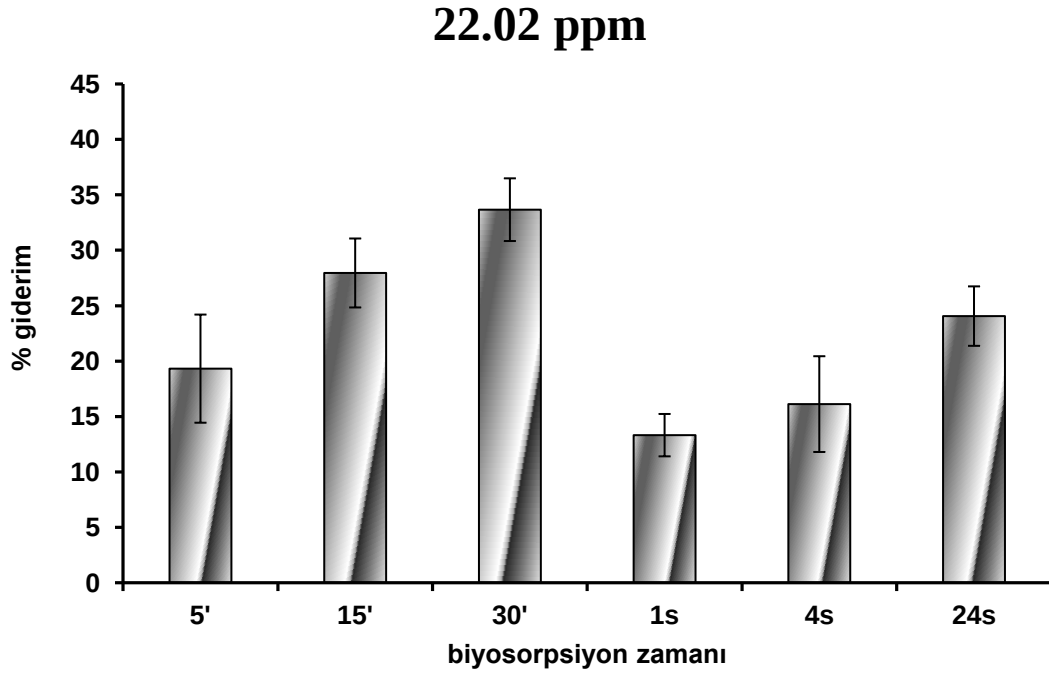
4.4 Biyosorpsiyonda Konsantrasyonların Etkisi

Aspergillus versicolor'ın 80 °C'de bir gece fırında kurutularak öldürülen hücrelerinden, başlangıç konsantrasyonları biyobirikim çalışmasıyla karşılaştırılabilir olması için hemen hemen aynı konsantrasyonlar olan 16,2 ppm, 22.01 ppm ve 24.01 ppm derecelerinde her biri için farklı kuru ağırlık alınarak yapılan biyosorpsiyon denemelerinde 24 saat boyunca örnek alınmıştır.

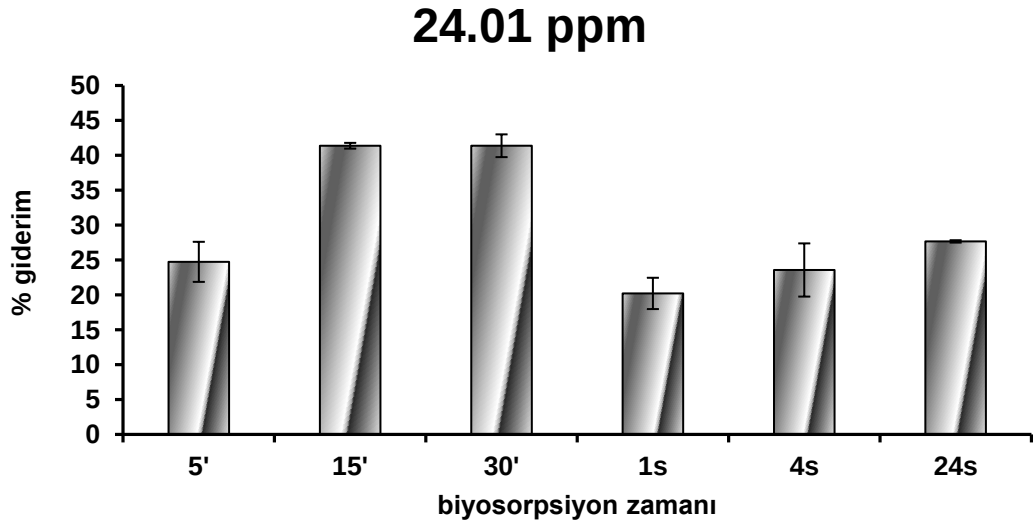


Şekil 4.6 *A. versicolor*'ın 16.20 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi (inkübasyon süresi;24 saat, pH; 5, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

16.20 ppm bor konsantrasyonunda yapılan biyosorpsiyon denemesinde şekil 4.6’da görüldüğü gibi maksimum giderim 24.saatın sonunda elde edilen %22’lik bir giderimdir. Yapılan deneyde inkübasyon süresi 24 saat olup bu süre içerisinde 5.dk, 15.dk, 30.dk, 1. saat, 4. saat ve 24. saatlerde örnekler alınmıştır. Şekil 4.7’de 22.02 ppm bor konsantrasyonunda giderim verimliliği gösterilmiştir. Bu başlangıç konsantrasyonunda ise 30. dakikada maksimum giderim gözlenmiş olup bu değer yaklaşık %34’tür. İlk 30 dakika boyunca artan giderim 30. dakikadan sonra bir düşüş göstermektedir. Bir diğer deneme olan 24.01 ppm başlangıç konsantrasyonlu deneyde ise şekil 4.8’den anlaşılacağı üzere 15. ve 30. dakikalarda %41 oranında maksimum verim gözlenmiştir. Yine burada da 30. dakikadan sonra giderimde bir düşüş gözlenmektedir.



Şekil 4.7 A. versicolor’ın 22.02 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi (inkübasyon süresi;24 saat, pH; 5, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)



Şekil 4.8 *A.versicolor*'ın 24.01 ppm bor konsantrasyonunda biyosorpsiyon verimi (inkübasyon süresi;24 saat, pH; 5, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

Çizelge 4.4 Farklı bor konsantrasyonlarında *A. versicolor*'ın biyosorpsiyon verimi ve q_m değeri (mg/g) (inkübasyon süresi; 30 dakika, pH; 5, T; 25 ± 2 °C, karıştırma hızı; 100 rpm)

Co (mg/L)	% giderim	q_m (mg/g)
16.20	16.68 ± 0.92	4.21 ± 0.13
22.02	33.64 ± 2.36	17.25 ± 0.06
24.01	41.36 ± 0.53	33.71 ± 0.46

Her bir konsantrasyon için maksimum giderim yüzdelerinin ve q_m (mg/g) değerlerinin gösterildiği çizelge 4.4'te görüldüğü gibi yapılan biyosorpsiyon deneyinde optimum şartlar sağlandığında elde edilen en yüksek giderim 24.01 ppm bor konsantrasyonunda , %41 civarında olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.5 Biyosorpsiyon ve biyoakümülyasyon deneylerinin karşılaştırılması

Co (mg/L)		16.20	22.02	24.01
Biyoakümülyasyon	Verim %	49.25 ± 3.58	46.00 ± 1.66	39.08 ± 2.93
	q_m (mg/g)	17.32 ± 1.56	20.53 ± 2.53	21.45 ± 1.37
Biyosorpsiyon	Verim %	16.68 ± 0.92	33.64 ± 2.36	41.36 ± 0.53
	q_m (mg/g)	4.21 ± 0.13	17.25 ± 0.06	33.71 ± 0.46

Biyosorpsiyon ve biyoakümülyasyon karşılaştırmasının yapıldığı çizelge 4.5'te canlı hücrelerle yapılan bor gideriminin daha verimli olduğu gözükmeğdir. Biyoakümülyasyonda başlangıç bor konsantrasyon seviyesi arttıkça giderimde düşüş görölürken, biyosorpsiyonda ise artış gözlenmiştir. Fakat yine de canlı hücrelerle yapılan giderimde elde edilen verime ulaşlamamıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Birçok malzemenin yapımında ham madde olarak kullanılmaya başlanan bor üzerindeki ilgi gittikçe artmaktadır, hatta bor için ‘geleceğin petrolü’ bile denilmektedir. Giderek artan bor kullanımı gerekli arıtım yapılmadığı takdirde çeşitli problemleri de beraberinde getirmektedir. Arıtım tesislerinde çoğunlukla fiziksel veya kimyasal arıtım yapılmaktadır. Biyolojik arıtımın yapıldığı yerlerde ise yurtdışından ithal yüksek maliyetli mikroorganizma karışımları kullanılmaktadır. Bor içeren atık suların arıtımı yapılmadan boşaltılması canlılar ve çevre için ciddi zararlara sebep olmaktadır. Arıtımda maliyeti düşürmek amacıyla tez çalışmasında sentetik atık su besiyeri kullanılmıştır.

Mikroorganizma kaynağı olarak da çeşitli bakteri, maya ve fungus kullanılmış aralarından en verimli olan *Aspergillus versicolor* seçilerek çalışmaya bu mikroorganizmayla devam edilmiştir. Bakteri ve mayaların fungusa göre daha az gelişim göstermeleri ve bor giderim verimliliğinin az olması nedeniyle bu mikroorganizma seçilmiştir. Ayrıca funguslar düşük pH’larda da üreyip, böyle ortamalara adapte olabilmektedirler.

Bugüne kadar yapılan bor arıtım çalışmalarında genellikle fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmıştır (Wolska ve Bryjak 2013, Hilal vd.2011, Zerze vd. 2013, Yılmaz vd. 2008, Zhai vd. 2011, Hou vd.2010, Blahusiak ve Schlosser 2009, Oo ve Song 2009, Yazıcıgil ve Öztekin 2006, Kijanski vd. 2013). Biyolojik yöntemle yapılan bor giderimiyle ilgili literatürde çok az sayıda çalışma vardır (Taştan vd. 2012, Marin ve Oron 2007, Bursali vd. 2009). Yapılan tez çalışmasıyla bor gideriminde biyolojik yöntemlerin verimliliği araştırılmıştır, farklı mikroorganizmaların giderim verimliliği, farklı pH değerleri, biyosorpsiyon ve biyobirikim yöntemleri denenerek literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Öncelikle bakteri, maya ve fungus içeren 9 adet mikroorganizma içerisinde en fazla giderim yapan mikroorganizma olan *Aspergillus versicolor* seçilmiştir. Daha sonra bu mikroorganizma ile yapılan biyobirikim çalışması için pH 4, 5, 6, 7 ve 5, 10, 15 ppm

başlangıç bor konsantrasyonlarında denemeler yapılmış, optimum pH ve başlangıç bor konsantrasyon değeri belirlenmiştir, pH 5 ve 10,6 ppm bor konsantrasyonunda %49'a varan verim elde edilmiştir. pH ve konsantrasyon çalışmalarından sonra biyobirikim sonucu elde edilen kuru ağırlıkla aynı miktarda mikroorganizma biyosorpsiyon çalışmalarında da kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eş miktarda mikroorganizma ve eş miktarda bor konsantrasyonuyla yapılan kıyaslama sonucu hemen hemen aynı verim elde edilmiştir.

Biyobirikimin yapıldığı en iyi konsantrasyon pH 5 ve 16.20 ppm'de % 49, biyosorpsiyonda ise 24.01 ppm'de % 41 verim elde edilmiştir. Borlu ortamda canlı hücrelerin giderimde bulunduğu bu sonuçlarla belirlenmiştir. Bor gideriminin canlı hücreyle yapıldığı diğer çalışmada ise (Taştan vd.2012) *Chlorella sp.* kullanılmıştır. Optimum pH ve konsantrasyonda % 38.03 verim elde edilmiştir.

Taştan (2008)'a ait diğer bir çalışmada ise *Aspergillus versicolor*'ın Cu(II), Cr(VI) ve Ni(II) giderimi araştırılmıştır. Cr(VI) için optimum pH 6 olarak seçilmiş ve 7 günlük bir inkübasyon süresinde, başlangıç konsantrasyonu 52.5 mg/L olduğunda maksimum biyobirikim elde edilmiş olup bu değer % 99.89 olup g hücre başına düşen krom miktarı (q_m) ise 7.78 mg'dır. Biyosorpsiyonda ise elde edilen verim %15.5'e kadar düşmüş, q_m değeri ise 1.24 mg/g olarak hesaplanmıştır. Cu(II) için yapılan deneylerde ise optimum pH 5 olarak belirlenmiş 7 günlük inkübasyon süresinde, maksimum verim başlangıç konsantrasyonu 37.45 mg/L'de % 29.06 olarak, q_m değeri ise 2.08 mg/g olarak bulunmuştur. Biyosorpsiyon deneyinde elde edilen veriler, 35,12 mg/L başlangıç konsantrasyonunda %28.8 giderim, q_m değeri ise 1.52 mg/g'dır. Son olarak Ni(II) için yapılan çalışmalarda bulunan maksimum giderim için optimum pH 6'dır, 7 günlük inkübasyon süresi ve başlangıç konsantrasyonu 49.13 mg/L'de biyobirikim %30.5 q_m değeri ise 2.85 mg/g, biyosorpsiyon deneyine baktığımızda ise 49.32 mg/L'de % 15,49 giderim, q_m değeri ise 1.14 mg/g olarak bulunmuştur. Bu çalışma *Aspergillus versicolor*'ın bu ağır metaller için biyobirikim veriminin biyosorpsiyondan daha fazla olduğu saptanmıştır. Canlı hücre, Cr(VI) giderimini başarıyla yaparken Cu(II) ve Ni(II) için durum vasattır.

Aspergillus versicolor'ın B giderim kapasitesine ve q_m değerlerine baktığımız zaman veriler şu şekildedir: Biyobirikim denemesinde maksimum verim pH 5'te 5 günlük inkübasyon süresinde başlangıç konsantrasyonu 16.20 mg/L olduğunda % 49.25 giderim sağlanmış, q_m değeri ise 17.32 mg/g bulunmuştur. Biyosorpsiyon denemesine baktığımızda ise maksimum verim başlangıç konsantrasyonu 24.01 mg/L olduğunda %41.36 verim, q_m değeri de 33.71 mg/g bulunmuştur.

Aspergillus versicolor'ı biyobirikim yaptığı ağır metaller açısından karşılaştıracak olursak, şüphesizki en fazla biyobirikimi Cr(VI)'dagöstermiştir. Bor biyobirikiminin ise Cu(II) ve Ni(II) 'e göre biyobirikim yüzdesi daha fazladır. q_m değerleri açısından bakacak olursak, bor gideriminde mikroorganizmanın g hücre başına biriktirdiği bor (mg) miktarı diğer ağır metallere göre nispeten daha fazladır. Bu değer en fazla Cr(VI) gideriminde 7.78 mg/g olarak bulunmuştur. Biyosorpsiyonda ise bu değer bakır, nikel ve krom için giderek azalmış olup, bor gideriminde 33.7 mg/g olarak bulunmuştur yani artış göstermiştir.

Aspergillus versicolor ile yapılan bir diğer çalışmada ise Cr(VI) ve Cu(II)'nin giderimine bakılmıştır. Bu çalışmayla Cr(VI) gideriminde % 99, Cu(II)'nin gideriminde ise % 51 oranında verim elde edilmiştir (Taştan *et al*, 2010).

Atık sulardan ağır metal gideriminde sıklıkla tercih edilen türlerden biri olan *Aspergillus niger* ile yapılan çalışmada Ni(II) gideriminde % 90, Cr(VI) gideriminde ise % 92 verim gözlenmiştir (Congeeravaram *et al*, 2007). Iskandar vd.(2011)'e ait çalışmada ise filamentli mantarların ağır metal giderimine bakılmıştır. Çalışılan funguslar içerisinde maksimum verimi *Aspergillus niger*'in gösterdiği gözlenmiştir.

Ölü ve canlı hücrelerin ağır metal iyonlarının giderilmesinde kullanıldığı bilinmektedir. Çalışmada hem canlı hem de ölü hücrelerle bor giderimi yapılmıştır. Canlı hücrelerle yapılan biyobirikimle, ölü hücrelerle yapılan biyosorpsiyonun karşılaştırması yapılmıştır. Biyobirikim için farklı konsantrasyonlarda bor içeren sentetik atık su besiyerinde geliştirilen mikroorganizmalardan 5 gün boyunca örnekler alınarak 5. günün sonunda pH 5 ve 16.20 ppm B konsantrasyonunda % 49 verim elde edilmiştir. Deneyin

karşılaştırılabilir olması açısından 5 gün boyunca geliştirilen mikroorganizmalar 80 °C’de kurutularak elde edilen biyomas biyosorpsiyon için kullanılmıştır. 5, 15, 30. dakikalarda ve 1, 4, 24. saatlerde örnekler alınmıştır. Giderim 15. dakikada 24.01 ppm bor konsantrasyonunda % 41 olurken 24. saatin sonunda ise % 26 olduğu gözlenmiştir.

Kapoor vd. (1999)’a ait *Aspergillus niger* ile yapılan ölü ve canlı hücrelerin ağır metal gideriminin karşılaştırıldığı çalışmada ise kurşun, kadmiyum, bakır ve nikel giderimine bakılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, nikel için canlı hücreyle yapılan giderimin daha verimli olduğu belirlenmiştir. Fakat ölü hücrelerle yapılan biyosorpsiyonun biyobirikime oranla daha avantajlı olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada *Aspergillus versicolor* haricinde bakteri ve mayalarla da bor giderim denemeleri yapılmıştır. 10 ppm bor konsantrasyonunda mayalar için pH 5, bakteriler için pH 7 de, *Candida tropicalis* % 8,7, *Rhodotorula mucilaginosa* % 11,5, *Bacillus cereus* % 11,4, *B. pumilus* % 8,7, *B. megaterium* % 11,5, *B. thuringiensis* % 7,7, *Micrococcus luteus* % 10,6, *Pseudomonas aeruginosa* % 9,9 giderim yapmıştır.

Nurbaş vd.(2002)’ a ait *Bacillus sp.* ile yapılan ağır metal giderim çalışmasında her bir ağır metal için optimum pH’ların farklı olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışmada mikroorganizmanın % 72 oranında giderim yapabildiği belirlenmiştir.

Ağır metal gideriminin yapıldığı bir diğer çalışmada ise *Bacillus thuringiensis* kullanılmıştır. Bu mikroorganizmanın ise % 94’e varan verimle nikel, % 91,8 bakır, % 87 oranında ise kadmiyum giderimi yapabildiği görülmüştür (Oves vd. 2012).

Sonuç olarak mikroorganizmaların endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimini yüksek verimlilikle yapabildikleri gözlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin maliyetinin yüksek olmasına karşın biyolojik yöntemler mikroorganizma gelişimi için atık su kullanılmasından dolayı düşük maliyetlidir. Literatürdeki çalışmalarda her çeşit mikroorganizmanın optimum şartlar sağlandığında ağır metal giderimi yapabildiğini

göstermiştir (Dönmez ve Aksu 2002, Taştan vd. 2012, Rehman vd. 2008, Chandra vd. 2007, Ye vd. 2010, Chatterjee vd. 2010).

Atık sulardan bor arıtımının yapıldığı birçok fiziksel ve kimyasal yöntem literatürde mevcuttur. Fakat *Aspergillus versicolor* kullanılarak biyobirikim veya biyosorpsiyon yöntemiyle atık sulardan bor giderimi yapıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2012. Web sitesi. www.boren.gov.tr, Erişim tarihi: 05.12.2012
- Anonim, 2012. Web sitesi. www.mikrobiyoloji.org, Erişim tarihi: 01.12.2012
- Anonim, 2012. Web sitesi. www.wikipedia.com, Erişim tarihi: 05.12.2012
- Anonim, 2012. Web sitesi. www.ucmp.berkeley.edu/fungi, Erişim tarihi: 05.12.2012
- Abdel-Aty, M. A., Ammar, S. N., Ghafar H. H. A. and Ali R. K. 2012. Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga *Anabaena sphaerica* biomass. *Journal of Advanced Research*, baskıda
- Abdallah, R. and Taha, S. 2012. Biosorption of methylene blue from aqueous solution by nonviable *Aspergillus fumigatus*. *Chemical Engineering Journal*, 195-196; 69-76.
- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2003. A comparative study on the biosorption characteristics of some yeasts for Remazol Blue reactive dye. *Chemosphere*, 8; 1075-1083.
- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2000. The use of molasses in copper(II) containing wastewaters: effects on growth and copper(II) bioaccumulation properties of *Kluyveromyces marxianus*. *Process Biochemistry*, 5, 451-458.
- Aksu, Z., Ertuğrul, S. and Dönmez, G. 2009. Single and binary chromium (VI) and Remazol Black B biosorption properties of *Phormidium* sp.. *Journal of Hazardous Materials*, 1; 310-318.
- Anand, P., Isar, J., Saran, S. and Saxena, R. K. 2006. Bioaccumulation of copper by *Trichoderma viride*. *Bioresource Technology*, 8; 1018-1025.
- Aslan, S., Bozkurt, Z. and Tekeli, A. 2006. Removal of Cu(II), Ni (II), Cd(II) and Cr(VI) ions from aqueous solutions by biosorption processes. *Journal of Engineering and Naturel Sciences*, 2; 209-222.
- Baysal, Z., Çınar, E., Bulut, Y., Alkan, H. And Doğru, M. 2009. Equilibrium and thermodynamic studies on biosorption of Pb(II) onto *Candida albicans* biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 1; 62-67.
- Blahusiak, M. and Schlosser, S. 2009. Simulation of adsorption-microfiltration process for boron removal from RO permeate. *Desalination*, 1-3; 156-166.
- Bracklow, U., Drews, A., Vocks, M. and Kraume, M. 2007. Comparison of nutrients degradation in small scale membrane bioreactors fed with synthetic/domestic wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 144 (2007) 620–626.
- Bryers, J. D., Jarvis, R. A., Lebo, J., Prudencio, A., Kyriakides, T. R. and Uhrich, K. 2006. Biodegradation of poly(anhydride-esters) into non-steroidal anti-inflammatory drugs and their effect on *Pseudomonas aeruginosa* biofilms in vitro and on the foreign-body response in vivo. *Biomaterials*, 29; 5039-5048.
- Bruins, M. R., Kapil, S. and Oehme, F. W. 2000. Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 3; 198-207.

- Buluttekin, M. B. 2008. Bor madeni ekonomisi: Türkiye'nin dünya bor piyasasındaki yeri. 2. Ulusal İktisat Kongresi.
- Bursali, E. A., Cavas, L., Seki, Y., Bozkurt, S. S. ve Yurdakoç, M. 2009. Sorptin of boron invasive marine seaweed: *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea*. Chemical Engineering Journal. 2-3; 385-390.
- Cantaş, C. 2007. Magnezyum indirgemesiyle susuz borik asitten elementel bor üretimi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Cerino-Cordova, F. J., Garcia-Leon, A. M., Soto-Regalado, E., Sanchez-Gonzalez, M. N., Lozano-Ramirez, T., Garcia-Avalos, B. C. and Loreda-Medrano, J. A. 2012. Experimental design fort he optimization of copper biosorption from aqueous solution by *Aspergillus terreus*. Journal of Environmental Management, 77-82.
- Chandra, R.,Yadav, S., Bharagava, R.N. and Murthy, R.C. 2007. Bacterial pretreatment enhances removal of heavy metals during treatment of post-methanated distillery effluent by *Typha angustata* L. Journal of Environmental Management, 4; 1016-1024.
- Chatterjee, S. K., Battacharjee, I. and Chandra, G. 2010. Biosorption of heavy metals from industrial waste water by *Geobacillus thermodenitrificans*. Journal of Hazardous Materials, 175; 117-125.
- Congeevaram, S., Dhanarani, S., Park, J., Dexilin, M. and Thamaraiselvi, K. 2007. Biosorption of chromium and nickel by heavy metal resistant fungal bacterial isolates. Journal of Hazardous Materials, 146; 270-277.
- Çabuk, A., Akar, T., Tunalı, S. and Tabak, Ö. 2006. Biosorption characteristics of *Bacillus* sp. ATS-2 immobilized in silica gel for removal of Pb(II). Journal of Hazardous Materials, 2; 317-323.
- Del-Campo Marin, C. M. ve Oron G., 2007. Boron removal by duckweed *Lemna gibba*: A potential method for remediation of boron-polluted waters. Water Research, 20; 4579-4584.
- Doğan, G., Sabah, E. ve Erkal, T. 2005. Borun çevresel etkileri üzerine Türkiye'de yapılan bilimsel araştırmalar. 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi.
- Dönmez, G. and Aksu, Z. 2002. Removal of chromium(VI) from saline wastewaters by *Dunaliella species*. Process Biochemistry, 5; 751-765.
- Dönmez, G. and Aksu, Z. 1999. The effect of copper(II) ions on the growth and bioaccumulation properties of some yeasts. Process Biochemistry, 1-2; 135-142.
- 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.

- Iskandar, N. L., Zainudin, N. A. I. M. and Tan, S. G. 2011. Tolerance and biosorption of copper (Cu) and lead (Pb) by filamentous fungi isolated from a freshwater ecosystem. *Journal of Environmental Sciences*, 5; 824-830.
- Javaid, A., Bajwa, R., Shafique, U. and Anwar, J. 2011. Removal of heavy metals by adsorption on *Pleurotus ostreatus*. *Biomass and Bioenergy*, 5; 1675-1682.
- Kapoor, A., Viraraghavan, T. and Cullimore, D. R. 1999. Removal of heavy metals using the fungus *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, 1; 95-104.
- Kapoor, A. and Viraraghavan, T. 1995. Fungal biosorption-an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. *Bioresource Technology*, 3; 195-206.
- Kavak, D. 2009. Removal of boron from aqueous solution by batch adsorption on calcined alunite using experimental design. *Journal of Hazardous Materials*, 168; 308-314.
- Kılıç, A. M. 2004. Bor madeninin Türkiye aksından önemi ve gelecekteki yeri. II. Uluslararası Bor Sempozyumu.
- Kijanski, M., Bandura-Zalska, B., Dydo, P. and Turek, M. 2013. The concept of a system for electrodialytic boron removal into alkaline concentrate. *Desalination*, 75-80.
- Luo, J. M., Xiao, X. and Luo, S. L. 2010. Biosorption of cadmium (II) from aqueous solutions by industrial fungus *Rhizopus cohni*. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 6; 1104-1111.
- Nourbakhs, M. N., Kılıçarslan, S., İlhan, S. and Özdağ, H. 2002. Biosorption of Cr⁶⁺, Pb²⁺ and Cu²⁺ ions in industrial waste water on *Bacillus* sp. *Chemical Engineering Journal*, 2-3; 351-355.
- Oo, M. H. and Song, L. 2009. Effect of pH and ionic strength on boron removal by RO membranes. *Desalination*, 1-3; 605-612.
- Oves, M., Khan, M. S. and Zaidi, A. 2012. Biosorption of heavy metals by *Bacillus thuringiensis* strain OSM29 originating from industrial effluent contaminated North Indian soil. *Saudi Journal of Biological Sciences*, baskıda
- Rehman, A., Shakoori, F.R. and Shakoori, A. R. 2008. Heavy metal resistant freshwater ciliate, *Euplotes mutabilis*, isolated from industrial effluents has potential to decontaminate wastewater of toxic metals. *Bioresource Technology*, 99; 3890-3895.
- Sağlam, N., Cihangir, N. 1995. Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyoremediasyonu çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi 11; 157-161.
- Srivasta, P. K., Vaish A., Dwivedi, S., Chakrabarty, D., Singh, N. and Tripathi, R. D. 2011. Biological removal of arsenic pollution by soil fungi. *Science of The Total Environment*, 12; 2430-2442.
- Solisio, C., Lodi, A. and Converti A. 2008. Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass. *Bioresource Technology*, 13; 5933-5937.

- Sud, D., Mahajan, G. and Kaur, M. P. 2008. Agriculturel waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions- A review. *Bioresource Technology*, 14; 6017-6027.
- Şahin, Y. and Öztürk, A. 2005. Biosorption of chromium (VI) ions from aqueous solution by the bacterium *Bacillus thrungiensis*. *Process Biochemistry*, 5; 1895-1901.
- Taştan, B. E., Duygu, E. and Dönmez, E. 2012. Boron bioremoval by a newly isolated *Chlorella sp.* and its stimulation by growth stimulators. *Water Research*, 46; 167-175.
- Taştan, B. E., Ertuğrul, S. and Dönmez, G. 2010. Effective bioremoval of reactive dye and heavy metals by *Aspergillus versicolor*. *Bioresource Technology*, 3; 870-876.
- Taştan, B. E. 2008. Atık sulardan Bakır(II), Nikel (II), Krom (VI) ve reaktif boyar madde gideriminde *Aspergillus sp.* kullanımı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Tsekova, K., Todorova, D. and Ganeva, S. 2010. Removal of heavy metals from industrial wastewater by free and immobilized cells of *Aspergillus niger*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 6; 447-451.
- Tu, K. L., Ngheim L. D. ve Chivas A. R. 2010. Boron removal by reverse osmosis membranes in seawater desalination applications. *Separation and Purification Technology*, 2; 87-101.
- Ünlü, M. İ., Bilen, M. ve Gürü, M. 2011. Kütahya-Emet Bölgesi yeraltı sularında bor ve arsenik kirliliğinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26;754-760.
- Vijayaraghavan, K. and Yun, Y. S. 2008. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances* 26; 266-291.
- Vullo, D. L., Ceretti, H. M., Daniel, M. A., Ramirez, S. A. M. and Zalts, A. 2008. Cadmium, zinc and copper biosorption mediated by *Pseudomonas veronii* 2E. *Bioresource Technology*, 99; 5574-5581.
- Wang, J., Chen, C. 2010. Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27; 195-226.
- Wang, B. E., Hu, Y. Y., Xie, L. and Peng, K. 2008. Biosorption behavior of azo dye by inactive CMC immobilized *Aspergillus fumigatus* beads. *Bioresource Technology*, 99; 794-800.
- Wolska, J. and Bryjak, M. 2013. Methods for boron removal from aqueous solutions-A review. *Desalination*, 310; 18-24.
- Yan, G. and Viraraghavan, T. 2003. Heavy metal removal from aqueous solution y fungus *Mucor rouxii*. *Water Research*, 18; 4486-4496.
- Yazıcıgil, Z. and Öztekin, Y. 2006. Boron removal by electrodialysis with anion-exchange membranes. *Desalination*, 190; 71-78.

- Ye, J., Yin, H., Mai, B., Peng, H., Qin, H., He, B. and Zhang, N. 2010. Biosorption of chromium from aqueous solution and electroplating wastewater using mixture of *Candida lipolytica* and dewatered sewage sludge. *Bioresource Technology*, 101; 3893-3902.
- Yetiş, Ü., Dolek, A., Dilek, F. B. and Özcengiz, G. 2000. The removal of Pb(II) by *Phanerochaete chrysosporium*. *Water Research*, 16; 4090-4100.
- Yılmaz, A. E., Boncukcuoğlu, R., Kocakerim, M. M., Yılmaz, M. T. and Paluluoğlu, C. 2008. Boron removal from geothermal waters by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 1-2; 146-151.
- Yoshikawa, E., Sasaki, A. and Endo, M. 2012. Removal of boron from wastewater by the hydroxyapatite formation reaction using acceleration effect of ammonia. *Journal of Hazardous Materials*, 277-282.
- Yüce, M. 2007. Arıtımı yapılmamış atık sulardan izole edilen mikroorganizmalarla Reactive Black B ve Cr(VI) giderimi. Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zafar, S., Aqil, F. and Ahmad, I. 2007. Metal tolerance and biosorption potential of filamentous fungi isolated from metal contaminated agricultural soil. *Bioresource Technology*, 13; 2557-2561.
- Zerze, H., Karagöz, B., Özbelge, H. Ö., Bıçak, N., Aydoğan, N. and Yılmaz, L. 2013. Imino-bis propane diol functional polymer for efficient boron removal from aqueous solutions via continuous PEUF process. *Desalination*, 158-168.
- Zerze, H., Özbelge, H. Ö., Bıçak, N., Aydoğan, N. and Yılmaz, L. 2013. Novel boron specific copolymers with quaternary amine segments for efficient boron removal via PEUF. *Desalination*, 169-179.
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bengü LÂÇİN

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 18.07.1987

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Abidin Paşa Lisesi (2005)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü (2009)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim
Dalı (Eylül 2009- 2013)