

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
BİYOTEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

TEMEL BİYOTEKNOLOJİ ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞIR METAL VE BOYAR MADDE İÇEREN ATIKSULARIN
Rhodotorula sp. İLE ARITIMI

Nalan Oya SAN

Danışman Öğretim Üyesi
Prof.Dr. Gönül DÖNMEZ

ANKARA
2007

Ağır Metal ve Boyar Madde İçeren Atıksuların *Rhodotorula* sp. İle Arıtımı

ÖZET

Tez çalışmasında ağır metal ve boyar madde içeren atıksuların *Rhodotorula* sp. ile arıtılması çalışmaları için öncelikle pH çalışmaları yapılmıştır. Çalışmanın devamında kirleticilerin tekli ve birlikte etkilerine biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmaları ile bakılmıştır.

Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) içeren besiyerlerinde geliştirilen kültürün, farklı pH değerlerinde (4, 5, 6, 7), yaklaşık 50 ppm Remazol Blue, yaklaşık 50 ppm Cr(VI) ve aynı konsantrasyonda Ni(II) içeren ortamlarda biyobirikim kapasiteleri araştırılmıştır. Yaklaşık olarak 50 ppm Remazol blue ve 50 ppm Cr(VI) konsantrasyonunda optimum pH değerleri 6 olarak tespit edilmişken yaklaşık 50 ppm Remazol blue ve yaklaşık 50 ppm Ni(II) konsantrasyonunda pH değerleri 5 olarak bulunmuştur.

Biyobirikim çalışmalarında, en yüksek Remazol blue biyobirikimi 28.1 ppm sadece boya içeren ortamda %99.7 olarak tespit edilmiştir. En yüksek Cr(VI) giderim değerine biyobirikim deneyleriyle ulaşılmış ve 50.1 ppm Remazol blue varlığında 48.2 ppm Cr(VI) %95.2 verimle giderilmiştir. Bir diğer kirleticisi olan Ni(II) gideriminde ise 22.3 ppm Ni(II) varlığında %45.5 giderim değerine ulaşılmıştır.

Biyobirikim çalışmalarına alternatif olarak yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında, en yüksek Remazol blue biyobirikimi 38.2 ppm Ni(II) konsantrasyonu ile birlikte 67.3 ppm Remazol blue konsantrasyonunda %94.1 olarak bulunmuştur. En yüksek Cr(VI) biyosorpsiyon verimi 63.5 ppm Remazol blue ile birlikte 47.1 ppm Cr(VI) varlığında %16.5'dir. En yüksek Ni(II) giderimi ise 67.3 ppm Remazol blue ile birlikte 38.2 ppm Ni(II) konsantrasyonunda %20.7 bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Ağır Metal, Atık su, Biyolojik arıtım, Reaktif boya, Rhodotorula sp.

Treatment of wastewater with heavy metal and reactive dye by *Rhodotorula* sp.

ABSTRACT

In this study to use *Rhodotorula* sp. for the treatment of waste water which contains reactive dye and heavy metals, firstly the effect of pH values were analyzed. In the second part of the study bioaccumulations and biosorptions capacities of three pollutants were investigated.

Experiments were conducted at different pH values (4, 5, 6 and 7) with 50 ppm Remazol blue and 50 ppm Cr(VI) and 50 ppm Remazol blue and 50 ppm Ni(II) to select the optimum pH values. The optimum growth for *Rhodotorula* sp. was obtained as pH 6 in the media containing Remazol blue and Cr(VI) while with Remazol blue and Ni(II) it was determined as pH 5.

The maximum Remazol blue bioaccumulation yield was determined as %99.7 in molasses media containing 28.1 ppm Remazol blue and maximum Cr(VI) bioaccumulation yield was determined as %95.2 in molasses media containing 50.1 Remazol blue and 48.2 ppm Cr(VI). The bioaccumulation yield of the other pollutant Ni(II)'s was determined as %45.5 in molasses media containing 22.3 ppm Ni(II) .

In biosorption studies which were an alternative to bioaccumulation, the maximum Remazol blue biosorption yield was determined as %94.1 in media containing 38.2 ppm Ni(II) and 67.3 ppm Remazol blue and maximum Cr(VI) biosorption yield was determined as %16.5 in media containing 63.5 ppm Remazol blue and 47.1 ppm Cr(VI). The other pollutant Ni(II)'s biosorption yield was determined as %20.7 in media containing 38.2 ppm Ni(II) and 67.3 ppm Remazol blue.

Keywords: Heavy metal, Reactive dye, Rhodotorula sp., Treatment, Waste water

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana araştırma olanağı sağlayan ve beni yönlendiren danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Gönül Dönmez'e, laboratuvar çalışmalarımda yardım ve bilgilerini benimle paylaşan hocalarım Arş. Grv. Nur KOÇBERBER KILIÇ, Arş. Grv. Sevgi ERTUĞRUL, Arş. Grv. Tuba ARTAN ONAT ve arkadaşlarıma, çalışmalarım sırasında beni maddi açıdan destekleyen Tübitak Bilim Adamı Yetiştirme Grubu'na, her koşulda ve her zaman arkamda olan SAN ailesi üyelerine, özellikle F.Nur ve Nail SAN'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Nalan Oya SAN

Ankara, Ağustos 2007

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖZET..... | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | vi |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | vii |
| SİMGELER DİZİNİ..... | viii |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ..... | 2 |
| 2.1. Boyar maddeler..... | 2 |
| 2.1.1. Boyar maddeler ve etkileri..... | 2 |
| 2.2. Ağır Metaller..... | 3 |
| 2.2.1. Ağır metaller ve etkileri..... | 3 |
| 2.2.2. Ağır metallerin toksik karakterleri..... | 4 |
| 2.3. Direnç Mekanizmaları..... | 4 |
| 2.4. Filamentsiz mikrofungular (maya)..... | 5 |
| 2.4.1. Mayaların mikroskopik özellikleri..... | 5 |
| 2.4.2. Mayaların habitatları..... | 6 |
| 2.4.3. Mayalarda üreme..... | 6 |
| 2.4.4. <i>Rhodotorula</i> sp..... | 6 |
| 2.4.5. <i>Rhodotorula</i> sp'nin makroskopik özellikleri..... | 6 |
| 2.4.6. <i>Rhodotorula</i> sp'nin mikroskopik özellikleri..... | 7 |
| 2.4.7. <i>Rhodotorula</i> sp'nin giderim çalışmalarında kullanılma nedeni..... | 7 |
| 2.4.8. Ağır metal ve boyar madde içeren atıksuların biyolojik arıtımı..... | 7 |
| 2.5. Biyobirikim Çalışmaları..... | 7 |
| 2.5.1. Mayalar ile yapılan biyobirikim çalışmaları..... | 7 |
| 2.5.2. <i>Rhodotorula</i> sp ile yapılan biyobirikim çalışmaları..... | 8 |
| 2.6. Mayalar İle Yapılmış Biyosorpsiyon Çalışmaları..... | 9 |
| 2.6.1. <i>Rhodotorula</i> sp. ile yapılan biyosorpsiyon çalışmaları..... | 10 |
| 2.7. Mayalar İle Yapılan Boyar Madde Giderimi Çalışmaları..... | 11 |
| 3. Materyal ve Yöntem..... | 13 |
| 3.1. Mikroorganizma Kaynağı..... | 13 |
| 3.2. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) solüsyonlarının hazırlanışı..... | 13 |
| 3.3. Saf Kültür Eldesi ve Tanınması..... | 13 |
| 3.4. Biyobirikim Çalışmaları..... | 14 |
| 3.4.1. Optimum pH'ın belirlenmesi..... | 14 |
| 3.4.2. Boya ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi..... | 14 |
| 3.5. Biyosorpsiyon Çalışmaları..... | 14 |
| 3.5.1. Biyokütle hazırlanması..... | 14 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.2. Boya ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi..... | 14 |
| 3.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı..... | 15 |
| 3.7. Analiz Yöntemleri..... | 15 |
| 3.7.1. Remazol blue analizi..... | 15 |
| 3.7.2. Cr(VI) analizi..... | 15 |
| 3.7.3. Ni(II) analizi..... | 15 |
| 3.7.4. KOİ ve BOİ analizi..... | 16 |
| 3.7.5. Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD)..... | 16 |
| 3.7.6. Kuru ağırlığın belirlenmesi..... | 16 |
| 3.7.7. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) standartlarının hazırlanması..... | 16 |
| 3.8. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan Kısaltmalar..... | 18 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI..... | 19 |
| 4.1. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) Biyobirikimi..... | 19 |
| 4.1.1. Başlangıç pH değerinin Remazol blue ve Cr(VI) biyobirikimine etkisi..... | 19 |
| 4.1.2. Başlangıç pH değerinin Remazol blue ve Ni(II) biyobirikimine etkisi..... | 20 |
| 4.1.3. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) konsantrasyonlarının tekli etkisi..... | 20 |
| 4.1.4. Remazol blue ve Cr(VI) konsantrasyonunun <i>Rhodotorula</i> sp.'nin biyobirikimine birlikte etkisi..... | 22 |
| 4.1.5. Maksimum spesifik Remazol blue ve Cr(VI) alımı..... | 26 |
| 4.1.6. Remazol blue ve Ni(II) konsantrasyonunun <i>Rhodotorula</i> sp.'nin biyobirikimine birlikte etkisi..... | 28 |
| 4.1.7. Maksimum spesifik Remazol blue ve Ni(II) alımı..... | 31 |
| 4.2. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) Biyosorpsiyonu..... | 33 |
| 4.2.1. Remazol blue Biyosorpsiyonu..... | 33 |
| 4.2.2. Cr(VI) biyosorpsiyonu..... | 34 |
| 4.2.3. Ni(II) biyosorpsiyonu..... | 35 |
| 4.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı..... | 37 |
| 5. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 39 |
| 5.1. Biyobirikim..... | 39 |
| 5.2. Biyosorpsiyon..... | 40 |
| KAYNAKLAR..... | 45 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 48 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1. Remazol Blue'nun kimyasal yapısı..... | 13 |
| Şekil 3.2. Remazol blue standardı..... | 16 |
| Şekil 3.3. Cr(VI) standardı..... | 17 |
| Şekil 3.4. Ni(II) standardı..... | 17 |
| Şekil 4.1. Farklı pH derecelerinin Remazol Blue ve Cr(VI) biyobirikimine etkisi..... | 19 |
| Şekil 4.2. Farklı pH derecelerinin Remazol Blue ve Ni(II) biyobirikimine etkisi..... | 20 |
| Şekil 4.3. Artan Remazol blue konsantrasyonunun biyobirikime etkisi..... | 21 |
| Şekil 4.4. Cr(VI) içeren, Remazol blue içermeyen pH 6 dereceli melaslı besiyerlerinde biyobirikim deneyi..... | 21 |
| Şekil 4.5. Ni(II) içeren, Remazol blue içermeyen pH 5 dereceli melaslı besiyerlerinde biyobirikim deneyi..... | 22 |
| Şekil 4.6. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 48.2 ppm Cr(VI) biyobirikimi..... | 23 |
| Şekil 4.7. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 102.2 ppm Cr(VI) biyobirikimi..... | 23 |
| Şekil 4.8. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 153.4 ppm Cr(VI) biyobirikimi..... | 24 |
| Şekil 4.9. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 63.5 ppm R.blue biyobirikimi..... | 24 |
| Şekil 4.10. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 118.7 ppm Remazol blue biyobirikimi | 25 |
| Şekil 4.11. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 231.9 ppm Remazol.blue biyobirikimi | 25 |
| Şekil 4.12. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 482.9 ppm Remazol .blue biyobirikimi..... | 26 |
| Şekil 4.13. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 23.8 ppm Ni(II) biyobirikimi..... | 28 |
| Şekil 4.14. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 38.1 ppm Ni(II) biyobirikimi..... | 28 |
| Şekil 4.15. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 59.08 ppm Ni(II) biyobirikimi..... | 29 |
| Şekil 4.16. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 67.3 ppm Remazol blue biyobirikimi..... | 29 |
| Şekil 4.17. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 126.8 ppm Remazol blue biyobirikimi..... | 30 |
| Şekil 4.18. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 208.1 ppm Remazol blue biyobirikimi..... | 30 |
| Şekil 4.19. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 277.8 ppm Remazol blue biyobirikimi..... | 31 |
| Şekil 4.20. Artan Remazol blue konsantrasyonu içeren pH 5 dereceli ortamın biyosorpsiyon deneyi..... | 33 |
| Şekil 4.21. Artan Remazol blue konsantrasyonu içeren pH 6 dereceli ortamın biyosorpsiyon deneyi..... | 33 |
| Şekil 4.22. Cr(VI) içeren pH 6 dereceli ortamda biyosorpsiyon deneyi..... | 34 |
| Şekil 4.23. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve artan konsantrasyon Cr(VI) biyosorpsiyonu..... | 34 |
| Şekil 4.24. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda, Cr(VI) ve artan konsantrasyon Remazol blue biyosorpsiyonu..... | 35 |
| Şekil 4.25. Ni(II) içeren pH 5 dereceli ortamda biyosorpsiyon deneyi..... | 36 |
| Şekil 4.26. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve artan konsantrasyon Ni(II) biyosorpsiyonu..... | 36 |
| Şekil 4.27. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda, Ni(II) ve artan konsantrasyon Remazol blue biyosorpsiyonu..... | 37 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 2.1. Endüstri alanlarında kullanılan ağır metaller..... | 4 |
| Çizelge 2.2. <i>Rhodotorula</i> cinsinin taksonomik sınıflandırılması..... | 6 |
| Çizelge 2.3. Atıksulardan sentetik boya ların giderilmesinde kullanılan bazı mayalar..... | 11 |
| Çizelge 4.1. Cr(VI) ve Remazol blue konsantrasyonlarında elde edilen, gram hücre başına biriktirilen Cr(VI) ve Remazol blue miktarları..... | 27 |
| Çizelge 4.2. Ni(II) ve Remazol blue konsantrasyonlarında elde edilen, gram hücre başına biriktirilen Ni(II) ve Remazol blue miktarları..... | 32 |
| Çizelge 4.3. Farklı besiyerlerinde ölçülen Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve giderim değerleri..... | 37 |
| Çizelge 5.1. Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon değerlerinin karşılaştırılması..... | 41 |
| Çizelge 5.2. Cr(VI) ve Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon için birlikte etkisinin karşılaştırılması..... | 43 |
| Çizelge 5.3. Ni(II) ve Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon için birlikte etkisinin karşılaştırılması..... | 44 |

SİMGELER DİZİNİ

- C_0 : Başlangıç Remazol blue, Cr(VI) veya Ni(II) konsantrasyonu (ppm)
- C_{byb} : Mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırdığı Remazol blue, Cr(VI) veya Ni(II) miktarı (ppm)
- % BB: Biyobirikim verimi
- % BS: Biyosorpsiyon verimi
- q_m : Mikrobiyel kütle başına biriktirilen Remazol blue, Cr(VI) veya Ni(II) derişimi (mg/g)
- KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı
- BOİ: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
- $K_2Cr_2O_7$: Potasyum dikromat
- $NiSO_4$: Nikel sülfat
- HCl: Hidroklorik asit
- NaOH: Sodyumklorür
- Ni(II): Nikel(II)
- Cr(VI): Krom(VI)
- Cu(II): Bakır(II)
- Pb(II): Kurşun(II)
- Mn(II): Mangan(II)
- H_2SO_4 : Sülfürik asit
- $Cr_2O_7^{2-}$: Dikromat
- CrO_4^{2-} : Kromat
- $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$: Demir amonyum sülfat
- Fe(II): Demir(II)
- $CrCl_3$: Krom klorür
- $(NH_4)_2SO_4$: Amonyumsülfat
- KH_2PO_4 : Potasyumsülfat

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği ilk defa kentsel yaşamın başlaması sonucu ortaya çıkmış ve endüstriyel gelişmeye paralel olarak da artmıştır. Özellikle yirminci yüzyılın ikinci yarısında, nüfus artışıyla hızlanmaya bağlı olarak artan çevre kirliliği, yaşam kaynaklarının daha fazla kirlenmesine neden olmuş ve sonuçta ekosistemin bozulması giderek çok daha ciddi bir hal almıştır.

Ekosistemin bir bölümünü oluşturan su ortamı, kullanılmış sular ve diğer atıklar için alıcı ve uzaklaştırıcı bölge olarak kullanıldığında, ekosistem içinde hava ve toprağa oranla en yoğun kirlenmeye uğrayan kısım haline gelmiştir. Kentlerde (evsel atıksular) ve endüstride kullanıldıktan sonra atılan sular için atıksu terimi kullanılmaktadır. Atıksular fiziksel (renk, koku, sıcaklık yükselmesi, asıltı maddeler ve köpüklenme) ve kimyasal (çözünmüş organik maddeler, toksik maddeler ve fosforlu madde varlığı) kirlilik gösterirler. Atıksular içindeki ağır metaller, endüstriyel atık ve bazı pestisitlerin içinde yer almakta iken boyarmaddeler ise kimyasal kirleticiler olarak bilinmektedir.

Birçok sanayi kolunda (maden endüstrilerinde, enerji ve yakıt üretiminde, gübre ve pestisit sanayinde, metalurji ve demir ve çelik sanayinde, deri işleme, fotoğraf sanayinde) ağır metal içeren atıklar direkt ya da indirekt olarak doğaya verilmekte ve gün geçtikçe bu durum daha çok yaşanılmaktadır. Özellikle büyümekte olan ülkelerde bu durum ciddi çevresel kirlenmeye ve canlı hayatını tehdit etmeye başlamıştır. Sentetik boyalar ise birçok alanda geniş ölçüde günümüz teknolojisi ile üretilip kullanılmaktadır. Kullanılan alanlara örnek olarak: tekstil endüstrisinin birçok kolunda, deri tabaklama endüstrisinde, kağıt sanayinde, gıda teknolojilerinde, zirai araştırmalarda, saç boyama ve kozmetik alanlarını örnek verebiliriz.

Ağır metaller suda yaşayan canlılar için oldukça zehirli kirleticilerdir. Ağır metaller tehlikelidir çünkü biyobirikime eğilimlidirler. Bileşikler herhangi bir zamanda canlılarda birikebilirler ve onların vücuda alınmaları ve depolanması metabolize edilmelerinden veya atılmalarından daha hızlıdır. Atıksularda çok çeşitli türde ve istenmeyen miktarlarda bulunan boyarmaddeler ise renk kirliliğine neden olan, sudaki yaşamın fotosentetik aktivitesini etkileyen ve biyolojik bozunması çok güç olan kimyasallardır. Atıksulardaki bazı boyarmaddelerin yapılarında ağır metal iyonlarını içermelerinden ve atıksuya bu ağır metal iyonlarını da salmalarından dolayı canlı yaşamı üzerindeki toksik etkileri daha da fazla olmaktadır.

Bu tür atıksuların arıtımında kullanılan klasik yöntemler (kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ozonlama, koagülasyon-flokülasyon, adsorpsiyon vb.) yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği, arıtma sonrasında yeni kirleticilerin oluşması gibi nedenlerden dolayı pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır. Atıksu arıtımında en yaygın olarak kullanılan aerobik ve anaerobik biyolojik arıtımların bu tür kirleticileri içeren atıksuların arıtımında kullanımı ise, ağır metal iyonlarının biyobozunur olmaması, boyarmaddelerin biyolojik oksidasyona dirençli olarak üretilmeleri ve bu kirleticilerin aşırı miktarlarının biyolojik arıtımda etken mikroorganizmaların üremesini engellemesi gibi nedenlerle kısıtlı olmaktadır. Son yıllarda ağır metal ve boyarmadde kirleticilerini içeren atıksularda üreyebilen ve bu kirleticilere karşı direnci fazla olan mikroorganizmaların, boyarmadde ve metal iyonlarını hücre yapısına alarak biriktirme (biyobirikim) yeteneğinden yararlanarak ağır metal ve boyarmadde kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar, aktif gelişen hücrelerin kullanılmadığı biyosorpsiyon çalışmalarına alternatif olarak, önem kazanmaya başlamıştır.

Tez çalışmasında kullanılan mayanın endüstrinin pek çok alanında kullanıldığının bilinmesi, oldukça kısa sürede ve ucuz besi ortamlarında yüksek biyokütle oluşturması sebebi ile boyarmadde ve ağır metal içeren atıksularının arıtımında kullanılabileceği düşünülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, atıksularda sıklıkla rastlanılan reaktif boyarmaddelerin, Cr(VI) ve Ni(II) gibi ağır metal iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının, bu kirleticilere dirençli olarak izole edilen *Rhodotorula* sp. mayasının biyobirikiminin kesikli karıştırılmalı kapta incelenmesi amacıyla planlanmıştır. Ayrıca izole edilen mayanın biyosorpsiyon kapasitelerinin araştırılmasıyla, atıksu arıtımında hangi prosesin etkin olarak kullanılabileceği de belirlenecektir. İçerisinde Remazol blue konsantrasyonu bulunan ve bulunmayan melaslı ortama inoküle edilmiş *Rhodotorula* sp.'nin kimyasal ve biyolojik oksijen ihtiyacına bakılması planlanmıştır. Bu iki parametre atıksuların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren parametrelerdir. Çalışmada melas kullanımının nedeni ise yüksek miktarda sükröz ve diğer besin maddelerini içermesi, kolay stoklanması ve düşük maliyetidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Boyar Maddeler

Boyarlar, genel olarak karmaşık moleküler yapıları olan, yüksek molekül ağırlıklı, sentetik ve organik bileşiklerdir. Kimyasal yapıları itibari ile ısıya, suya ve birçok kimyasala direnç gösterebildikleri için ve kompleks sentetik yapılarından dolayı dekolizasyonları oldukça zordur. Dahası bu atıkların canlılar için zehirli ve kanserojen oldukları kanıtlanmıştır (Li-yan Fu vd 2001).

Boyar maddeler iki ana bileşenden oluşmuştur. İlki renk veren kromofor gurupları ve ikincisi ise boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel guruplardır. Boyalar genel anlamda: reaktif, asidik, azo boyalar, antrokinon temelli boyalar, dispers boyalar ve metal kompleks boyalar olarak gruplandırılmışlardır (Kocaer vd 2002).

Endüstri alanında daha geniş kullanım alanına sahip olan boyalar ise: azo boyalar, antrokinon temelli boyalar, sülfür, indigoid, trifenilmetil ve fitalosiyenin temelli boyalardır. Tekstil endüstrisinde en büyük kullanım alanını azo boya ve türevleri oluşturmaktadır (Esther vd 2004).

Sentetik boyalar birçok alanda geniş ölçüde günümüz teknolojisi ile üretilip kullanılmaktadır. Kullanılan alanlara örnek olarak: tekstil endüstrisinin birçok kolunda, deri tabaklama endüstrisinde, kağıt sanayinde, gıda teknolojilerinde, zirai araştırmalarda, saç boyama ve kozmetik alanları verilebilir (Esther vd 2004).

Birçok alanda kullanılan boyar maddeler atık su oluşturduklarında bu suların oldukça fazla renkli olmaları ve geri dönüşü olmayan bu atıkların alıcı su ortamlarına verilmeleri ile çevre için oldukça büyük zarar oluşturmaktadırlar. Atıksuya bakıldığında saptanabilen ilk kontaminant renktir. Bu renklenme fotosentez yapan sucul canlıların ışığı kullanmalarını önlemekte ve böylece bu canlılar besinlerini üretememekte ayrıca yapılarındaki metal ve kloridler nedeni ile sucul yaşayanlar için toksik olmaktadır. Ayrıca estetik açıdan da oldukça kötü gözükmektedir. Doğa kendi kendine giderimi oldukça yavaş yapabilmektedir.

Bu nedenle boyaların giderimi oldukça önem teşkil etmektedir. Şu an için ülkemizde uygulanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde renk giderimi ile ilgili bir parametre bulunmamasına rağmen Avrupa Birliği Çevre Yasaları veya EPA kriterleri göz önüne alındığında renk özellikle tekstil endüstrisi için giderilmesi zor bir parametre haline gelmektedir (Clarke ve Anliker 1980).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyalar biyolojik arıtmaya dirençli, toksik ve refrakte maddeler olup birçoğu oldukça karmaşık polimer yapıları sahiptir. Bu maddeler degradasyona uğramalarına rağmen oluşan aromatik halka yapısı ekosistemi ciddi şekilde tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle deşarj öncesi tekstil atık sularının arıtılması gerekmektedir (Sumathi ve Manju 2000).

2.1.1. Boyar maddeler ve etkileri

Suda çözünen reaktif ve asidik boyalar en çok problem yaratan guruplardır. Çünkü kullanılan klasik arıtım teknikleri bu boyalar üzerinde çok fazla etkili değildir. Reaktif boyalar alkali ortamda ve yüksek sıcaklıklarda koton fiberlere tutunurlar. Bu boyaların zayıf bağlanma özelliklerinden dolayı yaklaşık %40'ı koton fiberlere tutunamaz ve boya atığı olarak kalır (Sumathi ve Manju 2000).

Non iyonik yani disperse boyalar suda çözünmezler ve iyonize olmazlar. Dolayısıyla toprakta yaşayan mikroorganizmalar ya da bitkiler üzerinde ciddi tehdit oluşturmazlar (Esther vd 2004).

Azo boyalar ticari anlamda en çok kullanılan boyalardır. Bu boyalar mikroorganizmalar tarafından kolayca degrade edilemezler. Azo boyalar tekstil atıklarının %60-70'inde bulunurlar. Bu boyalar solüsyonlarda çözünürler ve klasik arıtım teknikleriyle arıtımları oldukça zordur. Parlak renkleri, basit kullanımları ve düşük enerji maliyetleri nedeni ile sanayide oldukça sık kullanılırlar. Çok az konsantrasyonlarda bile suyun estetik özelliğini değiştirir ve çözünürlüğünü düşürürler. Fotosentetik aktiviteyi önemli ölçüde etkilerler, sucul ortamlarda ışığın penetrasyonunu azaltırlar ve yapılarındaki metaller, kloridler ve aromatikler nedeni ile sucul yaşamı olumsuz yönde etkilerler. Antrakinin yapıları ise aromatik halka yapıları nedeniyle degradasyona en dirençli boyalar gurubunda yer alırlar (Esther vd 2004).

2.2. Ağır Metaller

Yoğunlukları 5 g/cm^3 den yüksek olan metallerdir. Ağır metaller genellikle 3 kategoriye ayrılmaktadırlar: toksik metaller, değerli metaller ve radyonüklit metaller. Çeşitli endüstrilerden ve belediyelerden gelen atık suların içinde bulunan metaller su ve toprak kirliliğinin başlıca nedenleridir. Zehirleyici özelliklerine rağmen ağır metaller taşıdıkları teknolojik önem nedeni ile endüstride geniş ölçüde kullanılırlar. Ağır metal kirliliği içeren atık sular genellikle maden endüstrileri, metal endüstrileri ve sanayi kuruluşlarında kullanılırlar (Volesky 1990, Ting ve Lawson 1991, Bishop 2002).

Metaller canlıların yaşam süresinde önemli roller üstlenirler. İnsanlar için ağır metaller küçük bir miktara kadar vücudumuza gıdalar, içme suyu ve hava yolu ile girerler. İz elementler gibi bazı ağır metaller (örneğin sodyum, potasyum, kalsiyum, demir, bakır, selenyum ve çinko) insan vücudunun metabolizmasını sürdürmek için gereklidirler. Redoks tepkimelerinde kullanılırlar, elektrostatik interaksionlarda molekülleri stabilize ederler, enzimlerin yapısal bileşeni olarak görev alırlar ve osmotik basıncın düzenlenmesinde etkilidirler. Bununla birlikte yüksek konsantrasyonlarda toksik olabilirler. Ağır metal zehirlenmesi oluşabilmektedir, örneğin kontamine olmuş içme suyundan (kurşun borular), emisyon kaynaklarına yakın ortamın hava konsantrasyonunun yüksek olmasından kaynaklanabilir (Muter vd 2001).

2.2.1. Ağır metaller ve etkileri

Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan bileşiklerdir. Bozulmaz ve yok edilemezler. Metaller yüksek konsantrasyonlarda hücre membranına zarar verirler, enzim spesifitesini değiştirirler, hücre fonksiyonları durdurabilirler ve DNA'nın yapısını bozabilirler. Ağır metalin yarattığı toksisite ağır metalin türünden, konsantrasyonundan, ortam pH'ından ya da metal iyonlarının çözünürlüğünden kaynaklanabilir (Volesky 1990).

Krom(VI); biyolojik sistemlerde bulunan en toksik ve mutajenik metal iyonudur. Bu toksisitenin nedeni; sülfat iyonu kanalları yardımıyla membranı kolayca geçebilen heksavalent Cr iyonlarıdır. Membranı geçen iyonlar redüksiyon tepkimelerine katılarak çeşitli reaktif ara ürünlerin oluşmasına neden olurlar. Bu ara ürünler de hücre organellerine, proteinlere ve nükleik asitlere zarar verirler (Ting ve Lawson 1991).

Krom periyodik tablonun IV B gurubunda bulunan bir geçiş metalidir. Krom çok farklı formlarda bulunabilmesine rağmen en yaygın ve kararlı formları, üç değerlikli Cr(III) ve altı değerlikli Cr(VI) türleridir. Krom, çevrede doğal olarak trivalan (+3) formuyla Cr_2O_3 şeklinde bulunmaktadır (Muter vd 2001). Krom(III) yer altı suyunda çok az çözünmekte ve toprak tarafından kuvvetlice tutulmaktadır. Krom(III)'ün çözünürlüğünün yok denecek kadar az olması, çevrede yaratacağı toksik etkiyi de en aza indirmektedir. Buna rağmen Cr(VI) yüksek derecede çözünür olmakla birlikte oksijen ile birleşerek kromat (CrO_4^{2-}) veya dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) iyonu şeklinde bulunmaktadır. Taşınabilirliği de Cr(III)'e göre çok daha fazladır. Krom(VI) çok güçlü bir oksitleyici ajandır ve organik madde varlığında Cr(III)'e indirgenmektedir. Bu indirgenme asit içeren topraklarda olduğu gibi, asitli çevrelerde daha hızlı olmaktadır. Krom(VI), prokaryotik ve ökaryotik hücrelerin membranlarından kolayca geçebilmektedir (Cervantes vd 2001). İnsanlarda akciğer kanserine, kromat ülserine, nazal septum delinmesine ve böbrek hasarına neden olmaktadır (Bhide vd 1996).

Krom(III) proteinler ve nükleik asitlerle etkileşime girebilmektedir. Krom klorür (CrCl_3) ile yapılan çalışmalarda, nükleik asit sentezinin başlamasında gecikme ve böylece nükleik asit içeriğinde azalma belirlenmiştir. Potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ile yapılan deneylerde de hücre bölünme süresinin uzaması ve hücre bölünmesinde azalma kaydedilmiştir. Potasyum dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), DNA sentezini fazlasıyla etkilemekte ve etkisini muhtemelen DNA polimerazı etkileyerek yapmakta, ikili sarmal DNA ile etkileşime girmektedir. İkili sarmal DNA, bazlar arasındaki H bağları ve buradaki negatif yüklü fosfatların karşılıklı olarak birbirini itme kuvveti ile kararlı formda tutulmaktadır. Krom klorürdeki Cr(III), negatif yüklü fosfat gruplarına bağlanmaktadır. Böylece negatif yüklü fosfatlar nötralize olmakta, Cr(III)'ün artırılmasıyla DNA'daki bazlar arasındaki zayıf H bağları kopmakta, DNA kararlı yapısını kaybetmekte ve erime sıcaklığı düşmektedir (Cervantes vd 2001).

Nikel(II); çevrede çok düşük seviyede bulunan bir elementtir. Gümüşümsü beyaz renkli sert bir metaldir. Nikel bileşikleri kolay çözünmezler. Suda çözünebilir tuzları; klorür, sülfat ve nitrattır. İnsanlık, nikeli, birçok farklı uygulamalar için kullanır. Nikelin en yaygın uygulaması; paslanmaz çelik ve diğer metal malzemelerin içeriği olarak kullanılmasıdır. Nikel, mücevherat gibi metal ürünlerde genelde bulunur. Nikel ve belirli nikel bileşenleri

ciddi anlamda kanserojen olarak kabul edilen malzemeler listesinde bulunmaktadır. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) nikel bileşenlerini grup 1'de (insanlarda kansere yol açtığına dair yeterli kanıt bulunan), nikeli grup 2B'de (insanlarda kansere yol açma olasılığı bulunan) listelemiştir (Preetha ve Viruthagari 2006).

Endüstriyel ürünlerin üretiminde ağır metallerin yoğun bir biçimde kullanılması nedeniyle, insanların ağır metallere maruz kalma oranı son 50 yılda çok ciddi bir şekilde artmıştır. Cıvalı amalgam dolgular, boyalar ve musluk suyundaki kurşun, işlenmiş gıdalar, kozmetik ürünleri, şampuan, saç ürünleri ve diş macunlarındaki kimyasal kalıntılar nedeniyle insanlar her an ağır metallere iç içe yaşamaktadır. Günümüzün endüstriyel toplumunda bu durumdan kaçış imkanı ne yazık ki, yok gibi görünmektedir. Ağır metaller bizleri sadece evimizde ve sokakta tehdit etmezler. Ağır metallere maruz kalma konusu bazı iş kollarında çalışan insanlar için çok ciddi bir tehlikedir. Bu tehlikeye maruz kalan bazı çalışanlar, doktorlar, ilaç sanayi, laboratuvar çalışanları, kuaförler, boyacılar, metal sanayi, kozmetik ve pil üretiminde çalışanlar ve fotoğrafçılardır (Preetha ve Viruthagari 2006). Çizelge 2.1.'de endüstri alanlarında kullanılan ağır metaller özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Endüstri alanlarında kullanılan ağır metaller

| Endüstri Alanı | Cd | Cr | Cu | Hg | Pb | Ni | Sn | Zn |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Kağıt endüstrisi | - | + | + | + | + | + | - | - |
| Petrokimya | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Klor-alkali üretimi | + | + | - | + | + | - | + | + |
| Gübre sanayi | + | + | + | + | + | + | - | + |
| Demir-Çelik sanayi | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Enerji Üretimi(Termik) | + | + | + | + | + | + | + | + |

Havaya atılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunurlar. Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallere kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar. Bitkilerde ağır metaller, kloroplastların yapısını bozar ve klorofil pigmentinin sentezini inhibe ederler. Ağır metaller bitkilerin hücre duvarlarından veya hayvanların hücre zarlarından biyolojik sistemlere girmekte, bitki hücrelerinde vakuollerde depolanmakta ve enzimlerle birlikte pek çok yaşamsal faaliyeti düzenlemektedirler (Volessky 1990).

1932'den itibaren Japonya'da Chisso's kimyasalları tarafından Civa içeren lağım Minimata sahiline boşaltılmıştır. Civa deniz ürünlerinde birikmiş ve 1952 yılında insanlar üzerinde etkisini göstermiştir. 1950'li yıllarda yaklaşık 500 insan deniz mahsullerinde biriken civa yüzünden hayatını kaybetmiştir (Volessky 1990).

2.2.2. Ağır metallerin toksik karakterleri

Toksiklik uzun süreler boyunca doğada var olmaktadır. Bazı ağır metaller civa örneğinde olduğu üzere az toksik özelliklerinden doğada daha toksik özellik göstermektedir. Besin zincirine katılan ağır metaller en sonunda insanları etkilemektedir. Metaller sadece değerlilik ve tür olarak değişebilirler ve herhangi bir şekilde herhangi bir metotla degrade edilemezler. Ağır metaller düşük konsantrasyonlarda toksiklik gösterirler: 1-10 (ppm). Bazı güçlü metal iyonları ise civa ve kadmiyum gibi 0.001-0.1 ppm gibi çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik olabilmekteledir (Jianlong ve Can 2006).

2.3. Direnç Mekanizmaları

Mikroorganizmalarda metal direncinden sorumlu genler plazmid ya da kromozomal DNA da bulunmaktadır. Mikroorganizmalarda metal direncinden sorumlu olan pek çok plazmid izole edilmiştir. Antibiyotik direnç genlerini taşıyan bazı plazmidlerin civa ve arsenik direnç genlerini de taşıdığı bilinmektedir.

Mikrobiyel hücre aşağıda özetlenen şekilde metallere direnç göstermektedir.

1) Ekzopolisakkarit üretimi: Bazı mikroorganizmaların hücre yüzeylerinde metalleri bağlayarak hücreye girmelerini engelleyen EPS olarak adlandırılan bir tabaka bulunur. Bu tabakanın pek çok metal iyonunu bağladığı gösterilmiştir. Bazı bakterilerin metalli ortamda EPS üretimini arttırdıkları bilinmektedir. Ayrıca ekstrasellüler (siderophore) şelat bileşikler de metalleri hücre dışında bağlayarak detoksifiye ederler. Siyanobakterilerde bakır toksitesinin hücreden salgılanan siderophore ile azaltıldığı gösterilmiştir (Madigan vd 1997).

2) İndirgeme: Bazı metaller sıfır değerlikli hale indirgenerek detoksifiye edilirler. Örneğin iki değerlikli civa Gram negatif *Pseudomonas aeruginosa* bakterisinin plazmidinde bulunan *mer* operonu olarak adlandırılan genlerle sıfır değerlikli hale indirgenir. Periplazmik Hg⁺² bağlayıcı MerP proteini civayı membranda transport proteini olan MerT'ye verir. Sitoplazmada bulunan civa redüktaz enzimi (MerA) civayı indirger. Bu şekilde oluşan sıfır değerlikli civa buharlaşarak hücreyi terk eder. İndirgeme krom detoksifikasyonunda da görülür. Kromat redüktaz olarak adlandırılan enzim altı değerlikli çözünebilir formdaki toksik kromu, çözünemez üç değerlikli forma indirger. Enzim hücre içinde ise krom hücre içinde biriktirilir. Enzim hücre membranında ise krom hücreye girmeden hücre dışında indirgenir. Sonuçta oluşan üç değerlikli krom çözünemediği için hücrelere girip toksik etki gösteremez ve çökerek ortamdan uzaklaşır (Madigan vd 1997).

3) Biyobirikim: Bazı mikroorganizmalar metalleri hücre içlerinde biriktirirler. Ökaryot mikroorganizmalar vakuollerinde biriktirebilir. Bazı hücreler sentezledikleri Metallothionein benzeri proteinlerle hücre içinde metalleri bağlarlar. Metal bulunan ortamlarda bazı mikroorganizmalar tarafından üretilen metallothioneinler, küçük moleküler ağırlıklı sisteince zengin proteinlerdir. Bazı hücreler metal tuzları şeklinde hücrede metalleri çöktürürler (Aksu ve Dönmez 2000a).

4) Hücre dışına pompalama: Bazı metaller hücre dışına membran taşıyıcı proteinleri yardımıyla çıkarılır (Madigan vd 1997).

5) Biyosorpsiyon: Bazı metaller hücre dışı membranındaki ya da hücre duvarındaki karboksil, amino, tio ya da hidroksil gruplarına bağlanarak pasif olarak hücre dışında tutulur (Kapoor ve Viraraghavan 1995).

Bir hücre metalli ortamda yukarıdaki mekanizmaların bir ya da daha fazlasını kullanarak ağır metalleri detoksifiye edebilir.

2.4. Filamentsiz Mikrofunguslar (maya)

Çok hücreli ve tek hücreli olabilen ökaryotik canlılardır. Grubun orijinal adı fungi (Mycota) doğrudan şapkalı mantarları tanımlamakta fakat 3 ana gruba ayrılmaktadırlar (Madigan vd 1997).

Filamentli mikrofunguslar (=küfler)
Filamentsiz mikrofunguslar (=maya)
Makrofunguslar (=şapkalı mantarlar)

2.4.1. Mayaların mikroskobik özellikleri

Maya hücreleri, yuvarlak, oval ve silindir biçiminde bir görünümde olup tek hücrelidirler. Çoğu Ascomycetes olarak sınıflandırılmıştır. Boyutları, türlere ve kültür koşullarına göre değişmek üzere, 2-10 x 3-16 mikrometre arasında değişmektedir. Mikroskopta bakterilerden büyüklükleri ve iç membranlarının yapısı ile ayrılmaktadırlar. Boyutları, genellikle bakterilerden daha büyüktür. Bazı koşullarda, çok sayıda hücre yan yana gelerek uzun zincirler (pseudohifa) oluşturabilirler. Hücre duvarı, maya hücrelerine şekil verir ve oldukça sert bir kimyasal yapıdadır. Bileşiminde glikoz ve mannoz polimerleri (mannan) ile birlikte az oranda lipid, protein ve kitin bulunmaktadır. Hücre duvarında, kalınlıkları değişik olan 3 tabakanın varlığı belirtilmektedir. Sitoplazmik membranın permeabilitesi oldukça fazladır. Ayrıca, sitoplazmik membran enzimlerce de oldukça zengindir. Maya hücrelerinde, etrafında delikli bir membrana (nükleer membran) sahip ve çapı 1 mikrometre civarında bulunan bir çekirdek vardır. Hücre içinde, üremenin aktif olduğu dönemde sayıları az olan ve üremenin sonuna doğru artan sayıda granül ve globüllere rastlanılmaktadır. İçlerinde transparant bir sıvı bulunan büyükçe vakuoller, boyutları 0.25 x 0.5 mikrometre kadar olan mitokondriyumlar ve çok sayıda ribozomlar da yer almaktadır (Brady ve Duncan 1994a).

2.4.2. Mayaların habitatları

Mayalar şekerin bulunduğu örneğin: meyve, çiçek ve ağaç kabuklarında bulunmaktadırlar. Birkaç tür; hayvanlar ve özellikle böceklerde simbiyont olarak yaşamakta ve bazı türler hayvan ve insanlarda patojen olarak yaşamaktadır. En önemli ticari mayalar ekme ve bira mayasıdır ki bu mayalar *Saccharomyces* cinsine aittir. *Saccharomyces cerevisiae* yıllarca model ökaryot olarak çalışılmış olup genomu tamamen sekanslanan ilk ökaryottur (Brady ve Duncan 1994b).

2.4.3. Mayalarda üreme

Mayalar üreme yönünden başlıca iki gruba ayrılırlar.

1) **Aseksüel üreme:** Bu üreme tarzı başlıca iki karakter gösterir. Bazı mayalar tomurcuklanma ve diğerleri de ortadan bölünerek çoğalırlar. Tomurcuklanma ile çoğalmada önce hücrenin bir ucunda kabarcık meydana gelir ve bu zamanla gelişerek esas hücre boyutlarına ulaşır. Bu durumda, yeni oluşan hücre ya ayrılarak serbest kalır veya bitişik olarak yaşamına devam eder. Bu tarzdaki üremeye *Saccharomyces* cinsine ait türler (*S.cerevisiae*) örnek verilebilir. Bitişik olan iki hücre de sonradan tomurcuklar oluşturarak üremeye devam ederler. Ortadan bölünerek çoğalma, aynen bakterilerde olduğu gibi, maya hücresi, ortasına doğru uzanan bir septumla ikiye ayrılır (Brady ve Duncan 1994b).

2) **Seksüel üreme:** Bu üreme tarzı yine *Saccharomyces* cinsine ait türlerde (*S.cerevisiae* ve *Schizosaccharomyces octoporus*) görülmektedir. Bu türlerde zigot oluşumu değişik tarzda gelişir ve gerçekleştirilir. Seksüel üreme, ya askosporların oluşmasına yol açan sporulasyonla veya gametlerin birleşmesi (gamet formasyonu) tarzında görülmektedir (Brady ve Duncan 1994b).

2.4.4. *Rhodotorula* sp.

Rhodotorula cinsinin taksonomik sınıflandırılması 1927 yılında Harrison tarafından yapılmıştır. *Rhodotorula* havada, toprakta, göllerde, okyanuslarda ve mandıra ürünlerinde bulunan bir mayadır. Bitkiler, insanlar ve diğer memelilerde koloni oluşturabilirler (Sutton vd 1998).

Çizelge 2.2 *Rhodotorula* cinsinin taksonomik sınıflandırılması

| | |
|----------|--------------------|
| Alem | Fungi |
| Filum | Basidiomycota |
| Sınıf | Urediniomycetes |
| Altsınıf | Sporidiales |
| Aile | Sporidiobolaceae |
| Cins | <i>Rhodotorula</i> |

Rhodotorula cinsi için çalışmalarda kullanılan 3 tane aktif tür vardır: *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula minuta* ve *Rhodotorula mucilaginosa* (Sutton vd 1998).

2.4.5 *Rhodotorula* sp.'nin makroskopik özellikleri

Rhodotorula kolonileri hızlı büyümekte, düzgün koloniler gözlenmekte, parlak ya da mat, bazen pürüzlü, yumuşak ve mukoittirler. Genellikle pembe, mercan kırmızısı, turuncu veya sarı kolonilerde gözlenmiştir (Sutton vd 1998).

2.4.6. *Rhodotorula sp.*'nin mikroskopik özellikleri

Rhodotorula oval şekilli düzgün bir koloni yapısı gösteren pembe renkli ve mukoid bir görünümdeydir. Yalancı hif ya yoktur ya da gelişmemiştir. Hifler yoktur. *Rhodotorula*'nın *Cryptococcus*'dan farkı inositolü asimile etmemesi ve *Candida*'dan farkı ise pembe kırmızı kolonileri ve yalancı hifin olmamasıdır (Falih 1998).

2.4.7. *Rhodotorula sp.*'nin giderim çalışmalarında kullanılma nedeni

Rhodotorula sp. mayasının birçok mayanın da içinde bulunduğu Ascomycota filumundan farklı Basidiomycota filumunda olmaları nedeni ile hücre duvar yapıları farklıdır. Ascomycota filumunda bulunan mayaların duvarında mannan+kitin ve az miktarda glukan mevcut iken Basidiomycota filumunda bulunan mayaların hücre duvarında glukan+mannan ve az miktarda kitin de yer almaktadır. Ayrıca bu mayada spesifik olan fukogalaktomannan tipindeki polisakkaritlerden fukoz ve galaktozun varlığı (*Saccharomyces* mayalarında görülmemektedir) yüksek dallanma sağlamaktadır. *Rhodotorula* cinsi içinde bulunan tüm mayalarda yapışkan kapsül bulunmakta ve bu kapsül ekzopolimer α -D ve β -D-mannan, fosfomannan ve fukogalaktandan oluşmaktadır. Bu yapılar *Rhodotorula* cinsindeki mayaların etkili bir şekilde ağır metal ve boyar maddelerin giderimini gerçekleştirdiği bilinmektedir (Falih 1998).

2.4.8. Ağır metal ve boyar madde içeren atıksuların biyolojik arıtımı

Ağır metallerin atıksulardan uzaklaştırılmasında biyobirikim ve biyosorpsiyon yolları kullanılmakta iken boyar maddeler için bu iki yol ile birlikte birde biyodegradasyon yolu eklenmiştir. Ağır metallerin canlı hücreler tarafından metabolizmaya bağlı olarak hücrede biriktirilmesi biyobirikim, pasif olarak hücre dışında tutulması biyosorpsiyon ve boyar maddelerin hücre içine alınıp karbon kaynağı olarak kullanılıp parçalara ayrılması işlemine de biyodegradasyon denilmektedir.

2.5. Biyobirikim Çalışmaları

2.5.1. Mayalar ile yapılan biyobirikim çalışmaları

Dönmez ve Aksu (1999) yaptıkları çalışmada Cu(II) ağır metalinin bazı mayaların gelişme ve biyobirikimine etkisini araştırmışlardır. Deney için kullanılan mayalar; *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces marxianus*, *Schizosaccharomyces pombe* ve *Candida sp.*'dir. Öncelikle en uygun pH değeri *S.cerevisiae*, *S.pombe* ve *Candida sp.* için pH 4.0, *K.marxianus* için pH 5.0 olarak bulunmuştur. YPG besiyerlerinde konsantrasyon denemelerinde 20 ppm Cu(II) için *S.cerevisiae* %74.2 giderim verimine ulaşmışken *K.marxianus* %90.3, *S.pombe* %25 ve *Candida sp.* ise %72.6 giderim yapmışlardır.

Konsantrasyon 50 ppm yapıldığında ise *S.cerevisiae* %63.2 giderim verimine ulaşmışken *K.marxianus* %81.2, *S.pombe* %15 ve *Candida sp.* ise %67 giderime ulaşmışlardır. Bu çalışmaya göre *Candida sp.* ve *K.marxianus*'un *S.cerevisiae* ve *S.pombe*' den daha etkili bir alım yaptığı anlaşılmıştır.

Aksu ve Dönmez (2000a) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise Cu(II) içeren melaslı atıksuların *Kluyveromyces marxianus* mayasının gelişmesine etkisi ve biyobirikimi çalışması yapılmıştır. Bu deneyde melas yani şeker fabrikası yan ürününün kullanılma sebebi içerdiği yüksek sükrozun tek karbonhidrat kaynağı olarak kullanılmasıdır. Öncelikle Cu(II) içeren besiyerlerinde ön alıştırma yapılmış ve mayanın en iyi gelişme gösterdiği pH değerinin bulunması için pH deneyi yapılmıştır. En uygun pH değeri 4.0 seçilmiş ki bu pH birçok bakteri ve alg için düşük bir pH değeridir. Çalışmanın devamında sükroz konsantrasyonu 5-20 g/l aralığında denenmiştir. 5 g/l sükroz varlığında %17, 10 g/l sükroz varlığında %27, 15 g/l sükroz varlığında %42 ve en yüksek sükroz konsantrasyonunda (20 g/l) en iyi biyobirikim değerine ulaşılmıştır (%58). Cu(II) biyobirikiminin pH ve sükroz konsantrasyonuna bağlı olduğu bulunmuştur. Cu(II) konsantrasyonları ise 50-500 ppm aralığında denenmiştir. Yaklaşık 50 ppm Cu(II) varlığında biyobirikim değeri %58.7 iken 100 ppm de %53.2, 200 ppm de %50.3, 300 ppm de %49.8 ve en yüksek Cu(II) konsantrasyonunda (500 ppm) %48.4 giderim değerine ulaşılmıştır. En yüksek biyobirikim değerine pH 4.0 dereceli en yüksek sükroz (20 g/l) ve en düşük Cu(II) konsantrasyonunda ulaşılmıştır.

Dönmez ve Aksu (2001) tarafından Cu(II) ve Ni(II) ile ön alıştırma yapılmış *Candida sp.* ile alıştırılma yapılmamış *Candida sp.* ile biyobirikim çalışmaları yapılmıştır. Önce mikrobiyel adaptasyon denilen işlemle içinde Cu(II) ve Ni(II) bulunan YPG besiyerlerinde önce kültüre alınıp böylece bu ağır metallere

alıştırılmışlardır. Sonrasında pH deneyi yapılmış ve her iki ağır metal için en uygun pH değeri 4.0 olarak bulunmuştur. Cu(II) için adapte olmamış *Candida* sp. 92.2 mg dm⁻³ Cu(II) varlığında %52.1 ile en iyi giderim verimine ulaşmışken konsantrasyonun artması ile (578.7 mg dm⁻³) giderim %21.8 olmuştur. Adapte olmuş *Candida* sp. için ise 97.6 mg dm⁻³ Cu(II) için giderim verimi %67.6 olmuştur. Konsantrasyonun 1518 mg dm⁻³ yapılması ile giderim verimi %4.9'a düşmüştür.

Bir diğer ağır metal olan Ni(II) için ise adapte olmamış *Candida* sp.'nin 63.6 mg dm⁻³ Ni(II) varlığında %57.1 konsantrasyonun 375.8 mg dm⁻³ yapılması ile giderim verimi %29.0 olmuştur. Adapte olmuş *Candida* sp. ise 66.7 mg dm⁻³ Ni(II) için %71.1 giderime ulaşmışken 392.7 mg dm⁻³ için %44.3 giderime ulaşılmıştır. Adapte olmuş *Candida* sp. Cu(II)'ye adapte olmamış *Candida* sp. 'den çok daha direnç göstermiş ve 1854.8 mg dm⁻³ konsantrasyona kadar çıkmıştır. Biyomaslar karşılaştırıldığında ise adapte *Candida* sp.'nin biyomasi 36.9 mg g⁻¹ iken adapte olmamış *Candida* sp.'nin biyomasi ancak 23.1 mg g⁻¹ bulunmuştur.

Nikel(II) için bakıldığında Cu(II)'ye göre çalışılan konsantrasyonlar düşmektedir. Cu(II) deneyinde de gözlenen metal konsantrasyonun artması ile mayanın gelişmesi ve metal alımı düşmektedir. 514.2 mg dm⁻³ de herhangi bir gelişme ve metal alınımı gözlenmemektedir. Hem adapte olmuş hem de olmamış *Candida* sp.'lerin yüksek Ni(II) konsantrasyonuna duyarlı oldukları gözlenmiştir.

Bu çalışmada sonuç olarak: adapte olmuş ve olmamış *Candida* sp.'nin ağır metal gideriminde büyük bir potansiyele sahip oldukları görülmüştür. Çalışmada ağır metal alınımını; mayaların adaptasyonu, pH ve metal iyon konsantrasyonuna bağlı olduğu bulunmuştur. pH'ı 3.0-5.0 olan atıksulardan ağır metal gideriminin *Candida* sp. ile etkili bir şekilde giderildiği gözlenmiştir. Adapte olmuş mayanın çok daha etkili olduğu ve adapte olmuş ve olmamış mayalarda maksimum metal alınımının üstel büyüme fazının sonunda gerçekleştiği gözlenmiştir.

Aksu ve Dönmez (2000b) tarafından yapılan çalışmada sükröz ve Cu(II) iyonlarının *Candida* sp.'nin gelişmesi ve biyobirikimine birlikte etkisine bakılmıştır. pH denemelerinde en yüksek gelişme ve biyobirikim değerine pH 4.0'de ulaşılmıştır. Çalışmada melaslı besiyeri kullanılmıştır. 5-20 g dm⁻³ sükröz varlığında 50-500 mg dm⁻³ Cu(II) kullanılmıştır. Her bir konsantrasyonda sükröz miktarı arttıkça Cu(II) alımı artmış olup ağır metal konsantrasyonu arttıkça Cu(II) alımı azalmıştır. 20.1 g dm⁻³ sükröz ve 53.2 mg dm⁻³ Cu(II) için alım %65.4 iken 20.4 g dm⁻³ sükröz ve 512.2 mg dm⁻³ Cu(II) için %19.8'e düşmüştür. Deney sonucunda bazı mayalar için Cu(II) inhibitör iken *Candida* sp. Cu(II)'ye karşı tolerans göstermektedir. Sükröz miktarının artırılması mayanın biyobirikim verimini arttırırken Cu(II) konsantrasyonunun artması ise biyobirikim verimini azaltmaktadır. *Candida* sp.'nin yüksek Cu(II) toleransı nedeni ile bu mayanın canlı biyosorbent olarak atıksuların temizlenmesi işleminde kullanılabileceği bulunmuştur.

2.5.2. *Rhodotorula* sp. ile yapılan biyobirikim çalışmaları

Bugüne kadar *Saccharomyces cerevisiae* mayası ağır metallerin adsorpsiyon mekanizması (Avery ve Tobin 1993), metallerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin mayaya etkisi (Brady vd 1994), pH ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerin etkisi (Brady ve Duncan 1994) çalışılmıştır.

Diğer metallerle yapılan ağır metal alım çalışmaları ise çok azdır. Bunun yanında toprak mayası olan *Rhodotorula* sp. mayasının ağır metallere karşı dirençli olduğu söylenmektedir (Falih 1998).

Falih'in (1998) yaptığı çalışmada ağır metallerin toksik etkisinin Suudi Arabistan topraklarından izole edilen bazı mayalara etkisi gösterilmiştir. Suudi Arabistan topraklarından izole edilmiş *Candida tropicalis*, *Geotrichum capitatum*, *Rhodotorula minuta* ve *Williopsis californica* mayalarının gelişimi üzerine Cd, Cu, Pb, Mn, Ni ve Co ağır metallerinin etkisine bakılmıştır. Bu çalışma bize hangi ağır metaller varlığında hangi mayaların geliştiğini ve bunun sonucunda hangi mayaların ağır metal gideriminde kullanılabileceğine ulaşılmaktadır. Bu çalışma benzeri çalışmalar birkaç araştırmacı tarafından da yapılmıştır (Gadd ve Griffiths 1978, Gadd 1990). Topraktaki mayalar özellikle maden dönüşümlerinde rol almaktadır. Bu mayalar ve ağır metallerle ilgili çok az bilgi bilinmektedir (Falih ve Wainwright 1995). Yukarıda verilen ağır metallerin denenme sebebi geniş olarak kullanılmalarıdır. İzole edilmiş bu mayalar içerisinde 0-400 ppm ağır metal bulunan Czapek-dox besiyerlerine inoküle edilmiştir. Öncelikle gelişme düzeylerine bakılmış ve tüm ağır metallerde en iyi gelişmeyi *W.californica* göstermiştir. 100 ppm Cd, Ni ve Mn için *W.californica*'dan sonra en iyi gelişmeyi *G.capitatum* göstermiştir. 100 ppm Co, Cu ve Pb için ise *W.californica*'dan sonra en iyi gelişmeyi *C.tropicalis* göstermiştir. *R.minuta* ise tüm ağır metal konsantrasyonlarında diğer mayalara göre daha az gelişme gösterse de en yüksek konsantrasyonlarda tüm ağır metallere karşı daha iyi bir gelişme göstermiştir. Mayaların kuru ağırlık, metal

konsantrasyon alımı grafiğine göre *G.capitatum* 100-200 ppm konsantrasyonlarında Co'tı ve 300-400 ppm konsantrasyonlarında Cu ağır metallerini daha iyi almıştır. *C.tropicalis* mayası ise 100-200 ppm konsantrasyonlarında Pb'nu ve 300-400 ppm konsantrasyonlarında Mn ve Cu ağır metallerini daha iyi almıştır. *R.minuta* ise 100-400 ppm Co ağır metalini alırken en yüksek Co varlığında ise tüm ağır metalleri başarılı bir şekilde içine almıştır. *W.californica* ki bu maya en fazla biyomas oluşturan mayadır tüm konsantrasyonlar için sadece Ni ağır metalini verimli bir şekilde almaktadır. Bu çalışmada gözlenen çarpıcı bir durum ise Co, Mn ve Cu varlığında mayaların gelişmesi stimüle olmakta ancak Pb ve Ni varlığında ise alımın azaldığı gözlenmektedir. Bu durum Co, Mn ve Cu metallerinin iz elementler olması yani tüm organizmalar için düşük düzeyde gerekli olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak bütün mayaların topraktaki ağır metallerin gideriminde etkili bir şekilde kullanılabilirliklerini göstermektedir. Bu çalışma toprak dışında diğer kirletilen alanlar içinde kullanılabilirliklerini vurgulamışlardır.

Salinas vd (2000) tarafından yapılan bu çalışmada Pb ve Cd içeren maden ocağı atıklarından bu iki kirleticinin *Rhodotorula rubra* ile temizlenmesi çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada hem aktif olan hücreler hem de 1 saat 90°C ısıtılıp öldürülen hücreler kullanılmıştır. Öncelikle aktif hücrelere sıcaklık (25 ve 37°C) ve pH'ın etkisine bakılmış en uygun deney ortamı yaratılmak istenmiştir. Buna göre Cd için en iyi alım 37°C de olup pH arttıkça (6.2) alımında arttığı gözlenmiştir. Pb alımı ise 25°C de en iyi alım gözlenmiş ve pH arttıkça alımın azaldığı ve en iyi pH derecesinin yaklaşık 3.5 olduğu bulunmuştur.

Çalışmanın devamında canlı ve ölü *R.rubra* biyokütleri kullanılmıştır. Pb alımında en iyi alımın ölü biyokütle ile yaklaşık 6 mg/g olduğu ve canlı biyokütle ile ancak 4 mg/g alındığı gözlenmiştir. Cd alımında ise Pb'da olduğu gibi ölü biyokütle 12 mg/g alım gözlenirken bu değer canlı biyokütle için 5 mg/g olmuştur. *R.rubra*'yı *S.cerevisiae* ile önceden yapılan çalışmalardaki sonuçlara göre Cd alımlarını karşılaştırsak *S.cerevisiae* canlı biyokütle ile 3 mg/g alım yaparken *R.rubra* 4.05 mg/g alım yapmıştır. Ölü biyokütle için ise *R.rubra* 9.8 mg/g alım yaparken *S.cerevisiae* için bu çalışma yapılmamıştır (Volesky 1990).

2.6. Mayalar İle Yapılmış Biyosorpsiyon Çalışmaları

Wang ve Chen (2006) *Saccharomyces cerevisiae* mayası tarafından ağır metallerin biyosorpsiyonu çalışmasını yapmışlardır. Bugüne kadar atıksulardan metal iyonların giderilmesi çalışmaları ki bu çalışmalara konvansiyonel çalışmalar denilmektedir: kimyasal presipitasyon, iyon değişimi, elektrokimyasal işlemler, membran teknolojileri ve aktif karbon vb gibi çalışmalar olup kimyasal presipitasyon ve elektrokimyasal işlemler özellikle 1-100 mg/L ağır metal konsantrasyonlarında etkili olmamakla beraber, sonuçta büyük miktarlarda yok edilmesi güç olan çamur oluşturmaktadırlar. İyon değişimi, membran teknolojileri ve aktif çamur ise oldukça pahalı olması yüzünden kullanılmamaktadır. Giderim için alternatif süreç biyolojik kökenli doğal materyaller olan bakteri, fungi, maya, alg vb canlıların kullanılmasıdır. Hem çok daha hızlı ve etkili giderim sağlamaktadırlar hem de maliyet açısından oldukça ucuzdur. Yüksek hacim ve düşük konsantrasyonda ağır metal içeren kompleks atıksular için idealdirlere (Volesky 1990, Veglio ve Beolchini 1997).

Son on yılda yapılan biyosorpsiyon çalışmalarına bakıldığında 3 ana özelliğe dikkat çekilmiştir.

- 1) Biyosorbent dediğimiz kullandığımız canlının özelliği, biyokütlesinin rahatlıkla hazırlanması, hızlılık ve çok ucuz olması (Kratochvil ve Volesky 1998).
- 2) Biyosorpsiyon mekanizması: Bu mekanizmaların anlaşılması bize biyosorpsiyonun çok kısıtlı olan zamanda daha iyi anlaşılmasında ve mikroorganizma ve metal birlikteliğini anlamamızda yararlı olacaktır (Kratochvil ve Volesky 1998).
- 3) Geniş uygulanabilirlik kapasitesi: İlk aşamada laboratuvar şartlarında çalışılması ve sonrasında daha geniş alanlara uygulanması (Tsezos 2001).

Biyosorpsiyonun avantajları sıralarsak: Biyokütle tekrar kullanılabilir, toksisiteden etkilenmeksizin ağır metal giderimi yapılabilir, kısa sürede sonuç alınabilir, belki toksik olabilecek ikincil atıkların oluşması engellenebilir (Kapoor ve Viraraghavan 1995).

S.cerevisiae yoğunlukla gıda ve ekmek sanayinde kullanılmaktadır. Hala üzerinde çalışılan eşsiz biyomateryallerden birisidir. Bu mayanın biyomateryal olarak kullanılmasının amacına gelince:

1) Bu mayayı geniş ölçüde ve rahatlıkla kültüre alabilirsiniz. Özel olmayan fermentasyon teknikleri ve ucuz besiyerinde üretebilirsiniz, bununla beraber biyokütle de oldukça fazla elde edebilirsiniz (Kapoor ve Viraraghavan 1995).

2) Mayanın biyokütlesi gıda ve ekmek sanayinden elde edilebilir ve diğer atık biyokütleler ile karşılaştırma yapılabilir. Bu mayayı kullanmak ve çalışmak güvenlidir (Kapoor ve Viraraghavan 1995).

3) Bu maya; biyosorpsiyon mekanizmasının özellikle metal mikroorganizma etkileşimin tanımlanabildiği ideal model organizmadır. Mayaların model olmaları hem genetik manipulasyonlarının daha kolay olması hem de *S.cerevisiae*'nın tüm genomik sekansının çıkarılması nedeniyledir. Böylece *S.cerevisiae* biyoloji için model olup moleküler biyoloji içinde tamamen açıklanmış olması önemlidir (Zhou 2002).

S.cerevisiae ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında bu mayanın birçok formu kullanılmıştır:

Canlı hücre, ölü hücre (Kapoor ve Viraraghavan 1995)

Adapte edilmiş hücre, adapte edilmemiş hücre (Kapoor ve Viraraghavan 1995)

İmmobilize hücre, serbest hücre (Veglio ve Beolchini 1997)

Doğal tip, mutant hücre (Marques vd 1999)

Laboratuvar kültürü, atıksulardan izole edilmiş hücreler (Park vd 2003)

Birçok farklı maya formu ile yapılan bu biyosorpsiyon çalışmaları bize mayanın metal alım mekanizması ile ilgili bilgi vermektedir. Canlı ve ölü hücrelerin biyosorpsiyon için kullanılması hala tartışma konusu yaratmaktadır (Suh ve Kim 2000).

İlk zamanlarda yapılan ağır metal giderim çalışmalarında canlı hücreler kullanılmış olup son zamanlarda yapılan giderim çalışmalarında ise ölü hücrelerin de canlılar kadar hatta canlı hücrelerden daha çok biyosorpsiyon verimine ulaştıkları gözlenmiştir. Canlı hücrelerde besin ihtiyacı, pH ve metal iyonlarına hassasiyet durumu gözlenirken bu durum ölü hücrelerde gözlenmez. Böylece 1980-1990'lardan itibaren çalışılmaya başlanılmıştır (Malik 2004).

S.cerevisiae mayasının hangi metale daha yüksek afinite gösterdiğini aynı ortam şartlarında farklı metallere denenen biyosorpsiyon deneyleri ile öğrenmekteyiz. Buna göre mayanın uranyum, kurşun ve civayı, bakır, nikel ve diğer metallere göre daha yüksek afinite gösterdiği bulunmuştur. Bu maya ile yapılan çalışmalarda *S.cerevisiae*'nin seçici ve rekabetçi olduğu öğrenilmiştir.

S.cerevisiae ile yapılan biyosorpsiyon çalışmasında, en iyi Cr(VI) gideriminin hangi pH'da olduğunun tespit edilmesi amacıyla yer altı suyu pH derecesi 2.0'den 8.2'ye kadar değişen farklı değerlere ayarlanmıştır. Farklı pH'lara sahip yer altı suyu örneklerine 1.5 g ölü mikroorganizma, 50 mM glukoz ve 2 mg/l Cr(VI) ilave edilmiştir. Bütün erlenler 20°C'de 24 saat inkübe edilmiştir. En verimli Cr(VI) gideriminin pH 2.0'de %70 oranında gerçekleşebildiği optimum sıcaklık derecesinin de 25-35°C arasında olduğu gösterilmiştir (Krauter vd 1996).

2.6.1. *Rhodotorula sp.* ile yapılan biyosorpsiyon çalışmaları

Li vd (2007) tarafından yapılan çalışmada *Rhodotorula sp.* Y11 mayasının Cd direncine bakılmıştır. Çalışılan direnç deneylerinde amaç kullanılan kirleticiye karşı mikroorganizmanın direncine bakılıp buradan biyobirikim ya da biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılabilirliğine ulaşılmak istenmektedir. Maden ocağı atıklarından izole edilip YPD besiyerinde geliştirilmiştir. Üstel büyüme fazındaki biyokütle kullanılmıştır. 12 saat sonra bakıldığında içerisinde Cd bulunmayan ortamda protein miktarı 324.3 mg/g iken 100 ppm Cd varlığında 421.7 mg/g olmuştur. 24 saat sonunda ise her iki ortam içinde azalma gözlenmektedir. Toplam karoten miktarında; içerisinde Cd bulunmayan ortamda 103.6 mg/g iken 100 ppm Cd varlığında 121.4 mg/g olmuştur. 24 saat sonunda ise her iki ortam içinde artma gözlenmektedir. Ağır metal varlığı pigment üretimini tetiklemiştir. Protein biosentezinin ise mikroorganizma türüne bağlı olarak değişeceği bilinmektedir. Çalışmanın sonucunda *Rhodotorula sp.* Y11 mayasının Cd direnç mekanizmasının ilerde yapılacak çalışmalar ile aydınlatılarak yeni yüksek giderim verimine sahip biyomateryal olabileceği söylenmektedir.

2.7. Mayalar İle Yapılan Boyar Madde Giderimi Çalışmaları

Atıksulardan sentetik boyaların giderilmesi ile ilgili Esther vd (2004) yaptıkları incelemede kullanılan mayalar ve ağır metaller verilmiştir. Çizelge 2.3.'de kullanılan mayalar ve ağır metaller gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Atıksulardan sentetik boyaların giderilmesinde kullanılan bazı mayalar

| Maya-Ascomycota | Boyar Madde | Referans |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| <i>Candida curvata</i> | Krisodin | Kakuta vd (1998) |
| <i>Candida lipolytica</i> | Reaktif blue 19 | Aksu ve Dönmez (2003) |
| <i>Candida tropicalis</i> | Reaktif black 5 | Dönmez (2002) |
| | Reaktif blue 19 | |
| | Reaktif red | |
| <i>Candida zeylanoides</i> | Asit orange 7 | Ramalho vd (2002) |
| | Azobenzenosülfat | Martins vd (1999) |
| | p-methoazobenzen | Martins vd (1999) |
| <i>Kluyveromyces marxianus</i> | Reaktif blue 19 | Aksu ve Dönmez (2003) |
| | Remazol black B | Meehan vd (2000) |
| | | Bustard vd (1998) |
| | Remazol Red | Bustard vd (1998) |
| | Remazol Turkuaz Blue | Bustard vd (1998) |
| <i>Pichia anomala</i> | Dispers Red 15 | Itoh vd (1996) |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | Reaktif blue 19 | Aksu ve Dönmez (2003) |
| <i>Schizosaccharomyces pombe</i> | Reaktif blue 19 | Aksu ve Dönmez (2003) |

Dönmez (2002) yaptığı çalışmada melaslı besiyerinde geliştirilmiş *Candida tropicalis* mayasının reaktif tekstil boyalarını biyobirikimini çalışmıştır. pH değeri 3.0'e ayarlanmış içerisinde 10-700 ppm aralığında Remazol blue, Reaktif black ve Remazol red konsantrasyonları bulunan ortamların bu maya ile biyobirikim deneyleri yapılmıştır. 157.8 ppm Remazol blue varlığında 1.günde %99.3 giderime ulaşılmışken, 10.5 ppm Reaktif black için ise 1.günde %99 giderim görülmüştür. 20.8 ppm Remazol red için 2.günde %89.4 giderim sağlanmıştır. Boyar maddelerde 700 ppm konsantrasyonlara çıkılmış ve bu konsantrasyonda en iyi giderime 1.5 günde %94.1 giderim ile Remazol blue boyasında ulaşılmıştır. En düşük yüzde ile giderilen boya ise Remazol red'dir. Sonuç olarak; Remazol blue ve Reaktif black boyalarının yüksek konsantrasyonda Reaktif Red'e göre oldukça etkili giderildikleri görülmüştür. Maya, en iyi ve en hızlı giderimi Remazol blue boyar maddesinde gerçekleştirmiştir.

Aksu (2003) yaptığı çalışmada melaslı ortamda geliştirilen *Saccharomyces cerevisia*'nın YPG ve melaslı besiyerlerinde gelişme ve boya biyobirikim özelliklerini araştırmıştır. Azo boyalar zor degrade olan yapıları sayesinde mikroorganizmalarca degrade edilemezler. Eğer besiyerinde karbon ve azot kaynağı varsa mikroorganizmalar bu kaynakları boyaya tercih ederler (Dönmez 2002). Çalışmada Remazol blue, Remazol black B ve Remazol red RB olmak üzere üç diazo reaktif tekstil boyası kullanmıştır. Tüm boya tipleri için optimum pH değeri 3.0 olarak tespit edilmiştir. *Saccharomyces cerevisia*'nın maksimum boya birikimi Remazol blue için 36.5 ppm için %91.8, Remazol black B için 47.4 ppm için %94.9 ve Remazol red RB için 76.1 ppm %76.3 olarak belirlenmiştir. Tüm boyaların daha düşük konsantrasyonlarında biyobirikim oranının yükseldiği gözlenmiştir.

Saccharomyces cerevisia tarafından yapılan biyobirikim değeri, Remazol black B boyasında diğer boyalara nazaran daha yüksek çıkmıştır. Yaklaşık 400 ppm Remazol blue ve Remazol red için mayaların büyümesi inhibe olmuşken bu inhibisyon Remazol black için daha az gözlenmiştir. Remazol Black B' nin Blue ve Red'e göre çok daha etkili ve hızlı giderildiği, mayanın hücre duvarının Remazol black B nin yüksek konsantrasyon gideriminde çok daha etkili olduğu, Remazol Red için ise çok daha toksik olduğu bulunmuştur. Bu deneyle *S.cerevisiae*'nin değişik tip ve yüksek konsantrasyonda boya gideriminde etkili olduğu ve saklama zamanının limit faktör olmadığı durumlarda kullanılabilmesi bulunmuştur.

Yu ve Wen (2005) yaptıkları çalışmada endüstriyel atıksular içinde bulunan sentetik boyar maddelerin renk giderilmesini sağlayan mayaların bulunup, tanımlanmasını çalışmışlardır. YEPD besiyeri kullanılmıştır. Mayaların tanımlanması sıvı kültürdeki renklerine, maya hücrelerinin renklerine bakılarak yapılmıştır. Bu tanımlanmaya göre *Saccharomyces italicus*, *S.cerevisiae*, *S.chevalieri*, *S.uvarum*, *Trulopsis candida*, *S.lipolytica*, *Candida krusei* ve *Pyseudozyma rugulosa* mayaları olduğu bulunmuştur. Çalışmada 24 saatlik periyod boyunca oldukça iyi giderim yapan iki maya üzerinde durulmuştur. *P.rugulosa* ve *C.krusei* için 50 ppm boyar maddeler varlığında %99'lara kadar ulaşan giderim verimleri görülmüştür. Özellikle Reaktif Brilliant Red, Zayıf Asit Brilliant red, Reaktif Black, Asit Mordant Yellow ve Reaktif Brilliant Blue boyarmaddelerinde oldukça yüksek giderim verimlerine ulaşılmıştır.

Arjantin'in ekolojik alanı olan Las Yungas'dan izole edilen mayaların boyar madde giderim aktivitesinin incelemesi çalışmasını yapan Pajot vd (2007) 4 boyar maddeyi kullanmışlardır. Reaktif Blue 221, Reaktif Green, Reaktif Yellow 84 ve Reaktif Red 141. *S.cerevisiae* 249.2 ppm Remazol blue boyar maddesini biyobirim yolu ile %50.6 gidermiştir. Aynı yolla 219.1 ppm Remazol red için %69.8 giderim verimine ulaşmıştır. *Candida tropicalis* 718 ppm Remazol blue için biyobirikim yolu ile %94.1, 718 ppm Reaktif Black için %85.9, 701.8 ppm Reaktif Red ise %44.6 giderim verimine ulaşılmıştır. *Kluyveremyces marxianus* 200 ppm Remazol black B'yi biyosorpsiyon ile %97 gidermiş iken *C.zeylanoides* 65.4 ppm metil orange boyar maddesini dekoloryasyon yolu ile %100 gidermiştir.

Jadhav vd (2007) tarafından yapılan bu çalışmada kısmen arıtılmış atıksulardaki azo boya Metil red'in *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 463 suşu ile renk giderimi araştırılmıştır. 100 ppm Metil red'in oda sıcaklığında 16 dakika içinde tamamen degrade etmiştir. Bu çalışmada 100, 200 ve 300 ppm Metil red ve 0.1, 0.5, 1 ve 2 g biyokütle kullanılmıştır. En düşük konsantrasyonda (100 ppm) en hızlı giderim gözlenirken (17 dk) 300 ppm'de 25 dk hızla gidermiştir. Biyokütledeki farklılık denemesinde ise biyokütle miktarının artması giderim hızında azalmaya sebep olmuştur. Sıcaklığın artırılması hızı doğru orantılı olarak arttırmış ve pH denemelerinde en düşük pH derecesinde (pH 3.0) en hızlı boya degradasyonu gözlenmiştir.

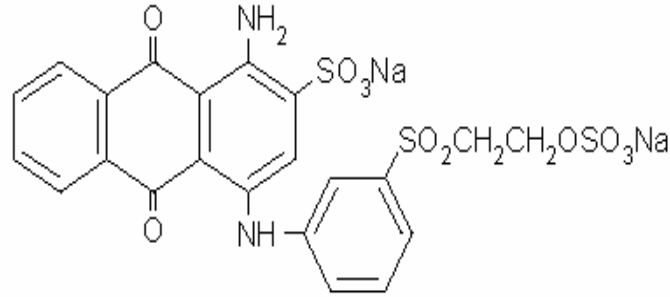
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Mikroorganizma Kaynağı

Çalışmada Sepiciler Deri Fabrikası'ndan (İzmir, Türkiye) alınan atıksu örnekleri mikroorganizma kaynağı olarak kullanılmıştır.

3.2. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) Solüsyonlarının Hazırlanışı

Remazol Blue, Aytemizler tekstil fabrikasından saf ve toz halde alınmıştır. Stok solüsyon, konsantrasyon %2 (w/v) olacak şekilde, boyanın distile su içinde çözülmesi ile elde edilmiştir. Boyanın kimyasal yapısı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Remazol Blue'nun kimyasal yapısı (www.pburch.net/dyeing/remazol.shtml)

Krom(VI) stok solüsyonu, 1g/l olacak şekilde $K_2Cr_2O_7$ kimyasalından gerekli seyreltmelerle elde edilmiştir.

Nikel(II) stok solüsyonu, 1g/l olacak şekilde $NiSO_4$ kimyasalından gerekli seyreltmelerle elde edilmiştir.

3.3. Saf Kültür Eldesi ve Tanınması

Atıksu örnekleri her biri 50 ppm olacak şekilde Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) içeren, pH derecesi 6'ya ayarlanmış melaslı besiyerlerine ekilmiştir. Geliştirilen mikrobiyel kültürden 0.1 ml alınarak, her biri 100 ppm olacak şekilde boya ve ağır metalleri içeren, pH'ı 6'ya ayarlanmış melaslı agara (%1.5 w/v) çizgi ekimler yapılmış ve 30°C'de iki gün inkübe edilmiştir. Melaslı agarda gelişen kültürlerden tek bir koloni elde edilmiş ve bunun saflık kontrolleri tekrar aynı besiyerlerine ekilerek yapılmıştır. Elde edilen saf kültür, yatık agarda buzdolabında +4°C'de muhafaza edilmiş ve her üç ayda bir yenilenmiştir. Sıvı besiyerinde geliştirilen 24 saatlik saf kültür basit boyama ile mikroskopta incelenip morfolojik yapısı ve pigmentasyonu göz önüne alınarak tanılanmıştır.

Melaslı besiyerinin bileşimi (Dönmez 2002).

| Bileşen | Miktar (g/l) |
|----------------|--------------|
| $(NH_4)_2SO_4$ | 1.0 |
| KH_2PO_4 | 0.5 |
| Melas | 80 ml |

3.4. Biyobirikim Çalışmaları

Mikroorganizmanın melaslı besiyeri içerisinde en yüksek Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) birikimini gerçekleştirdiği koşulların belirlenmesi amacıyla farklı pH ve kirletici konsantrasyonları denenmiştir. Optimum pH'ın belirlenmesinden sonra mikroorganizmanın yalnızca Remazol blue içeren ağır metal içermeyen melaslı ortamda, Remazol blue içermeyen, Cr(VI) ve Ni(II) içeren besiyerlerinde ve her iki kirleticiyi de içeren ortamlardaki biyobirikim kapasitesi belirlenmiştir. Biyobirikim çalışmaları, 250 ml'lik erlenlerdeki 100 ml'lik besiyerlerinde 30°C'de ve 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda (New Brunswick Scientific Innova 4230) gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan besiyerlerine iki kez aktifleştirilmiş saf kültürden 1 ml ekim yapılmış ve altı gün inkübasyona bırakılmıştır. Denemeler üç paralel olarak gerçekleştirilmiştir. Melaslı besiyerinde geliştirilen kültürler üç ayda bir yenilenerek 4°C'de muhafaza edilmiştir.

3.4.1. Optimum pH'ın belirlenmesi

Optimum pH'ın belirlenmesi çalışmalarında: Cr(VI) için mikroorganizma 50 ppm Remazol blue ve 50 ppm Cr(VI) içeren pH'ları 4, 5, 6 ve 7'ye ayarlanmış dört farklı ortama ekilmiştir. Aynı şekilde mikroorganizma Ni(II) ile yapılan çalışmalarda: 50 ppm Remazol blue ve 50 ppm Ni(II) içeren pH'ları 4, 5, 6 ve 7'ye ayarlanmış dört farklı melaslı ortama mikroorganizma ekilmiştir.

Bu besiyerlerinin pH dereceleri 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl kullanılarak istenen değerlere ayarlanmıştır. Çalışmada farklı pH'larda hazırlanan besiyerleri, aynı besiyerlerinde aktifleştirilen saf kültürün 1 ml'si ile inoküle edilmiştir.

3.4.2. Boya ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi

Optimum pH'ın belirlenmesinden sonraki aşamada ise çalışmalarda kullanılacak boya madde ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla Remazol blue deneyleri için 50-400 ppm, Cr(VI) deneyleri için 50-150 ppm, Ni(II) için ise 25-100 ppm konsantrasyon aralığında deneyler yapılmıştır. Denemelerde Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II)'nin mikroorganizma biyobirikimindeki tekli etkileri ile boyalı ortamda Cr(VI) ve Ni(II)'in birlikte etkileri araştırılmıştır. Krom(VI) ile yapılan çalışmalarda yaklaşık 50 ppm Remazol blue içeren besiyerlerine artan konsantrasyonda Cr(VI) (48-153 ppm) ilave edilerek, yaklaşık 50 ppm Cr(VI) içeren besiyerlerine ise artan konsantrasyonda Remazol blue (51-482 ppm) ilave edilerek belirlenen optimum pH değerlerinde denemeler yapılmıştır. Nikel(II) için ise yaklaşık 50 ppm Remazol blue içeren besiyerlerine artan konsantrasyonda Ni(II) (23.8-59.08 ppm) ilave edilerek ve yaklaşık 50 ppm Ni(II) içeren besiyerlerine artan konsantrasyonda Remazol blue (67.3-277.8 ppm) ilave edilerek optimum pH değerlerinde denemeler yapılmıştır.

3.5. Biyosorpsiyon Çalışmaları

3.5.1. Biyokütle hazırlanması

Biyokütleyi hazırlamak için mikroorganizma 250 ml'lik erlenlerde 100 ml'lik pH'ı 5 olan melaslı besiyerinde, 30°C'de ve 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda 3 gün boyunca geliştirilmiştir. İnkübasyon süresi sonunda kültürlerin 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmeleriyle elde edilen biyokütle, 121°C'de 15 dakika otoklavlanmış (Alp CL-40M) ve biyosorpsiyon çalışmaları için kullanılacak biyokütle hazır hale getirilmiştir. Biyosorpsiyon deneyleri, bu biyokütleden 100 ml biyosorpsiyon ortamına, başlangıç konsantrasyonu kuru ağırlık 1g/l olacak şekilde ilave edilerek gerçekleştirilmiştir.

3.5.2. Boya ve ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi

Biyosorpsiyon çalışmaları pH'ı 5 ve 6'ya ayarlanmış belirli konsantrasyonda Remazol blue ve ağır metalleri içeren 250 ml'lik erlenlerdeki 100 ml'lik biyosorpsiyon ortamında yapılmıştır. Erlenler 30°C'de 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda belirli aralıklarla örnek alınarak 24 saat inkübe edilmiştir. Örneklerin 5000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmesi sonucu elde edilen süpernatant kullanılarak içindeki Remazol blue ve ağır metal konsantrasyonları, spektrofotometrik olarak ölçülmüş ve biyosorpsiyon aktivitetlerine bakılmıştır. Çalışmalarda biyobirikim çalışmalarında kullanılan optimum pH değerleri kullanılmıştır. Bu değerler Remazol blue deneyleri için pH 5 ve 6, Cr(VI) deneyleri için pH 6 ve Ni(II) deneyleri için pH 5'dir.

Remazol blue'nun tekli etkisinin incelendiği çalışmalarda yaklaşık 50-400 ppm Remazol blue konsantrasyonunda pH 5 ve 6'da denemeler gerçekleştirilmiştir. Krom(VI)'nın tekli etkisinin incelendiği çalışmalarda 49.4-188.3 ppm aralığında Cr(VI) konsantrasyonları kullanılmıştır. Bir diğer çalışmada Cr(VI) ve Remazol blue'nun biyosorpsiyon denemelerinde birlikte etkisine bakılmıştır. Bu çalışmalarda öncelikle Cr(VI) konsantrasyonu sabit tutulup (60.4 ppm) Remazol blue konsantrasyonu arttırılmıştır (57.4-465.8 ppm). Bir diğer çalışmada ise Remazol blue konsantrasyonu sabit tutulup (29.1 ppm) Cr(VI) konsantrasyonu arttırılmıştır (47.5-77.9 ppm).

Nikel(II) ile yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında, ilk olarak Ni(II)'nin (11.01-53.3 ppm) tek başına biyosorpsiyon kapasitesi araştırılmış, daha sonra ise Ni(II) ve Remazol blue'nun birlikte etkisine bakılmıştır. Bu sebeple öncelikle Ni(II) konsantrasyonu sabit tutulup (29.3 ppm) Remazol blue konsantrasyonu arttırılmıştır (43.2-298.1 ppm). Birlikte etki çalışmalarının ikincisinde ise Remazol blue konsantrasyonu sabit tutulup (63.6 ppm) Ni(II) konsantrasyonu arttırılmıştır (11.1-22.71 ppm).

3.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Kimyasal oksijen ihtiyacının belirlenmesi çalışmalarında: 1 ml mikroorganizma inoküle edilmiş pH değeri 6 olan melaslı besiyerinin ve yaklaşık 50 ve 100 ppm Remazol blue içeren melaslı ortamların KOİ değerlerine bakılmıştır. Mikroorganizmalar 250 ml'lik erlendeki 100 ml'lik besiyerlerinde 30°C'de ve 100 rpm karıştırma hızındaki çalkalayıcıda altı gün boyunca geliştirilmiştir. İnokülasyon süresi sonunda (6. gün) örnek alınmış ve KOİ değeri titrimetrik olarak belirlenmiştir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, 100 ml'lik besiyeri içeren 500 ml hacimli 0.1 ml mikroorganizma inoküle edilmiş Velp marka BOİ şişelerinin 5 gün boyunca 20°C'de inkübe edilmesiyle belirlenmiştir. Denemeler pH 6'da sadece melaslı besiyeri ile yaklaşık 50 ppm Cr(VI) içeren besiyerlerine 50 ve 100 ppm Remazol blue ilave edilerek ve Ni(II) denemelerinde ise pH 5'de 25 ppm Ni(II) içeren melaslı besiyerine 50 ve 100 ppm Remazol blue ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sadece 50 ve 100 ppm Remazol blue konsantrasyonlarını içeren melaslı besiyerinin biyokimyasal oksijen ihtiyacına da bakılmıştır.

3.7. Analiz Yöntemleri

3.7.1. Remazol blue analizi

Deneylerde kullanılan Remazol blue analizi için belirli zamanlarda alınan örnekler, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra süpernatantın gerekli seyreltmeler yapılarak 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir.

3.7.2. Cr(VI) analizi

Deney ortamında kullanılan Cr(VI)'nin analizi, sülfürik asit içeren ortamda difenilkarbazid ile verdiği renkli komplekslerden yararlanılarak spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. Reaksiyonda kullanılan difenilkarbazid solüsyonu 0.25 g difenilkarbazidin 100 ml etil alkolde (%95) çözülmesi ile hazırlanmıştır. İnkübasyon sırasında belirli zamanlarda alınan örnekler 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra süpernatant, besiyerinde kalan Cr(VI) analizi için kullanılmıştır. Süpernatanttan 1 ml, %20'lik H₂SO₄'den 3.3 ml ve difenilkarbazid solüsyonundan 1 ml alınarak hazırlanan karışım, distile su ile 100 ml'ye tamamlanmıştır. Ölçümler spektrofotometrik olarak 540 nm'de gerçekleştirilmiştir.

3.7.3. Ni(II) analizi

Deney ortamına ilave edilmiş Ni(II) analizi ise amonyak içeren ortamda Sodyum dietilditiyokarbamatın verdiği renkli komplekslerden yararlanılarak spektrofotometrik yöntemle yapılmıştır. Reaksiyonda kullanılan Sodyum dietilditiyokarbamat solüsyonu 0.1g tartılıp 10 ml distile suda çözülerek hazırlanmıştır. İnkübasyon sırasında belirli zamanlarda alınan örnekler, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlendikten sonra süpernatant, besiyerinde kalan Ni(II) analiz için kullanılmıştır. Süpernatanttan 1 ml alınıp 1.15 M'lık amonyaktan 20 ml ve Sodyum dietilditiyokarbamat solüsyonundan 200 µl alınarak hazırlanan karışım 25 ml'ye tamamlanmıştır. Ölçümler spektrofotometrik olarak 340 nm'de gerçekleştirilmiştir.

3.7.4. KOİ ve BOİ analizi

Kimyasal ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı Standard Methods for the examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1995) isimli kaynaktan yararlanarak yapılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı su örneğinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici ile oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. KOİ su ve atıksuların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. KOİ, örnekteki organik maddenin, yüksek sıcaklıkta (150°C) konsantre sülfirik asit içinde potasyum dikromat ile gümüş katalizör yardımıyla CO₂ ve H₂O'ya oksitlenmesi yoluyla ölçülmüştür. Bu işlem %50 sülfirik asitli ortamda, geri soğutma altında, 2 saat içerisinde gerçekleştirilmiştir.

3.7.5. Optik yoğunluğun belirlenmesi (OD)

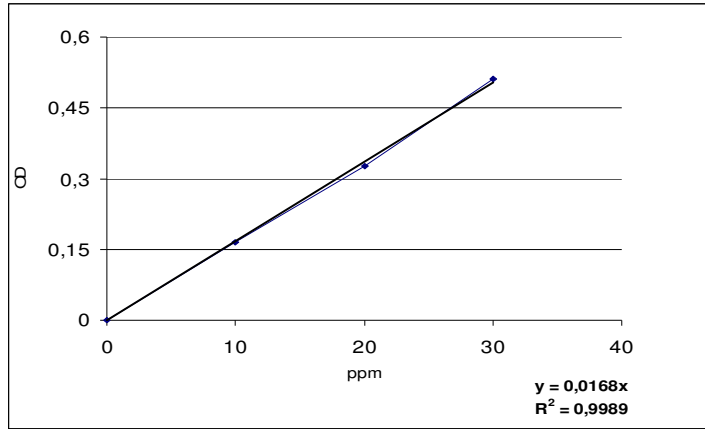
İnkübasyon süresi boyunca erlenlerden belirli zaman aralıklarında alınan örnekler, 5000 rpm'de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Çökelti fizyolojik tuzlu su ile yıkanmış ve gerekli seyreltmeler yapılarak optik yoğunluk, 600 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

3.7.6. Kuru ağırlığın belirlenmesi

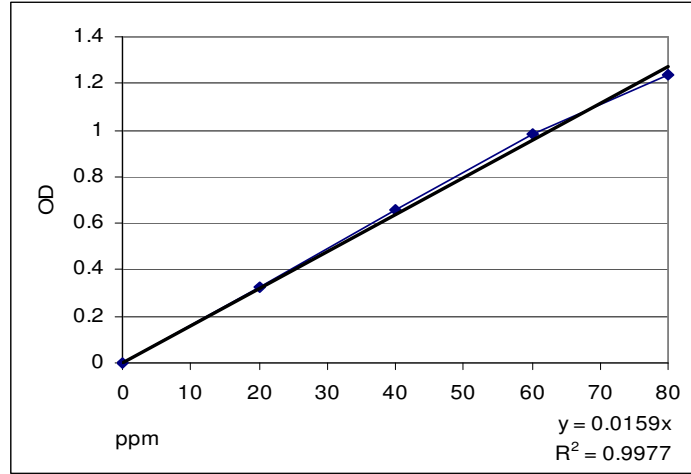
Optik yoğunluğu tespit edilmiş örnekler, boş ağırlığı alınmış alüminyum folyolara aktarılarak etüvde (Nüve FN 400) 100°C'de 12 saat kurutulmuş ve tartılmıştır.

3.7.7. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) standartlarının hazırlanması

Remazol blue standartının hazırlanması amacı ile 10-80 ppm aralığında Remazol blue konsantrasyonu içeren 100 ml'lik sekiz adet balon joje içerisinde melaslı besiyerleri hazırlanmıştır. Standartı bulmak amacı ile hazırlanan bu ortamlar 600 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülüp değer bulunmuştur. Şekil 3.2.'de Remazol blue standardı gösterilmiştir.



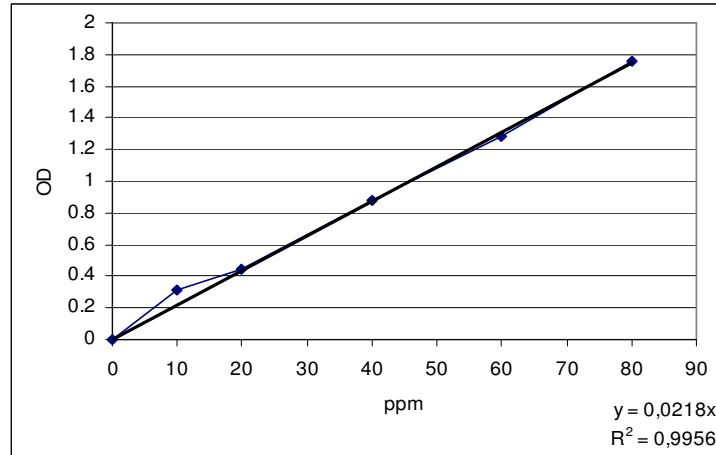
Şekil 3.2. Remazol blue standardı



Şekil 3.3. Cr(VI) standardı

Krom(VI) standartının hazırlanması için ise dört adet 100 ml'lik balon jöje içerisinde 10-40 ppm aralığında Cr(VI) konsantrasyonu bulunan melaslı besiyerleri hazırlanmıştır. Standart, hazırlanan ortamın 540 nm'de spektrofotometrik olarak ölçülmesi ile bulunmuştur. Şekil 3.3.'de Cr(VI) standardı gösterilmiştir.

Nikel(II) standartının bulunması için içerisinde 10-90 ppm konsantrasyon aralığında Ni(II) eklenmiş melaslı besiyeri hazırlanmış ve bu ortam dokuz adet 100 ml'lik balon jöjelere aktarılmıştır. Sonrasında ise bu deney ortamının 340 nm'de spektrofotometrik ölçümü ile Ni(II) standardı bulunmuştur. Şekil 3.4.'de Ni(II) standardı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Ni(II) standardı

3.8. Sonuçların Değerlendirilmesinde Kullanılan Kısaltmalar

C_0 : Başlangıç Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) konsantrasyonu (ppm).

C_{byb} : Mikroorganizmaların ortamdaki uzaklaştırdığı Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) miktarı (ppm)

% Biyobirikim: Biyobirikim verimi.

$$\% \text{Biyobirikim} = C_{byb} / C_0 \times 100$$

q_m : Mikrobiyel kütlenin gramı başına biriktirilen Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) derişimi (mg/g).

$$q_m = C_{byb} / X$$

X: Mikroorganizmaların kuru ağırlığı (g/l).

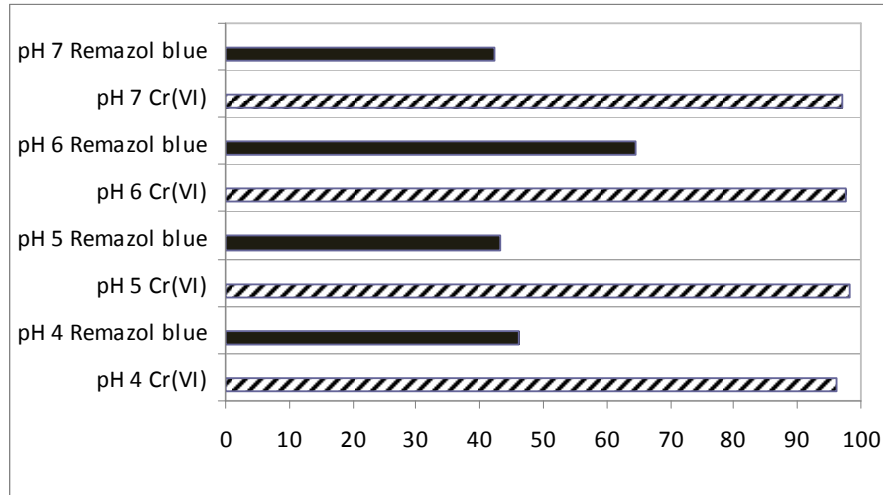
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Atıksuda bulunan ağır metal ve boyar maddeler gibi kirleticiler mikroorganizmalara toksik etki yapmaktadır. Bu nedenlerden dolayı kirleticileri içeren endüstriyel atıksuların biyolojik yolla arıtılmasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu maddelerin zor çözünen kompleks kimyasal yapıları arıtım sürecini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tür atıksuların biyobirikim ve biyosorpsiyon yöntemleri ile arıtımında kullanılmak üzere, mikrobiyel biyokütle eldesi amacıyla planlanan tez çalışmasında, öncelikle boya ve ağır metal içeren atıksuların bulunduğu ortamdan alınan örnekler boya ve ağır metal içeren besiyerlerinde geliştirilerek saf kültürler elde edilmiştir. Yapılan çalışmada maliyeti düşürmek amacıyla şeker fabrikası yan ürünü olan melas içeren besiyeri kullanılmıştır. İzole edilen saf kültürün morfolojik özellikleri incelendiğinde *Rhodotorula* cinsinin özelliklerini gösterdiği saptanmıştır.

4.1. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) Biyobirikimi

4.1.1. Başlangıç pH değerinin Remazol Blue ve Cr(VI) biyobirikimine etkisi

Remazol blue ve Cr(VI) biyobirikiminin en verimli şekilde yapıldığı pH değerini araştırmak amacıyla belirtilen konsantrasyonlarda Remazol blue (pH 4 için 64.6 ppm, pH 5 için 77.1 ppm, pH 6 için 60.1 ppm ve pH 7 için 86.4 ppm) ve Cr(VI) (pH 4 için 45.7 ppm, pH 5 için 55.5 ppm, pH 6 için 68 ppm ve pH 7 için 51.8 ppm) ilave edilen melaslı besiyerlerine aynı ortamlarda üç kez aktiveleştirilen saf kültürden ekim yapılmıştır. Altı günlük inkübasyon süresi sonunda melaslı besiyerindeki kirleticiler için elde edilen biyobirikim verim değerleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



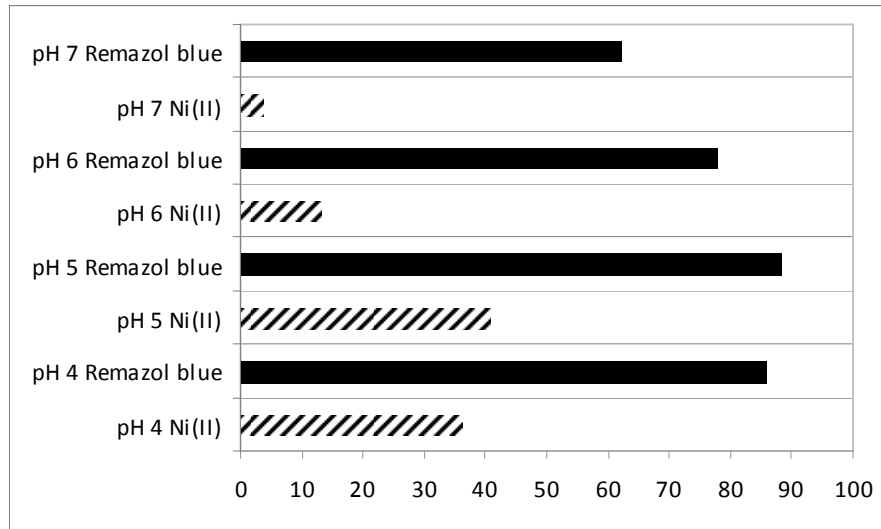
Şekil 4.1. Farklı pH derecelerinin Remazol Blue ve Cr(VI) biyobirikimine etkisi

Rhodotorula sp. ile elde edilen verilere göre pH 4'de Cr(VI) biyobirikimi %96.2 verimle gerçekleşirken, Remazol blue biyobirikimi %46.1 olarak tespit edilmiştir. pH derecesi 5 olduğunda Cr(VI) biyobirikim verimi artarken (%98.2) Remazol blue biyobirikiminde düşüş gözlenmiştir (%43.2). pH derecesi 6'ya ayarlandığında ortamdaki Cr(VI)'nın %97.4'ü uzaklaştırılırken Remazol blue'nun ise biyobirikimi pH 5'e göre artarak %64.5'e ulaşmıştır. En son pH değerinde ise (pH 7) *Rhodotorula* sp. ortamdaki Cr(VI)'nın %97.1'ini uzaklaştırırken Remazol blue'nun ise ancak %42.1'ini biyobiriktirmiştir. Bu çalışmanın sonucunda her iki kirleticinin *Rhodotorula* sp. tarafından en yüksek kapasite ile biyobiriktirildiği pH derecesinin 6.0 olduğu belirlenmiştir. Bundan sonraki Cr(VI) biyobirikimi ile ilgili yapılan çalışmalarımızda ortamın pH değeri 6'ya ayarlanmıştır.

4.1.2. Başlangıç pH değerinin Remazol Blue ve Ni(II) biyobirikimine etkisi

Biyobirikim çalışmalarını doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi olan ortamın pH derecesi bir diğer ağır metal olan Ni(II) içinde çalışılmıştır. Bu çalışmada belirtilen konsantrasyonda Remazol blue (pH 4 için 53.08 ppm, pH 5 için 53.3 ppm, pH 6 için 58.6 ppm ve pH 7 için 55.1 ppm) ve Ni(II) (pH 4 için 40.8 ppm, pH 5 için 38.1 ppm, pH 6 için 47.7 ppm ve pH 7 için 47.9 ppm) içeren melaslı besiyerlerine aynı ortamlarda üç kez aktifleştirilen *Rhodotorula* sp. inoküle edilmiştir. Çalışma Şekil 4.2.'de özetlenmiştir.

Bu çalışmada pH değeri pH 4'ten pH 5'e arttırılırken Remazol blue ve Ni(II) verimi artmış ve Remazol blue için verim pH 4'te %85.9 iken pH 5'te %88.3'e yükselmiştir. Ni(II) verimi ise pH 4'te %36.2 iken pH 5'te %40.9'a yükselmiştir. pH değeri arttırılmaya devam edilmiş ve pH 6 ve pH 7' de her iki kirleticinin veriminin düştüğü gözlenmiştir. Remazol blue için pH 6'da verim % 77.9 iken pH 7'de %62.3'e düşmüştür. Aynı şekilde Ni(II) verimi pH 6'da %13.1 ve pH 7'de ise %3.8'lere kadar gerilemiştir. Sonuç olarak Remazol blue için en iyi verimin %85.3 ile pH 5'de gerçekleştiği ve diğer kirletici Ni(II) için ise en iyi verimin %40.94 ile yine pH 5'de gerçekleştiği çalışmalarla belirlenmiştir. pH deneyinden sonra yapılacak Ni(II) içeren çalışmalarda optimum pH değerinin 5'e ayarlanmasına karar verilmiştir.

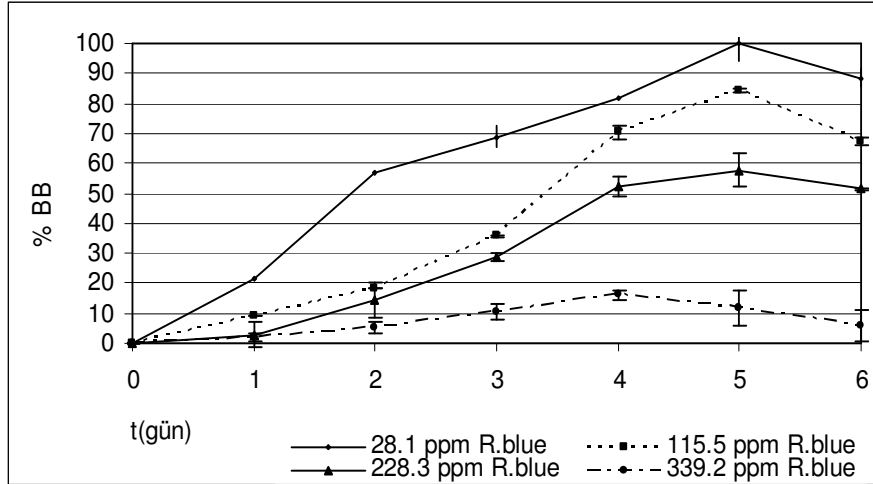


Şekil 4.2. Farklı pH derecelerinin Remazol Blue ve Ni(II) biyobirikimine etkisi

4.1.3. Remazol Blue, Cr(VI) ve Ni(II) konsantrasyonlarının tekli etkisi

Remazol blue kirleticisinin biyobirikime etkisini belirlemek için konsantrasyonu 28.1, 115.5, 228.3 ve 339.2 ppm olan pH 6 dereceli Cr(VI) ve Ni(II) içermeyen melaslı besiyerleri kullanılmıştır. Şekil 4.3.'de artan konsantrasyonda Remazol blue içeren ortamlarda bulunan biyobirikim değerleri verilmiştir.

Başlangıç konsantrasyonu 28.1 ppm için beşinci günde en yüksek giderim verimi olan %99.7 verimine ulaşılmış ve altıncı günde %88.5 olmuştur. Konsantrasyonun 115.5 ppm yapılması ile giderim beşinci günde %84.3 ve altıncı günde %63.5 ve 228.3 ppm için altıncı günde %51.4 değerine ulaşılmıştır. En yüksek konsantrasyon olan 339.2 ppm için giderim %5.78'e kadar azalmıştır. Konsantrasyonun artması ile giderim değerinin azaldığı gözlenmiştir.

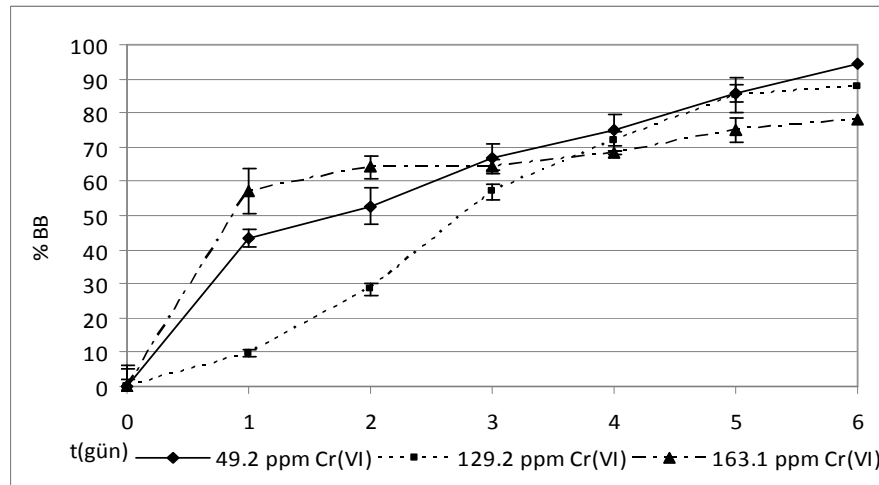


Şekil 4.3. Artan Remazol blue konsantrasyonunun biyobirikime etkisi

Besiyerinde kullanılan farklı Cr(VI) konsantrasyonları, biyobirikim çalışmalarını etkileyen faktörlerin başında yer almaktadır. Remazol blue içermeyen, sadece artan Cr(VI) konsantrasyonlarını içeren (49.2, 129.2 ve 163.1 ppm) pH 6 dereceli melaslı besiyerlerindeki Cr(VI) biyobirikim kapasiteleri Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.

Altı günlük inkübasyon süresi içinde birinci gün için en düşük Cr(VI) konsantrasyonunda (49.2 ppm) %43.2 giderim elde edilmişken altıncı günün sonunda %94.5 ile en iyi giderim verimine ulaşılmıştır. Konsantrasyonun 129.2 ppm yapılması ile altıncı günün sonunda %87.6 giderime ulaşılmıştır. En yüksek Cr(VI) konsantrasyonu (163.1 ppm) varlığında altıncı günün sonunda giderim %78.2 verimle gerçekleştirilmiştir.

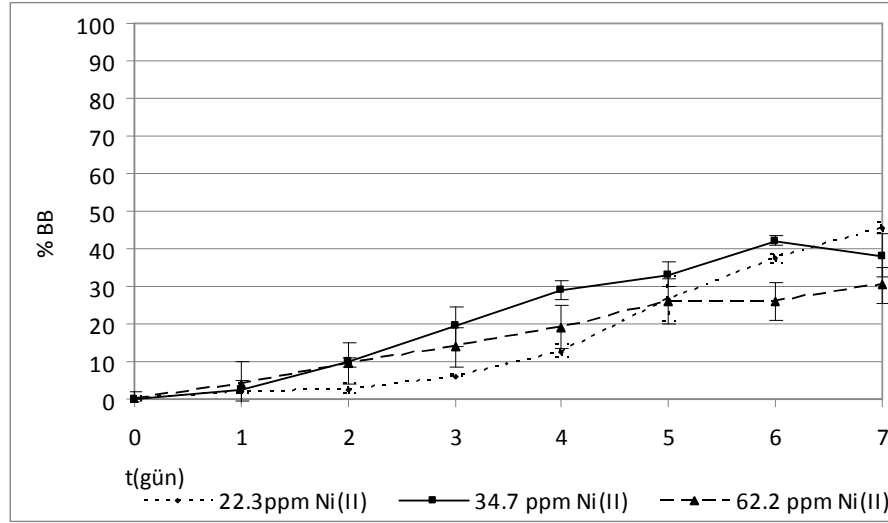
Altı günlük inkübasyon süresi sonucunda en iyi giderimin en düşük konsantrasyonda gerçekleştiği ve konsantrasyonun artırılması ile giderimin de azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle bu besiyeri ile yapılan çalışmalarda, 150 ppm Cr(VI) konsantrasyonundan daha yüksek konsantrasyonlara çıkılmamıştır.



Şekil 4.4. Cr(VI) içeren, Remazol blue içermeyen pH 6 dereceli melaslı besiyerlerinde biyobirikim deneyi

Nikel(II) ile yapılan biyobirikim çalışmalarında ise; Ni(II) için uygun pH derecesi olan pH 5'de 22.3, 34.7 ve 62.2 ppm Ni(II) konsantrasyonlarını içeren melaslı ortamlarda denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.

En iyi Ni(II) giderim verimi %45.5 ile en düşük konsantrasyon olan 22.3 ppm'de gözlenmiştir. Konsantrasyonun artırılması ile verimde bir azalma görülmüş ve 34.7 ppm Ni(II) konsantrasyonunda verim %37.7'ye düşmüştür. En yüksek konsantrasyon olan 62.2 ppm de ise %30.2 verimle giderim gerçekleştirilmiştir. Bu deney ile konsantrasyonun artırılmasına karşılık olarak biyobirikim veriminin azaldığı belirlenmiştir.



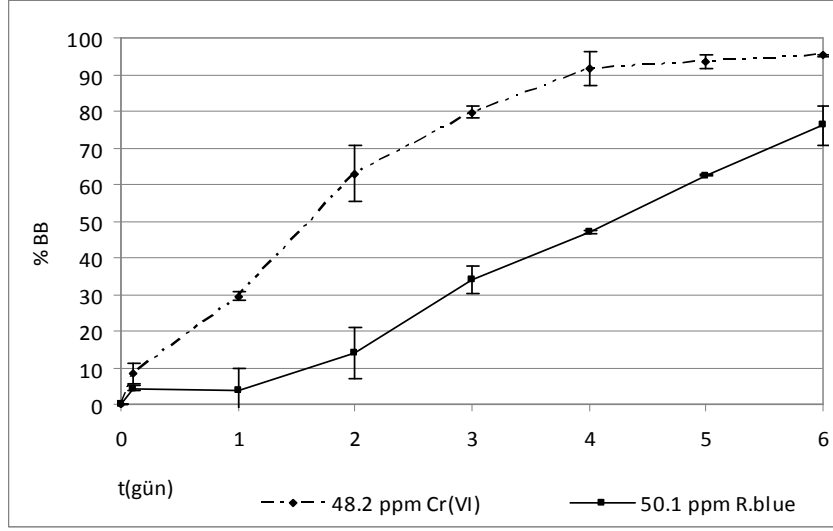
Şekil 4.5. Ni(II) içeren, Remazol blue içermeyen pH 5 dereceli melash besiyerlerinde biyobirikim deneyi

4.1.4. Remazol blue ve Cr(VI) konsantrasyonunun *Rhodotorula sp.*'nin biyobirikimine birlikte etkisi

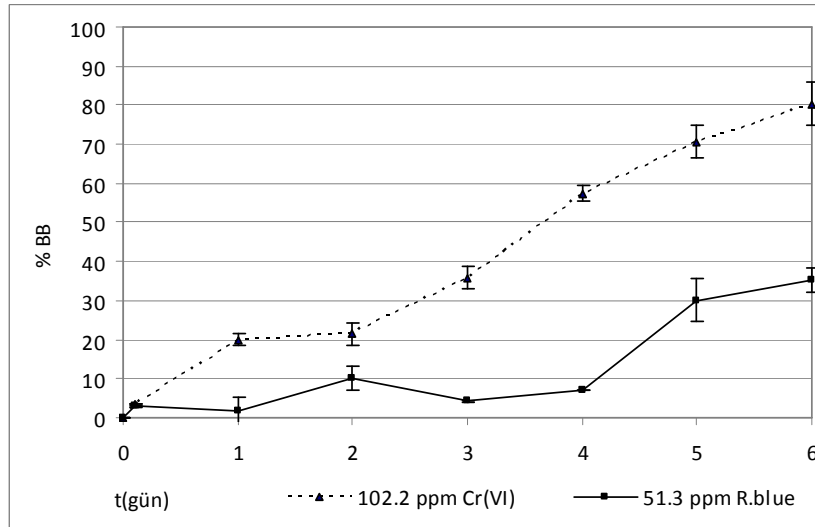
Rhodotorula sp.'nin biyobirikim kapasitesi, hem Remazol blue hem de Cr(VI) içeren melash besiyerlerinde araştırılmıştır. Bu amaçla *Rhodotorula sp.* sabit Remazol blue (~50 ppm) ve artan Cr(VI) konsantrasyonlarının (48.2, 102.2 ve 153.4 ppm) her ikisini de içeren besiyerlerine ekilmiştir. Şekil 4.6., 4.7. ve 4.8.'de Remazol blue ve Cr(VI) konsantrasyonunun biyobirikime etkisi özetlenmiştir.

Çalışmada 50.1 ppm Remazol blue ve en düşük konsantrasyon olan 48.2 ppm Cr(VI) varlığında inkübasyon süresinin ilk günlerinden itibaren deney ortamında hızlı şekilde giderim gözlenmiş olup, altıncı günün sonunda en iyi giderim verimi olan %95.2'e ulaşılmıştır. Bu ortamdaki Remazol blue giderimi ise Cr(VI)'nın uzaklaştırılmasına benzer şekilde inkübasyon süresinin ilk zamanlarından itibaren hızlı bir şekilde giderilerek, altı gün sonunda %76.1 giderim verimine ulaşılmıştır (Şekil 4.6.).

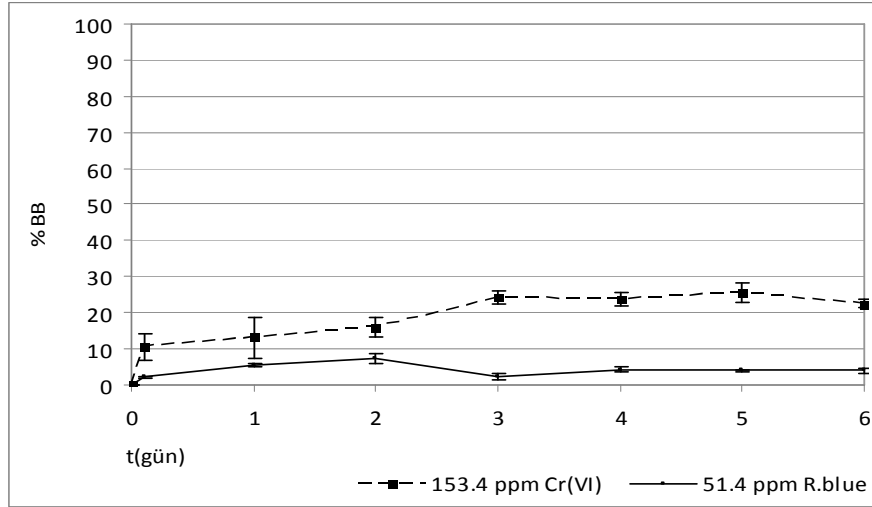
Sabit Remazol blue konsantrasyonu varlığında (51.3 ppm) Cr(VI) konsantrasyonunun 102.2 ppm'e artırılması ile Cr(VI) giderimi yaklaşık 50 ppm Cr(VI) içeren ortama göre biraz azalmıştır. Bu ortamda altı günlük inkübasyon süresi sonunda ortamdaki Cr(VI)'nın %80.3'ü ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Remazol blue'nun ortamdaki uzaklaştırılması da Cr(VI) giderimine paralel olarak azalmış ve %35.08 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7.).



Şekil 4.6. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 48.2 ppm Cr(VI) biyobirikimi



Şekil 4.7. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 102.2 ppm Cr(VI) biyobirikimi

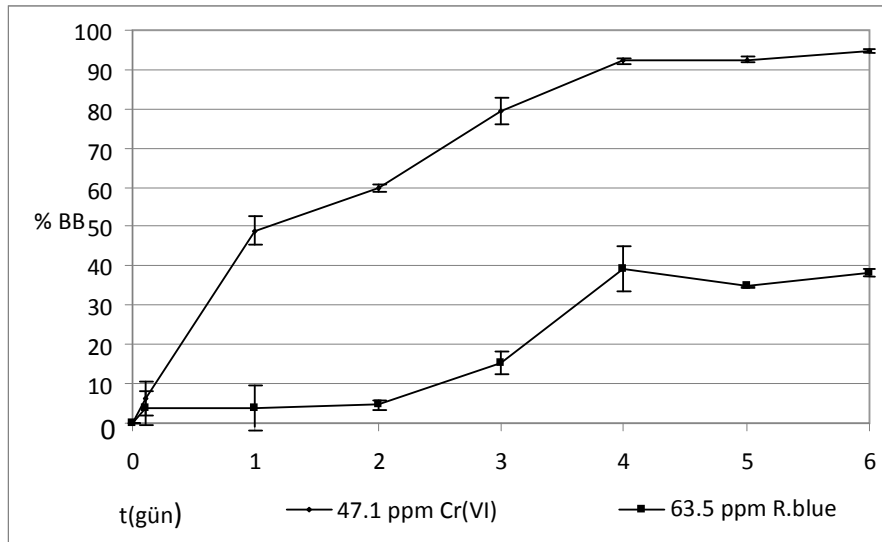


Şekil 4.8. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve 153.4 ppm Cr(VI) biyobirikimi

Denemelerde kullanılan en yüksek Cr(VI) konsantrasyonunda (153.4 ppm) ise, düşük Cr(VI) konsantrasyonlarına göre daha düşük giderim verimi elde edilmiştir. Bu ortamda *Rhodotorula* sp. ortama uygulanan Cr(VI)'nın %22.6'sini giderebilmiştir. Aynı ortamda Remazol blue giderimi ise %3.89'a ulaşmıştır (Şekil 4.8.).

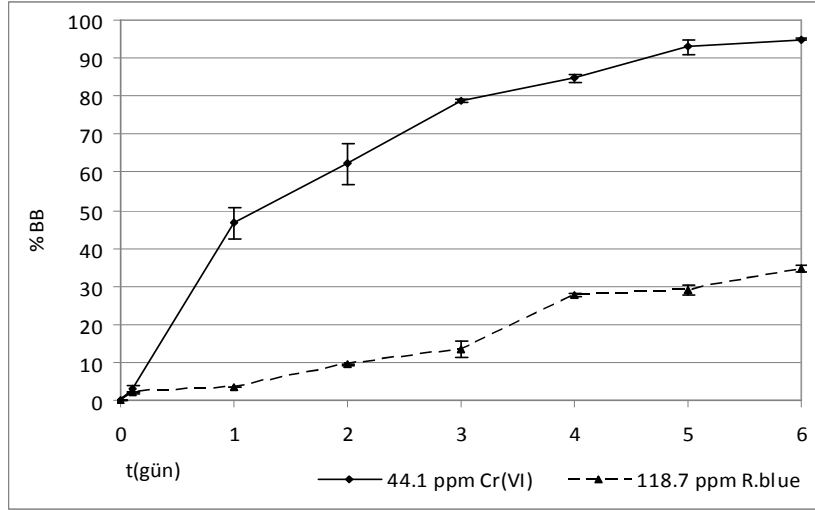
Bir diğer çalışmada ise Cr(VI) konsantrasyonu (~50 ppm) sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu 50-400 ppm aralığında artırılmıştır. Şekil 4.9., 4.10., 4.11. ve 4.12.'de bu çalışma özetlenmiştir.

Sabit Cr(VI) konsantrasyonu (47.1 ppm) varlığında giderim verimi çok hızlı bir şekilde artmış ve dördüncü günde %92.1'e kadar yükselmiş ve altıncı günün sonunda %94.5 gibi çok yüksek bir verim değerine ulaşmıştır. Diğer kirletici olan ise 63.5 ppm Remazol blue konsantrasyonunda ise %38.4 verim elde edilmiştir (Şekil 4.9.).



4.9. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 63.5 ppm R.blue biyobirikimi

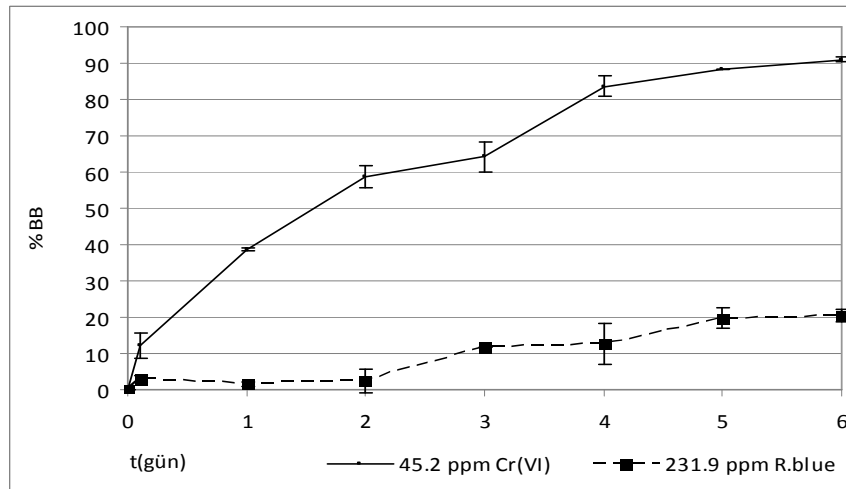
Remazol blue konsantrasyonu 118.7 ppm'e yükseltince verim %34.7'ye ulaşmışken, sabit konsantrasyon Cr(VI) varlığında (44.1 ppm) dördüncü günde %84.6 verim gözlenmiştir. Altı günlük inkübasyon sonunda ise bu giderim %95.01'e ulaşmıştır (Şekil 4.10.).



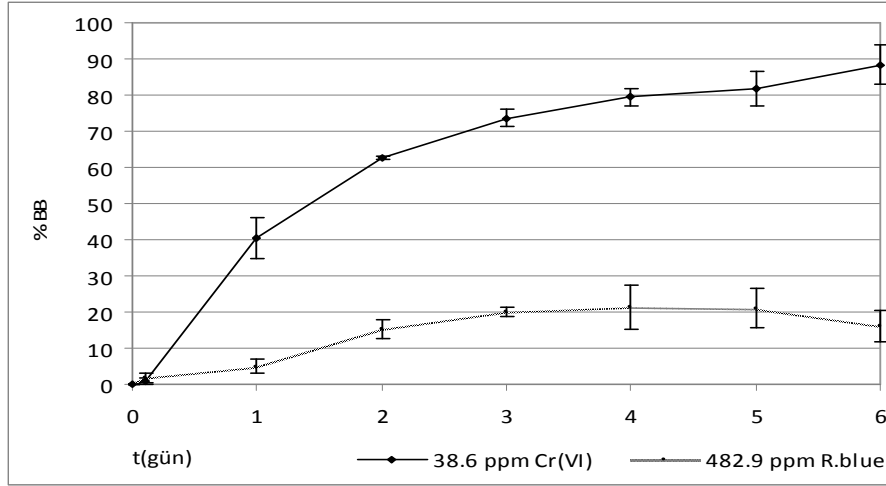
Şekil 4.10. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 118.7 ppm Remazol blue biyobirikimi

Boya konsantrasyonu artırılma devam edilmiş ve 231.9 ppm konsantrasyonda giderim verimi %20.3'e ulaşmıştır. Sabit konsantrasyon Cr(VI) (38.6 ppm) varlığında giderim verimi dördüncü günde %79.5 ve altıncı günün sonunda ise %91.04 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.11.).

Remazol blue konsantrasyonu 482.9 ppm yapıldığında düşük boya konsantrasyonlarına göre giderim değeri azalmıştır. Bu ortamda Remazol blue giderimi %16.1 olarak Cr(VI) biyobirikim değeri ise %88.4 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.12.).



Şekil 4.11. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 231.9 ppm Remazol.blue biyobirikimi



Şekil 4.12. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Cr(VI) ve 482.9 ppm Remazol blue biyobirikimi

4.1.5. Maksimum spesifik Remazol blue ve Cr(VI) alımı

Krom(VI) ve Remazol blue'nun tek ve birlikte buldukları ortamlarda gram hücre başına biriktirilen Cr(VI) ve Remazol blue miktarları (q_m) Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Remazol blue içermeyen melaslı besiyerinde artan Cr(VI) konsantrasyonları için q_m değerleri 49.2 ppm Cr(VI) varlığında 6.13 mg g^{-1} , 129.2 ppm Cr(VI) için 26.36 mg g^{-1} iken 163.1 ppm Cr(VI) için ise 38.67 mg g^{-1} olarak artmıştır. Krom(VI) içermeyen sadece Remazol blue içeren melaslı besiyerinde ise Remazol blue konsantrasyonu arttıkça q_m değerleri de artmış, en yüksek değere 228.3 ppm Remazol blue konsantrasyonunda ulaşmıştır (27.09 mg g^{-1}). En yüksek Remazol blue konsantrasyonunda ise düşük q_m değeri elde edilmiştir.

Yaklaşık 50 ppm Remazol blue içeren ortamlardaki gram mikrobiyal kütle başına biriktirilen Cr(VI) miktarları, tek başına Cr(VI) bulunan ortamlardakinden daha yüksek olmuştur. 153.4 ppm Cr(VI), 51.4 ppm Remazol blue içeren ortamda 49.71 mg g^{-1} olarak elde edilmiştir. Krom(VI) konsantrasyonu ile birlikte yaklaşık 50 ppm'de sabit tutulan Remazol blue q_m değerlerinin ise giderek azaldığı gözlenmiştir. Artan Cr(VI) konsantrasyonu Remazol blue q_m değerini 15.27 mg g^{-1} 'den 2.86 mg g^{-1} 'e kadar azaltmıştır.

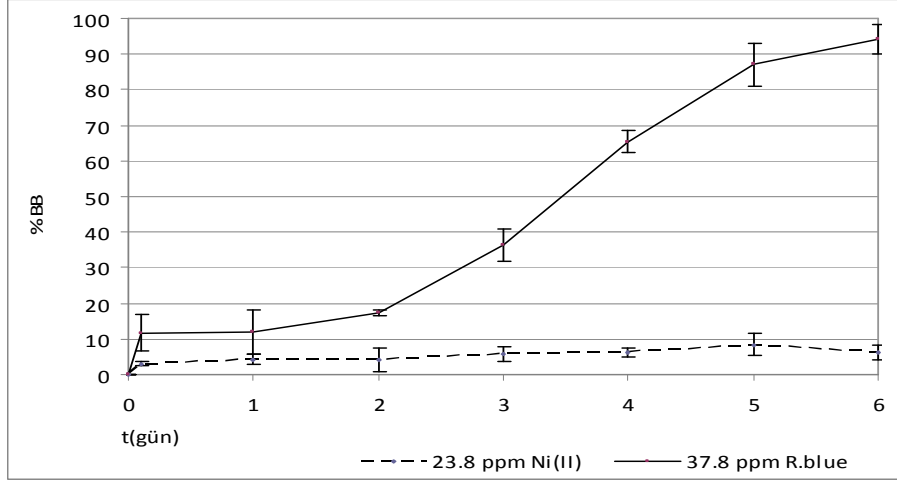
Krom(VI) konsantrasyonu yaklaşık 50 ppm'de sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu yaklaşık 50-400 ppm arasında artırıldığında Cr(VI) için q_m değerlerinin belli bir değerde kaldığı gözlenmiştir. Remazol blue q_m değerleri ise sabit Cr(VI) konsantrasyonunda Remazol blue konsantrasyonu arttıkça yükselmiştir. Bu grup deneylerde en yüksek q_m değeri 38.69 ppm Cr(VI) ve 482.91 ppm Remazol blue içeren ortamda Cr(VI) için 18.01 mg/g ve Remazol blue için 41.14 mg/g olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Cr(VI) ve Remazol blue konsantrasyonlarında elde edilen, gram hücre başına biriktirilen Cr(VI) ve Remazol blue miktarları

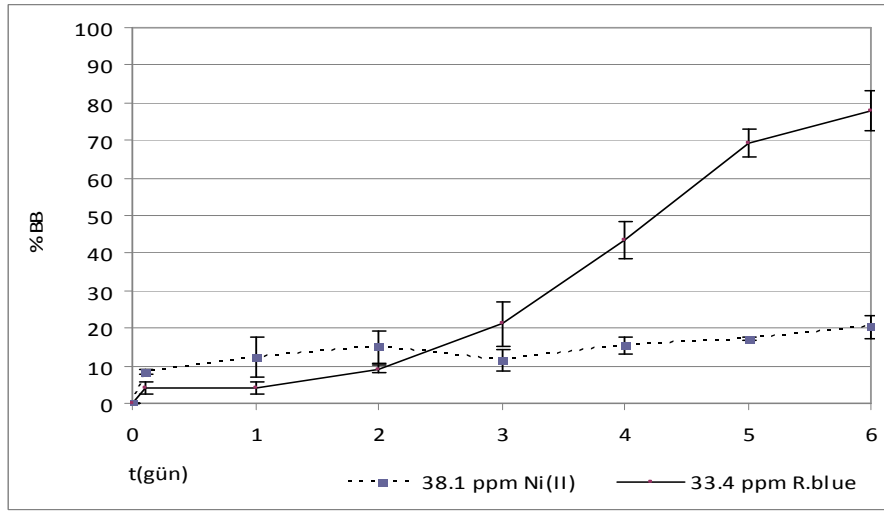
| Cr(VI) | | | Remazol blue | | |
|--------------|------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| C_0 (mg/l) | C_{byb} (mg/l) | q_m (mg/g) | C_0 (mg/l) | C_{byb} (mg/l) | q_m (mg/g) |
| 49.29 | 46.59 | 6.13 | - | - | - |
| 129.2 | 113.34 | 26.36 | - | - | - |
| 163.1 | 127.62 | 38.67 | - | - | - |
| - | - | - | 28.1 | 24.87 | 3.84 |
| - | - | - | 115.5 | 73.42 | 13.61 |
| - | - | - | 228.3 | 117.46 | 27.09 |
| - | - | - | 339.2 | 19.62 | 4.47 |
| 48.2 | 45.9 | 18.36 | 50.1 | 38.17 | 15.27 |
| 102.2 | 82.1 | 40.05 | 51.3 | 18.00 | 8.78 |
| 153.4 | 34.8 | 49.71 | 51.4 | 2.00 | 2.86 |
| 47.14 | 44.58 | 16.51 | 63.54 | 24.43 | 9.05 |
| 44.17 | 41.97 | 17.86 | 118.73 | 41.26 | 17.56 |
| 45.24 | 41.19 | 17.91 | 231.9 | 47.22 | 20.53 |
| 38.69 | 34.23 | 18.01 | 482.91 | 78.16 | 41.14 |

4.1.6. Remazol blue ve Ni(II) konsantrasyonunun *Rhodotorula sp.*'nin biyobirikimine birlikte etkisi

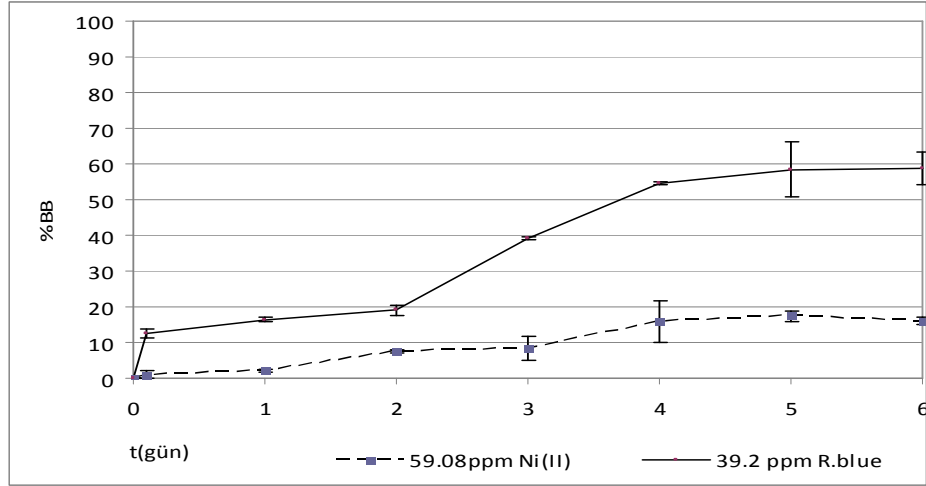
Rhodotorula sp.'nin biyobirikim kapasitesi, hem Remazol blue hem de Ni(II) içeren melaslı besiyerlerinde de araştırılmıştır. Bu amaçla *Rhodotorula sp.* sabit Remazol blue (~50 ppm) ve artan Ni(II) konsantrasyonlarının (25, 50 ve 100 ppm) her ikisini de içeren besiyerlerine ekilmiştir. Çalışma sonuçları Şekil 4.13., 4.14. ve 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 23.8 ppm Ni(II) biyobirikimi



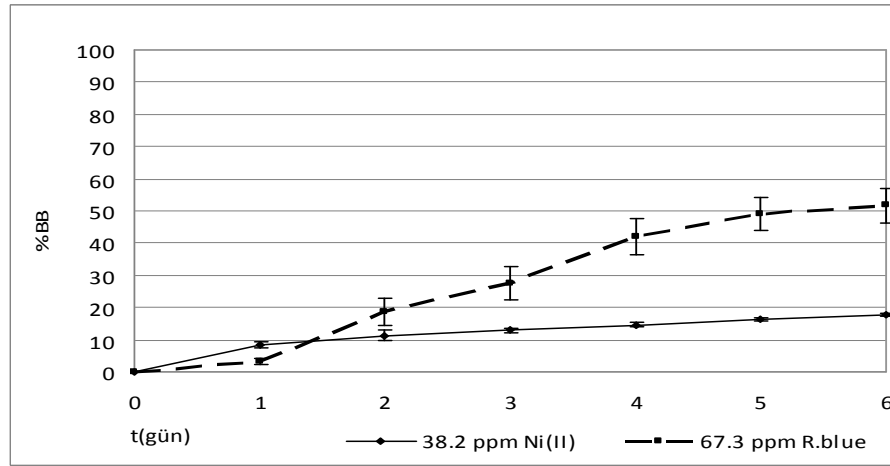
Şekil 4.14. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 38.1 ppm Ni(II) biyobirikimi



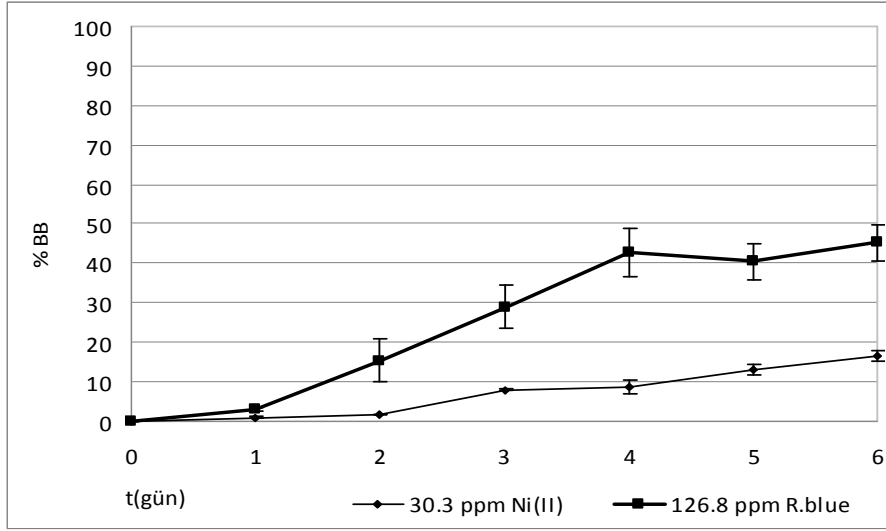
Şekil 4.15. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda Remazol blue ve 59.08 ppm Ni(II) biyobirikimi

Nikel(II) ve Remazol blue'nun birlikte giderimi çalışmalarında, artan Ni(II) konsantrasyonu ve sabit konsantrasyon Remazol blue için, en düşük Ni(II) konsantrasyonu 23.8 ppm de altıncı gün %6.1 giderim değerine ulaşılmıştır. 37.8 ppm için en yüksek Remazol blue giderimine %94.2 ulaşılmıştır (Şekil 4.13). Nikel(II) konsantrasyonu artırılmış ve 38.1 ppm Ni(II) için giderim %20.3 olmuştur. Remazol blue giderimi ise 33.4 ppm için %78.08'e düşmüştür (Şekil 4.14). En yüksek Ni(II) konsantrasyonunda 59.08 ppm %15.9 ve 39.2 ppm Remazol blue varlığında %58.7 olarak bulunmuştur (Şekil 4.15.).

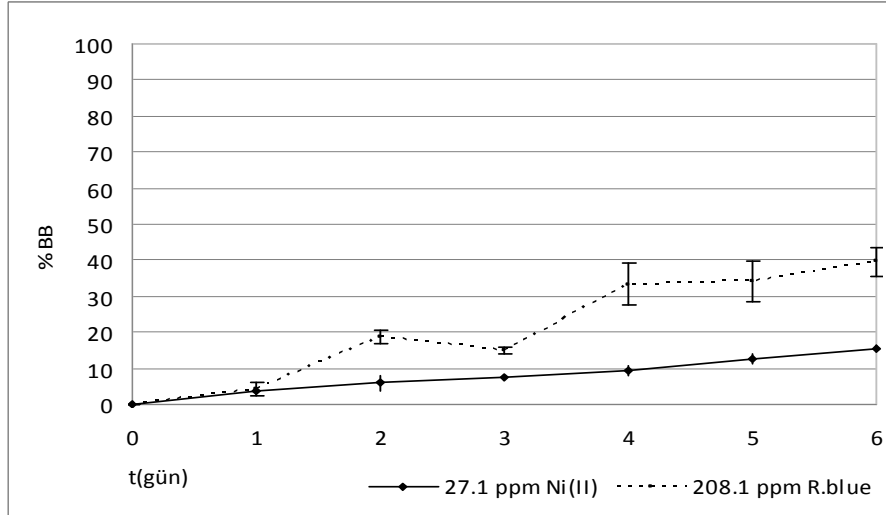
Bir diğer çalışmada ise Ni(II) konsantrasyonu ~50 ppm'de tutulup Remazol blue konsantrasyonu 50-400 ppm aralığında artırılarak deney ortamına eklenmiştir. Çalışma Şekil 4.16., 4.17., 4.18. ve 4.19.'da gösterilmiştir.



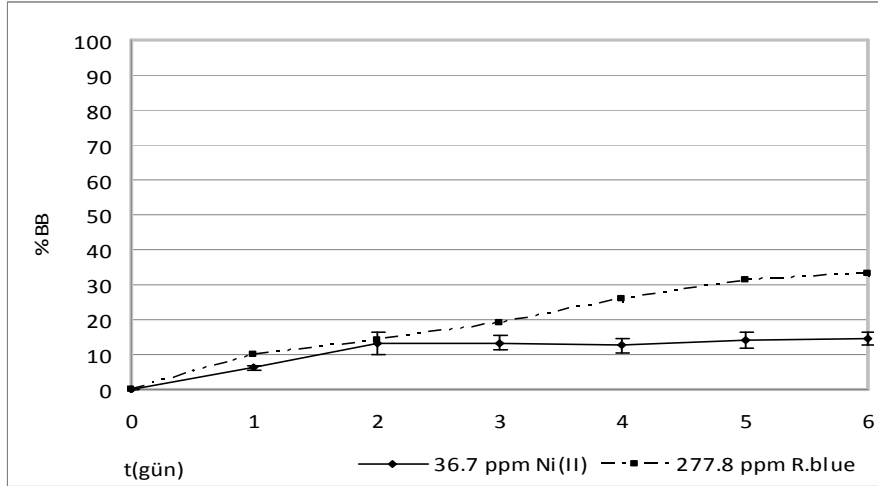
Şekil 4.16. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 67.3 ppm Remazol blue biyobirikimi



Şekil 4.17. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 126.8 ppm Remazol blue biyobirikimi



Şekil 4.18. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 208.1 ppm Remazol blue biyobirikimi



Şekil 4.19. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda Ni(II) ve 277.8 ppm Remazol blue biyobirikimi

Yaklaşık 50 ppm Ni(II) varlığında artan konsantrasyonda Remazol blue eklenen ortamın biyobirikim verim değerine baktığımızda öncelikle Ni(II) kirleticisinin Remazol blue konsantrasyonu artırılırsa da hemen hemen birbiri ile benzer Ni(II) giderim verimine ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Bu değerlendirme için yüzde giderim değerlerine bakarsak 38.2 ppm Ni(II) için %17.7 iken 67.3 ppm Remazol blue için %51.6 bulunmuştur (Şekil 4.16). 30.3 ppm Ni(II) için %16.6, 126.8 ppm Remazol blue için %45.3 olmuştur (Şekil 4.17). Çalışmanın devamında 29.1 ppm Ni(II) için %15.3, 208.1 ppm Remazol blue için %39.6 ve 36.7 ppm Ni(II) için %14.4 ve en yüksek konsantrasyonda 227.8 ppm de giderimin %33.3 olduğu görülmüştür.

4.1.7. Maksimum spesifik Remazol blue ve Ni(II) alımı

Remazol blue ve Ni(II)'nin tekli ve ikili karışımlar halinde bulunduğu ortamlardaki gram hücre başına biriktirilen Ni(II) ve Remazol blue miktarları Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Remazol blue içermeyen melaslı besiyerinde artan Ni(II) konsantrasyonları için q_m değerleri 22.3 ppm Ni(II) varlığında 1.76 mg g^{-1} , 34.71 ppm Ni(II) için 2.31 mg g^{-1} iken 62.29 ppm Ni(II) için ise 3.58 mg g^{-1} olarak giderek artmıştır. Ni(II) içermeyen sadece Remazol blue içeren melaslı besiyerindeki q_m değerleri Remazol blue konsantrasyonu arttığında artmıştır. En yüksek giderim 228.3 ppm için elde edilmiştir (27.09 mg g^{-1}).

Nikel(II) ve Remazol blue'nun tek ve birlikte buldukları ortamlarda gram hücre başına biriktirilen Ni(II) ve Remazol blue miktarları Çizelge 4.2.'de gösterilmiştir. Remazol blue içermeyen melaslı besiyerinde artan Ni(II) konsantrasyonları için 22.3 ppm Ni(II) için 1.76 mg g^{-1} , 34.7 ppm Ni(II) için 2.31 mg g^{-1} ve 62.2 ppm Ni(II) için 3.58 mg g^{-1} yükselmiştir. Krom(VI) içermeyen sadece Remazol blue içeren melaslı besiyerinde ise Remazol blue konsantrasyonu arttıkça q_m değerleri de artmış, en yüksek değere 228.3 ppm Remazol blue konsantrasyonunda ulaşılmıştır (27.09 mg g^{-1}). En yüksek Remazol blue konsantrasyonunda ise düşük q_m değeri elde edilmiştir.

Artan Ni(II) konsantrasyonu deneyinde bulunan q_m değeri tek başına Ni(II) bulunan ortamlardan daha düşük çıkmıştır. En yüksek q_m değerine en yüksek Ni(II) konsantrasyonunda 59.08 ppm Ni(II) ve 39.2 ppm Remazol blue varlığında bulunmuştur.

Nikel(II) konsantrasyonu yaklaşık 50 ppm'de sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu yaklaşık 50-400 ppm arasında artırıldığında Ni(II) için q_m değerlerinin belli bir değere kadar azalıp sonra tekrar arttığı gözlenmiştir. En yüksek q_m değeri 29.1 ppm Ni(II) ve 208.1 ppm Remazol blue içeren ortamda elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Ni(II) ve Remazol blue konsantrasyonlarında elde edilen, gram hücre başına biriktirilen Ni(II) ve Remazol blue miktarları

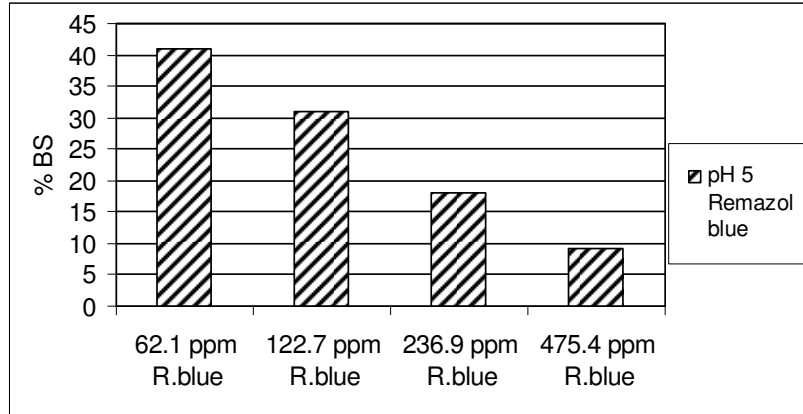
| Ni(II) | | | Remazol blue | | |
|--------------|------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| C_0 (mg/l) | C_{byb} (mg/l) | q_m (mg/g) | C_0 (mg/l) | C_{byb} (mg/l) | q_m (mg/g) |
| 22.3 | 10.15 | 1.76 | - | - | - |
| 34.71 | 13.18 | 2.31 | - | - | - |
| 62.29 | 18.85 | 3.58 | - | - | - |
| - | - | - | 28.1 | 24.87 | 3.84 |
| - | - | - | 115.5 | 73.42 | 13.61 |
| - | - | - | 228.3 | 117.46 | 27.09 |
| - | - | - | 339.2 | 19.62 | 4.47 |
| 23.85 | 1.46 | 0.42 | 37.8 | 35.64 | 10.33 |
| 38.17 | 7.76 | 1.74 | 33.4 | 26.08 | 5.86 |
| 59.08 | 9.45 | 1.99 | 39.2 | 23.04 | 4.85 |
| 38.26 | 6.79 | 1.84 | 67.34 | 34.81 | 9.41 |
| 30.3 | 5.02 | 1.48 | 126.84 | 57.47 | 16.90 |
| 29.17 | 4.47 | 1.98 | 208.1 | 82.43 | 36.63 |
| 36.78 | 5.31 | 1.39 | 277.85 | 92.71 | 24.27 |

4.2. Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) Biyosorpsiyonu

4.2.1. Remazol blue biyosorpsiyonu

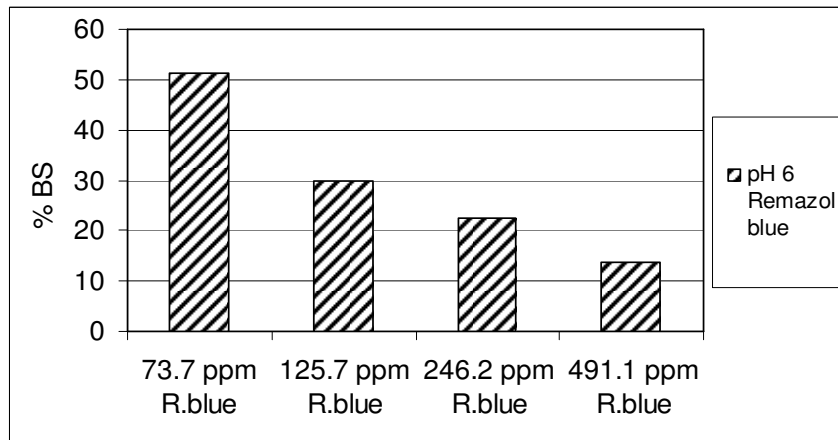
Rhodotorula sp. nin otoklavlanarak öldürülen hücreleri ile yapılan biyosorpsiyon denemelerinde 24 saat boyunca örnek alınmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde sekizinci saatten sonra yapılan ölçümlerde giderimin değişmediği görüldüğünden sekizinci saat sonuçları değerlendirilmiştir. Öncelikle içerisinde 50-400 ppm konsantrasyon aralığında sadece Remazol blue bulunan pH'ı 5 ve 6 olan dereceli ortamlarda çalışılmıştır.

Ortam pH'ı 5 olduğunda denenen en düşük Remazol blue konsantrasyonunda (62.1 ppm) giderim değeri %40.9 olarak bulunmuştur. Bu değer aynı zamanda en yüksek giderim değeridir. Konsantrasyon 122.7 ppm yapıldığında giderim %30.9 olmuş, konsantrasyonda 236.9 ppm'e çıktığında ise %18.1'e düşmüştür. En yüksek Remazol blue konsantrasyonu olan 475.4 ppm'de en düşük giderim (%9.07) gözlenmiştir. Şekil 4.20.'de çalışma sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Artan Remazol blue konsantrasyonu içeren pH 5 dereceli ortamın biyosorpsiyon deneyi

Diğer çalışmada ise pH derecesi değiştirilip pH'ı 6 olan ortamda biyosorpsiyon yapılmıştır. En düşük konsantrasyon olan 77.3 ppm Remazol blue varlığında en yüksek giderim (%51.1) elde edilmiştir. Konsantrasyon artırıldığında (125.7 ppm) giderim %30 olurken 246.2 ppm içeren ortamda %22.3'e gerilemiştir. En yüksek konsantrasyonda (491.1 ppm) en düşük biyosorpsiyon giderim değerine ulaşılmıştır (%13.83). Çalışma 4.21.'de özetlenmiştir.

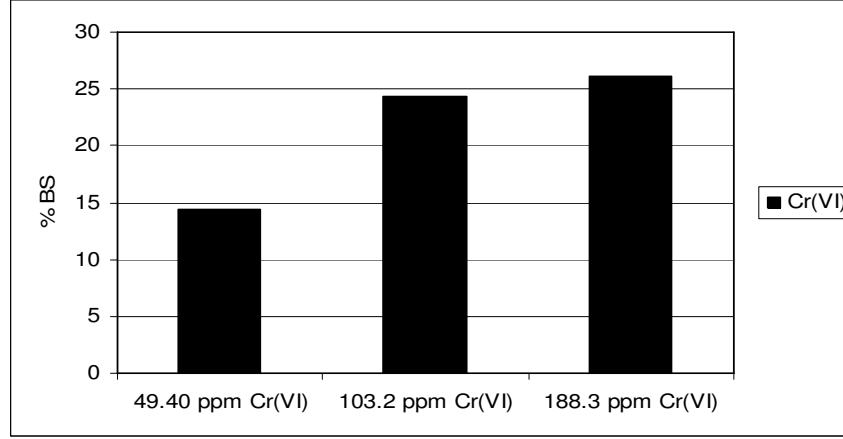


Şekil 4.21. Artan Remazol blue konsantrasyonu içeren pH 6 dereceli ortamın biyosorpsiyon deneyi

4.2.2. Cr(VI) biyosorpsiyonu

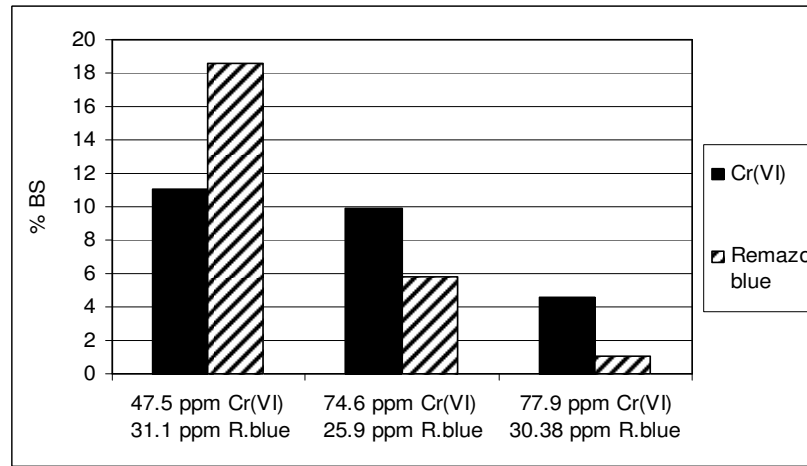
Krom(VI) biyosorpsiyon deneyleri pH'ı 6 olan ortamlarda yapılmıştır. İlk önce içerisinde sadece Cr(VI) bulunan ortamlarda biyosorpsiyon denemeleri yapılmıştır. Çalışma Şekil 4.22.'de gösterilmiştir.

Artan konsantrasyonda Cr(VI) içeren ortamlarda yapılan biyosorpsiyon çalışmalarında en düşük konsantrasyon olan 49.4 ppm Cr(VI) varlığında %14.4 biyosorpsiyon giderim verimine ulaşılmış, konsantrasyon 103.2 ppm Cr(VI)'ya yükseltildiğinde giderim %24.04'e ulaşmıştır. En yüksek konsantrasyon olan 188.3 ppm Cr(VI) varlığında en yüksek değer olan ise %26.04'e ulaşmıştır (Şekil 4.22.).



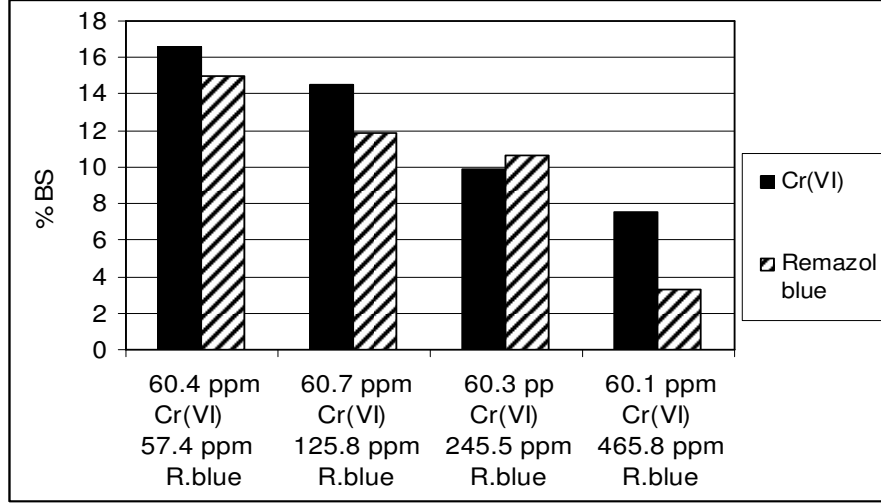
Şekil 4.22. Cr(VI) içeren pH 6 dereceli ortamda biyosorpsiyon deneyi

Bir sonraki çalışmamızda ise Cr(VI) konsantrasyonu artırılırken Remazol blue konsantrasyonu yaklaşık 50 ppm olarak sabit tutulmuştur. 47.5 ppm Cr(VI) konsantrasyonu varlığında biyosorpsiyon giderimi %11.3 iken ortama bulunan 31.1 ppm Remazol blue için ise %18.4 giderime ulaşılmıştır. Her iki kirletici içinde en düşük konsantrasyonlarda en yüksek biyosorpsiyon giderim verimine ulaşılmıştır. Krom(VI) konsantrasyonunun 74.6 ppm'e artırılması ile giderim %9.88 olmuş ve Cr(VI)'nın beraberinde bulunan 25.9 ppm Remazol blue giderimi %5.8'e gerilemiştir. Her iki kirleticinin en yüksek konsantrasyonları varlığında ise (77.9 ppm Cr(VI) ve 30.3 ppm R.blue) ise Cr(VI) için %4.5 ve Remazol blue için %1.01 değerleri bulunmuştur. Bu giderim verimleri her iki kirletici için de en düşük biyosorpsiyon giderim verimleridir. Biyosorpsiyon giderim değerleri Şekil 4.23.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Sabit Remazol blue konsantrasyonunda, Remazol blue ve artan konsantrasyon Cr(VI) biyosorpsiyonu

Her iki kirleticinin de birlikte bulunduğu biyosorpsiyon deneylerinden olan bu çalışmada ise Cr(VI) konsantrasyonu yaklaşık 50 ppm'de sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu 50-400 ppm aralığında denenmiştir. En düşük Remazol blue konsantrasyonunda (57.4 ppm) en yüksek biyosorpsiyon verimine ulaşılmıştır (%14.9). Sabit konsantrasyonda tutulan Cr(VI) da ise (60.4 ppm) en iyi giderim yüzdesine ulaşılmıştır (%16.5). Remazol blue konsantrasyonu artırılmış (125.8 ppm) ve giderim %11.9'a düşmüştür. Bu ortamda bulunan (60.7 ppm) Cr(VI) giderimi de Remazol blue konsantrasyonunda gözlenen düşüşe benzer bir gerileme gözlenmiştir (%14.5). Remazol blue konsantrasyonu artırılmaya devam edilmiş (245.5 ppm) verim %10.6 olmuş ve Cr(VI) konsantrasyonunda da (%9.8) azalma gözlenmiştir. Remazol blue konsantrasyonu en yüksek değerine ulaştığında (465.8 ppm) en düşük giderim verimine (%3.2) ulaşılmıştır. Diğer kirlenici Cr(VI) konsantrasyonunda ise 60.1 ppm'de %7.53 ile en düşük giderim verimi gözlenmiştir. Çalışma Şekil 4.24.'de gösterilmiştir.

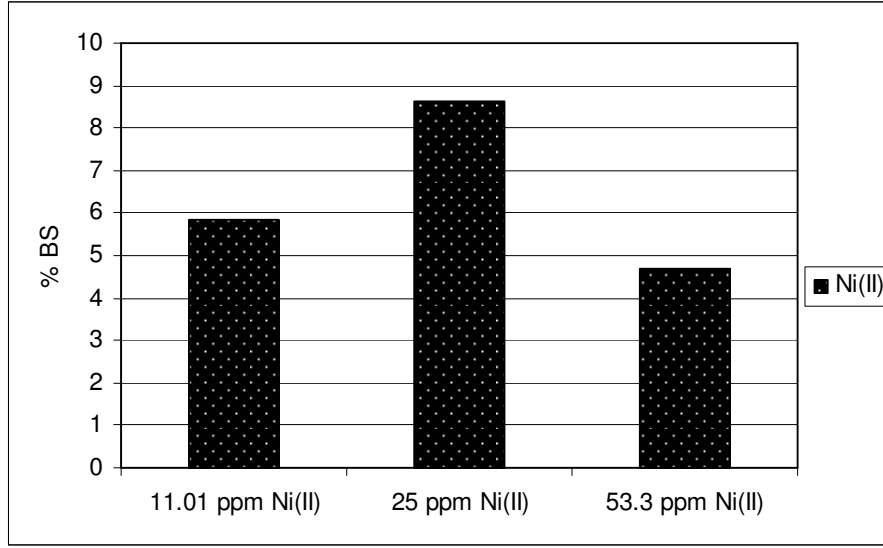


Şekil 4.24. Sabit Cr(VI) konsantrasyonunda, Cr(VI) ve artan konsantrasyon Remazol blue biyosorpsiyonu

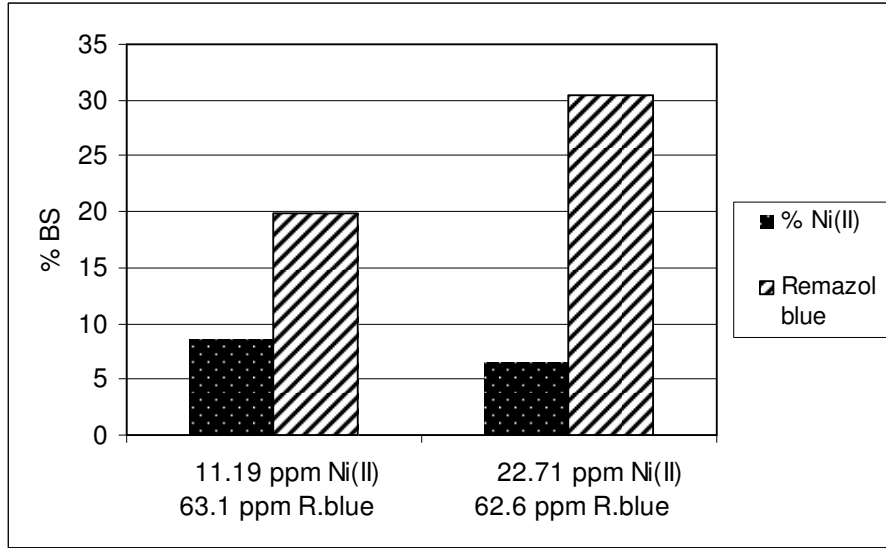
4.2.3. Ni(II) biyosorpsiyonu

Nikel(II) biyosorpsiyon denemelerinde öncelikle 25-100 ppm konsantrasyon aralığı denenmiştir. 11.01 ppm Ni(II) konsantrasyonunda %5.8 biyosorpsiyon giderim verimine ulaşılmış ve konsantrasyon 25 ppm yapıldığında giderim için en yüksek değer olan %8.6'ya ulaştığı gözlenmiştir. Ni(II) konsantrasyonu 53.3 ppm yapıldığında ise giderimin %4.69'a gerilediği bulunmuştur. Çalışma Şekil 4.25.'de gösterilmiştir.

Nikel(II) ve Remazol blue'nun beraber kullanıldığı biyosorpsiyon denemelerine geçildiğinde ise öncelikle Ni(II) konsantrasyonu artırılmış ve Remazol blue konsantrasyonu sabit bırakılmıştır. 11.1 ppm Ni(II) varlığında biyosorpsiyon giderimi %8.6 olup sabit konsantrasyon Remazol blue (63.1 ppm) varlığında %19.9 bulunmuştur. Deneyin devamında Ni(II) konsantrasyonu artırılmış (22.7 ppm) giderim %6.4'e düşerken Remazol blue (62.6 ppm) giderimi artış gösterip %30.52 olmuştur. Şekil 4.26.'da biyosorpsiyon giderim verimleri gösterilmiştir.

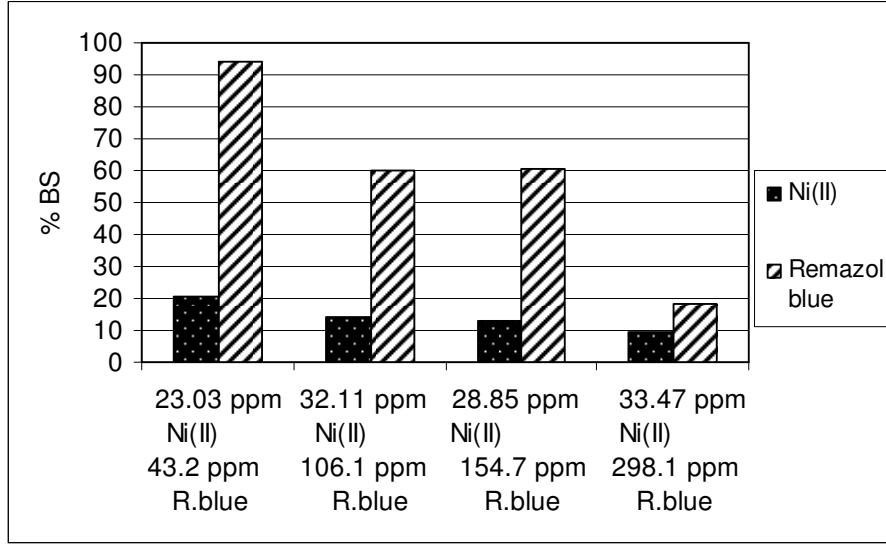


Şekil 4.25. Ni(II) içeren pH 5 dereceli ortamda biyosorpsiyon deneyi



Şekil 4.26. Sabit Remazol blue konantrasyonunda, Remazol blue ve artan konantrasyon Ni(II) biyosorpsiyonu

Bir diğçer çalışmada ise Ni(II) konantrasyonu yaklaşık 50 ppm'de sabit tutulup Remazol blue konantrasyonu arttırılmıştır. 43.2 ppm Remazol blue konantrasyonu ve 23.03 ppm Ni(II) konantrasyonu birlikte çalışıldığında biyosorpsiyon giderimi Ni(II) için %20.7 iken Remazol blue için %94.1 bulunmuştur. Boya konantrasyonun 106.1 ppm yapılması ile giderim %60.1 olmuş beraberindeki 32.1 ppm Ni(II) giderimi ise %14.2'ye gerilemiştir. Remazol blue konantrasyonunun 154.7 ppm yapılması ile giderimde fazla bir değişim olmayıp giderim %60.8'e ulaşılmıştır. Ni(II) konantrasyonu için ise (28.8 ppm) %12.6'ya azalmıştır. En yüksek Remazol blue konantrasyonu için (298.1 ppm) giderim verimi %18.1 olup 33.4 ppm Ni(II) konantrasyonu varlığında ise %9.2'ye gerilemiştir. En yüksek konantrasyon varlığında hem Remazol blue hem de Ni(II) konantrasyonu için en düşük biyosorpsiyon giderimine ulaşılmıştır. Çalışma Şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Sabit Ni(II) konsantrasyonunda, Ni(II) ve artan konsantrasyon Remazol blue biyosorpsiyonu

4.3. Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve Biyokimyasal Oksijen ihtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı su örneğinin asidik ortamda kuvvetli bir oksitleyici ile oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. KOİ su ve atıksuların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı ise aerobik koşullarda mikroorganizmaların sudaki organik maddeleri ayrıştırma için gerekli oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Alıcı ortamlara verildiklerinde, evsel ve endüstriyel atıksuların tüketilecekleri çözünmüş organik madde miktarının belirlenmesi, kirlenme potansiyelinin ve alıcı ortamın özümleme kapasitesinin tayininde kullanılan bir parametredir.

Çizelge 4.3. Farklı besiyerlerinde ölçülen Kimyasal Oksijen İhtiyacı ve giderim değerleri

| | KOİ mg/l |
|---|----------|
| pH 6 Melaslı Besiyeri | 19.200 |
| pH 6 50 ppm Remazol blue içeren melaslı besiyeri | 21.360 |
| 6 gün sonra | 11.000 |
| pH 6 100 ppm Remazol blue içeren melaslı besiyeri | 24.880 |
| 6 gün sonra | 12.350 |

pH'ı 6 olan sadece melaslı besiyerinin ve içerisinde 50 ve 100 ppm Remazol blue içeren melaslı besiyerinin KOİ bakılmış ve değerleri Çizelge 4.3.'de verilmiştir. İçerisinde sadece melas bulunan ortamın KOİ 19.200 iken içerisinde 50 ppm Remazol blue içeren melaslı besiyerinde KOİ değeri 21.360 bulunmuştur. Altı gün sonunda KOİ değeri 11.000 değerine düşmüştür. İçerisinde 100 ppm Remazol blue konsantrasyonu bulunan ortamın KOİ 24.880 olup altı gün sonunda 12.350 değerine düşmüştür.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı için pH'ı 6 olan ve 50 ppm Cr(VI) ve 50 ppm Remazol blue içeren melaslı besiyerinde çalışılmış ve BOİ değeri 7560 mg/l olarak bulunmuştur. Boya konsantrasyonu artırılmış ve 50 ppm Cr(VI) ve 100 ppm Remazol blue içeren ortamın BOİ 9400 mg/l olarak bulunmuştur. Nikel(II) ile yapılan BOİ çalışmalarında BOİ değeri 25 ppm Ni(II) ve 50 ppm Remazol blue varlığında 5510 mg/l olmuşken 25 ppm Ni(II) 100 ppm Remazol blue konsantrasyonunda 7780 mg/l bulunmuştur. BOİ denemelerinde tek başına Remazol blue konsantrasyonunda denenmiş olup 50 ppm Remazol blue için 9580 mg/l ve 100 ppm Remazol blue için ise 9800 mg/l değerleri bulunmuştur.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tekstil, matbaacılık, kağıt ve deri sanayi gibi birçok endüstri atıksuyu çeşitli boyarmaddelerin yanı sıra ağır metal iyonlarını da içermektedir. Ağır metaller suda yaşayan canlılar için oldukça zehirli, birikim yapan kirleticilerdir. Atıksularda çok çeşitli türde ve istenmeyen miktarlarda bulunan boyarmaddeler ise renk kirliliğine neden olan, sudaki yaşamın fotosentetik aktivitesini etkileyen ve biyolojik bozunması çok güç olan kimyasallardır. Atıksularda bulunan bazı boyarmaddelerin yapılarında ağır metal iyonlarını içermeleri ve atıksuya bu ağır metal iyonlarını salmalarından dolayı canlı yaşamı üzerindeki toksik etkileri daha da fazla olmaktadır (Bruins vd 2000, Robinson vd 2001). Bu sebeple yüksek miktarlarda boyarmadde ve ağır metal içeren endüstriyel atıksuların dış ortamlara verilmeden önce etkili ve ucuz yollarla arıtılması gerekmektedir. Atıksuların arıtılması için kullanılan klasik yöntemler; yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksekliği, arıtma sonrasında yeni kirleticilerin oluşması gibi nedenlerden dolayı pratik ve ekonomik olmaktan uzaktır. Son yıllarda ağır metal ve boyarmadde kirleticilerini içeren atıksularda üreyebilen ve bu kirleticilere karşı direnci fazla olan mikroorganizmaların, boyarmadde ve metal iyonlarını hücre yapısına alarak biriktirme (biyobirikim) yeteneğinden yararlanarak ağır metal ve boyarmadde kirliliğinin gideriminde kullanılmasıyla ilgili çalışmalar, aktif gelişen hücrelerin kullanılmadığı biyosorpsiyon çalışmaları ile birlikte önem kazanmaya başlamıştır.

5.1. Biyobirikim

Kullanılan besiyerinin bileşimi, yapılan çalışmalarda mikroorganizma sayısı ve tipini doğrudan etkilediğinden önemli bir etken oluşturmaktadır. Mayalarla ağır metal veya boyar madde giderim çalışmalarında genellikle YPD (Dönmez ve Aksu 2000) ve Czapek-dox (Falih 1998) besiyerleri kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılan besiyerinin temelini şeker fabrikası yan ürünü olan melas oluşturmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda melasın mikrobiyel gelişmeyi etkili bir şekilde arttırdığı belirtilmiştir (Aksu ve Dönmez 2004). Bu özelliğinin yanı sıra, yüksek miktarda sükröz içermesi, kolay bulunup, rahat depo edilmesi ve maliyetinin düşük olması sebebiyle karbon kaynağı olarak melas içeren besiyerinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Mayaların endüstrinin pek çok alanında kullanıldığı bilinmektedir. Literatürde atıksulardan boyarmadde ve ağır metal gideriminde bakteri ve fungusların (Kaptan vd 2000, Sumathi ve Manju 2002, Dursun vd 2003) kullanılmasıyla ilgili çalışmalara rastlanmasına karşılık, mayaların bu tür atıksularda kullanılmasıyla ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır. Oldukça kısa sürede ve ucuz besiyeri ortamında yüksek biyokütle oluşturan mayaların, ağır metal ve boyarmadde içeren atıksuların arıtımında kullanılabileceği bilinmektedir. Bu sebeple tez çalışmasında *Rhodotorula* sp. mayası kullanılmıştır.

Biyobirikim çalışmalarını etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi hidrojen iyonu konsantrasyonu olan pH'dır. pH; organizmaların aktivitelerini ve büyümelerini önemli ölçüde etkiler. Bu özellik hidrojen iyonunun enzim faaliyetine etkisi ile açıklanabilmektedir. Her organizmanın maksimum aktivite gösterdiği bir optimum pH aralığı vardır. Yapılan ağır metal biyobirikim çalışmalarında her metalin farklı pH derecelerinde mikroorganizmalara seçici olarak bağlandıkları gösterilmiştir. Salinas vd (2000) tarafından yapılan çalışmada hem aktif olan hücreler hem de ısıtılıp öldürülen hücreler kullanılmıştır. Pb(II) ve Cd(II) içeren atıksulardan bu iki kirleticinin *Rhodotorula rubra* mayası ile gideriminin pH 3.5'de en etkili şekilde gerçekleştirildiği ve pH arttıkça giderim veriminin azaldığı gösterilmiştir.

Tez çalışmasında *Rhodotorula* sp.'nin biyobirikim verimleri dört farklı pH değerinde (4, 5, 6 ve 7) araştırılmıştır. Krom(VI) ile yapılan pH çalışmasında en iyi giderim pH 6 derecesinde olup, bir diğer kirletici Ni(II) için ise en yüksek giderim verimine pH 5 olan ortamda ulaşılmıştır. Çalışmaların devamında ortamın pH dereceleri optimum pH değerlerine göre ayarlanmıştır.

Çalışmalarda Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) konsantrasyonlarının tekli etkisi ve ağır metallerle Remazol blue'nun birlikte etkisine bakılmıştır. En iyi Remazol blue verimine pH'ı 6 olan ortamda 28.1 ppm Remazol blue varlığında 5. gün %99.7 değerine ulaşılmıştır.

Artan boya konsantrasyonlarında biyokütle miktarında artış görülmemesi ve besiyerinde kalan biyokütlenin siyah renkte görülmesi, *Rhodotorula* sp.'nin Remazol blue boyasını karbon kaynağı olarak kullanmadığını, sadece hücrelerinde biriktirdiğini göstermektedir.

Remazol blue ile yapılan çalışmalarda ise; Aksu (2003) tarafından *Candida* sp. mayasının Remazol blue biyobirikimi çalışmasında pH 3.0 olan ortamda 36.5 ppm için %91.8 giderim verimine ulaşılmıştır. Dönmez

(2002) tarafından yapılan *Candida tropicalis* mayası ile 157.8 ppm Remazol blue biyobirikim deneyinde 1. günde %99.3 giderime ulaşılmıştır.

Krom(VI) tekli biyobirikim çalışmalarında, 49.2 ppm Cr(VI) konsantrasyonunda yüksek bir giderim verimi olan %94.5 değeri bulunmuştur. Krom(VI) ve Remazol blue içeren deney ortamında ise Cr(VI)'nin tekli biyobirikim giderimden daha yüksek bir değere ulaşılmıştır. Denemelerde 50.1 ppm Remazol blue varlığında 48.2 ppm Cr(VI) %95.2 giderimle biyobiriktirilmiştir. Sabit Cr(VI) varlığında artan Remazol blue konsantrasyonu (63.5-482.9 ppm) denemelerinde ise Cr(VI) giderimi Remazol blue konsantrasyonun artmasından etkilenmeyip %95.01-88.4 arasında giderim verimi gözlenmiştir. Artan Cr(VI) konsantrasyonu (48.2-153.4 ppm) yaklaşık 50 ppm sabit Remazol blue konsantrasyonunda Cr(VI) giderimi %95.2 değerinden konsantrasyonun artması ile %51.4 giderime ulaşmışken, sabit Remazol blue giderim verimi %76.1'den %3.89'a azalmıştır. Remazol blue konsantrasyonu artan Cr(VI) konsantrasyonundan etkilenmiştir.

Rhodotorula cinsine ait türlerde bugüne kadar Cr(VI) ya da reaktif boyar madde biyobirikim çalışması yapılmamıştır. Tez çalışması sonucunda atıklardan izole edilen *Rhodotorula* sp'nin hem Cr(VI) hem de reaktif boyar madde gideriminde kullanım potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir.

Nikel(II) ile yapılan biyobirikim çalışmalarında boya içermeyen ortamlarda artan Ni(II) konsantrasyonunda (22.3-62.2 ppm) en yüksek giderim verimi %45.5 ile en düşük Ni(II) konsantrasyonunda gözlenmiştir. Nikel(II) ve Remazol blue'nun biyobiriktirmeye birlikte etkisi denemelerinde ise Ni(II) konsantrasyonu sabit tutulup (38.2 ppm) Remazol blue konsantrasyonu (67.3-277.8 ppm) artırılmıştır. Bu çalışma sonunda Ni(II) giderimi %17.7 olarak, belirlenmiştir. Sonuçlar Ni(II)'in tekli etkisi ile karşılaştırıldığında ise giderim veriminde azalma gözlenmiştir. Nikel(II) giderimi artan Remazol blue konsantrasyonundan etkilenmiştir. Remazol blue konsantrasyonu sabit tutulup Ni(II) konsantrasyonu artırıldığında ise giderim veriminin değişmediği gözlenmiştir. Artan Ni(II) konsantrasyonu sabit konsantrasyon Remazol blue giderim veriminde azalmaya sebep olmuş sonuçta Remazol blue giderim verimini etkilemiştir.

Rhodotorula cinsine ait türlerde Ni(II) biyobirikim çalışması Falih (1998) tarafından yapılmıştır. Öncelikle *Rhodotorula minuta* mayası ile birlikte farklı üç mayanın Ni(II) varlığında gelişme durumuna bakılmış ve mayalar içinde en az gelişme gösteren maya *R.minuta* olmuştur. Maya gelişme gösterip biyokütlesi arttırdıkça yüksek konsantrasyonlarda çok daha iyi giderim gerçekleştiği görülmüştür. Bu çalışmada biyobirikim değerleri verilmemiştir.

Yapılan diğer çalışmalarda ise; Dönmez ve Aksu (2000) tarafından yapılan çalışmada adapte olmuş *Candida* sp. 66.7 mg dm⁻³ Ni(II) için %71.1 giderime ulaşmıştır.

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda *Rhodotorula* cinsine ait türlerle Ni(II) ve reaktif boyar maddenin birlikte etkisi araştırılmamıştır.

5.2. Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon çalışmalarında öncelikle Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II)'nin biyosorpsiyona tekli etkisi çalışılmıştır. Denemelerde pH'ı 5 olan ortamda en düşük Remazol blue varlığında (62.1 ppm) biyosorpsiyon giderim değeri %40.9 olarak bulunmuştur. Besiyeri pH'ının 6 olduğu ortamda ise 77.3 ppm Remazol blue varlığında biyosorpsiyon giderimi %51.1 olarak gözlenmiştir. Her iki pH derecesinde de konsantrasyon arttıkça biyosorpsiyon giderim veriminde düşüş gözlenmiştir.

Krom(VI) biyosorpsiyon deneylerinde ise pH 6'ı olan ortamda artan Cr(VI) konsantrasyonunda en iyi giderim verimine (%26.04) en yüksek konsantrasyon olan 188.3 ppm'de ulaşılmıştır.

Rhodotorula cinsine ait türlerle Cr(VI) biyosorpsiyon çalışmalarına ait literatürde herhangi bir bilgi bulunamamıştır. Farklı maya türleri ile yapılan biyosorpsiyon denemelerinde farklı pH'lara sahip yer altı suyu örneklerine 1.5 g ölü *S.cerevisiae*, 50 mM glukoz ve 2 mg/l Cr(VI) ilave edilmiştir. En yüksek Cr(VI) gideriminin pH 2.0'de %70 oranında gerçekleşebildiği optimum sıcaklık derecesinin de 25-35°C arasında olduğu gösterilmiştir.

Rhodotorula sp. ile yapılan Cr(VI) ve Remazol blue biyosorpsiyon çalışmalarında artan Cr(VI), sabit boya konsantrasyonlarında en yüksek biyosorpsiyon giderim değerinin 47.5 ppm Cr(VI) konsantrasyonu için %11.3, 31.1 ppm Remazol blue konsantrasyonu için giderim ise %18.4 olduğu belirlenmiştir. Her iki kirlenici birlikte bulduklarında tekli etkilerinden daha düşük bir giderim göstermişlerdir. Biyosorpsiyonda boya giderimi artan

Cr(VI) konsantrasyonundan etkilenmiştir. Krom(VI) konsantrasyonu sabit tutup Remazol blue konsantrasyonu arttırıldığında en düşük Remazol blue konsantrasyonunda (57.4 ppm) en yüksek biyosorpsiyon verimine ulaşılmıştır (%14.9). Sabit konsantrasyonda tutulan Cr(VI) da ise (60.4 ppm) en iyi giderim yüzdesine ulaşılmıştır (%16.5).

Literatürde *Rhodotorula* cinsine ait türlerin Cr(VI) ve Remazol blue biyosorpsiyonu ile ilgili bir çalışma bulunamamıştır.

Nikel(II) ile ilgili biyosorpsiyon çalışmalarında 25 ppm Ni(II) için %8.6 giderim verimine ulaşılmıştır. Ni(II) ve Remazol blue'nun birlikte etkisine bakıldığında artan Ni(II) konsantrasyonu ve sabit Remazol blue konsantrasyonunda 11.1 ppm Ni(II) için %8.6, Remazol blue (63.1 ppm) için ise giderim artarak %19.9 olarak bulunmuştur. Artan Ni(II) konsantrasyonunu ile Remazol blue biyosorpsiyon giderim değeri artmış ve 62.6 ppm için %30.5 giderim olmuştur. Nikel(II) konsantrasyonu sabit tutulup boya konsantrasyonu arttırıldığında ise 23.03 ppm Ni(II) için biyosorpsiyon giderim değeri % 20.7 iken Remazol blue (43.2 ppm) için en yüksek giderim değeri olan %94.1'e ulaşmıştır. Remazol blue konsantrasyonunun artması ile Ni(II) giderim veriminde fazla bir değişme olmazken Remazol blue konsantrasyonunun artması ile boya için giderim verimi giderek azalmıştır (298.1 ppm için %18.1).

Literatürde *Rhodotorula* cinsine ait türlerle Remazol blue ve Ni(II) biyosorpsiyonu ile ilgili bir çalışma bulunamamıştır.

Biyobirikim ve biyosorpsiyon çalışmalarının hangisinin daha avantajlı olacağını anlaşılması açısından her iki çalışmanın karşılaştırılması Çizelge 5.1., 5.2. ve 5.3.'de gösterilmiştir.

(Çizelge 5.1.) Remazol blue için en yüksek maksimum spesifik alım değeri biyobirikim için 39.01 mg g⁻¹, biyosorpsiyon deneyinde ise 67.9 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Sonuç olarak artan Remazol blue konsantrasyonunda her iki çalışmada spesifik boya alımı artmıştır. Fakat % giderimlere bakıldığında Remazol blue konsantrasyonlarında biyobirikim çalışmaları ile en iyi giderim elde edilmiştir.

Çizelge 5.1. Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon değerlerinin karşılaştırılması

| Biyobirikim | | | Biyosorpsiyon | | |
|-------------|---------------------|------|---------------|---------------------|------|
| Co mg/l | q _m mg/g | %BB | Co mg/l | q _m mg/g | % BS |
| 58.23 | 3.52 | 99.7 | 73.71 | 37.74 | 51.1 |
| 118.35 | 7.39 | 63.5 | 125.79 | 37.74 | 30 |
| 171.65 | 19.03 | 51.4 | 246.29 | 55.10 | 22.3 |
| 366.08 | 39.01 | 5.78 | 491.19 | 67.92 | 13.8 |

Sadece Cr(VI) içeren ortamın en yüksek maksimum spesifik alım değeri biyobirikim için en yüksek konsantrasyonda 38.67 mg g⁻¹ iken biyosorpsiyon deneyinde ise en yüksek konsantrasyon varlığında 47.62 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Artan Cr(VI) konsantrasyonunda biyobirikim denemeleri için Cr(VI) alım yüzdesini düşmüş fakat spesifik Cr(VI) alımı artmıştır. Biyosorpsiyon denemesinde ise hem Cr(VI) alımı hemde spesifik Cr(VI) artmıştır (Çizelge 5.2).

Krom(VI)'nın Remazol blue ile birlikte etkisine bakıldığında ise sabit konsantrasyon boya varlığında Cr(VI)'nın biyobirikim verimi düşerken spesifik alım yüzdesi artmıştır. Biyosorpsiyon denemesi için ise giderim azalırken spesifik alım önce artmış sonra azalmıştır. Artan boya sabit Cr(VI) varlığında biyobirikimde giderim verimi düşmüş fakat spesifik alım artmışken, biyosorpsiyon için hem giderim hemde alım azalmıştır. Ve birlikte etkide

en yüksek maksimum spesifik alım değeri biyobirikim Cr(VI) için 18.01 mg g⁻¹ iken biyosorpsiyon deneyinde 10.0 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Remazol blue için ise artan Cr (VI) konsantrasyonunda spesifik alım değeri biyobirikim için 15.27 mg g⁻¹ iken biyosorpsiyon için 5.78 mg g⁻¹ olmuştur. Cr(VI) konsantrasyonu sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu artırılınca ise hem biyobirikim (41.14 mg g⁻¹) için hem de biyosorpsiyon (26.58 mg g⁻¹) spesifik alım değerlerine ulaşılmıştır. Çizelge 5.2.'de çalışma özetlenmektedir.

Sadece Ni(II) içeren ortamda hem biyosorpsiyon hemde biyobirikim için Ni(II) alımı azalırken spesifik Ni(II) alımı artmıştır. Artan Ni(II) ve sabit Remazol blue varlığında ise hem Ni(II) alımı hemde spesifik Ni(II) alımı artmıştır. Remazol blue için ise konsantrasyon artıkça biyobirikim ve biyosorpsiyon giderim verimi azalmış fakat spesifik alım artış gösterip en yüksek spesifik alım biyosorpsiyon denemelerinde 94.04 mg g⁻¹ olarak bulunmuştur. Çalışma Çizelge 5.3.'de gösterilmiştir.

Çalışmaların sonuçları bize biyobirikim giderim verimlerinin biyosorpsiyon giderim verimlerine göre oldukça yüksek yüzde giderim verimi gösterdiklerini belirtmektedir. Zaman kısıtlaması nedeni ile Cu(II) ile ilgili denemeler yapılamamıştır.

Tez çalışmasında en yüksek Remazol blue giderim değerine biyobirikim deneyleri ile 28.1 ppm varlığında 5. gün %99.7 değerine ulaşılmıştır. Cr(VI) konsantrasyonu için en iyi giderim değerine biyobirikim çalışmalarıyla 48.2 ppm Cr(VI) ve 50.1 ppm Remazol blue varlığında %95.2 olarak bulunmuştur. Nikel(II) için ise sadece Ni(II) konsantrasyonu içeren biyobirikim deneyinde 22.3 ppm Ni(II) varlığında %45.5 giderim verimine ulaşılmıştır.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) su ve atıksularda organik kirlilik seviyesinin tespitinde en önemli test parametresidir. Alıcı ortamda organik ve anorganik atıkların oksidasyonu, su hayatı için önemli olan çözülmüş oksijen miktarında azalmaya yol açar. Bu nedenle, KOİ evsel ve endüstriyel atık sularda oksijen tüketen kirlenmelerin analizinde, laboratuvarlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. KOİ, mg/L olarak, numunenin litresi başına tüketilen mg olarak O₂ miktarıdır. Atıksularda KOİ değerleri ölçülmeden önce çalışmalarda kullanılan besiyerlerinde KOİ değerleri araştırılmalıdır. Literatürde ağır metal ve boyar madde içeren melaşlı besiyerinin KOİ denemeleri çalışılmamıştır.

Kimyasal oksijen ihtiyacı çalışmalarında öncelikle içerisinde Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) içermeyen pH 6 dereceli melaşlı besiyerinin KOİ'na bakılmış ve 19.200 mg/l olarak bulunmuştur. pH'ı 6 olan içerisinde 50 ve 100 ppm Remazol blue içeren melaşlı besiyerlerinin KOİ değerleri 50 ppm için 21.360 mg/l ve 100 ppm için 24.880 mg/l olarak bulunmuştur. Değerler bize besiyerinin içerisinde organik madde miktarının artış göstermesi ile KOİ değerlerinde yükseldiğini göstermektedir. Altı gün sonunda alınan örneklerin KOİ'na bakıldığında her iki ortam için de KOİ değerinin azaldığını bulunmuştur.

Sulara fazla miktarda organik atık verilmesi, erimiş oksijenin fazla miktarda tüketilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle suların kirlilik derecesi yüksek oldukça, yani fazla miktarda organik maddenin bu sulara atılması halinde, BOİ değeri de yüksek olacaktır. BOİ ne kadar yüksek ise o suların fazlaca organik maddeler tarafından kirlendiğini belirler.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı çalışmalarında ise pH'ı 6 olan ve içerisinde 50 ppm Cr(VI), 50 ppm Remazol blue bulunan ortamın BOİ değeri 7560 mg/l olup Cr(VI) konsantrasyonu sabit tutulup Remazol blue konsantrasyonu 100 ppm yapıldığında ise 9400 mg/l değerine ulaşılmıştır. Sabit 50 ppm Ni(II) konsantrasyonu ve 50 ve 100 ppm Remazol blue konsantrasyonu varlığında ise 5510 mg/l değerinden 7780 mg/l değerine ulaşılmıştır. Sonraki çalışmada içerisinde 50 ve 100 ppm Remazol blue bulunan ortamda da diğer ortamlar gibi BOİ değerinde artış gözlenmiş ve 50 ppm için BOİ 9580 mg/l ve 100 ppm için 9800 mg/l olarak bulunmuştur. Organik madde artışı ile birlikte mikroorganizmanın bu maddeleri ayrıştırması için gerekli oksijen miktarı da bulunan değerlerdeki gibi artış göstermiştir.

Sonuç olarak düşük maliyetli besiyeri ortamında kısa süre içerisinde Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) bulunan ortamların yüksek giderim verimleri ile temizlenmesi *Rhodotorula* sp. mayası kullanılarak başarılmıştır. Bu çalışma yüksek miktarlarda Remazol blue, Cr(VI) ve Ni(II) içeren alkali atıksuların biyolojik arıtımı için çok uygun, ekonomik ve çevre dostu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2. Cr(VI) ve Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon için birlikte etkisinin karşılaştırılması

| | Biyobirikim | | | Biyosorpsiyon | | | | Biyobirikim | | | Biyosorpsiyon | | | |
|---------------|-------------|---------------------|-------|---------------|---------------------|-------|-------------------|-------------|---------------------|-------|---------------|---------------------|------|--|
| | Co mg/l | q _m mg/g | %BB | Co mg/l | q _m mg/g | %BS | | Co mg/l | q _m mg/g | %BB | Co mg/l | q _m mg/g | %BS | |
| Cr(VI) | 49.2 | 6.13 | 94.5 | 49.4 | 14.45 | 14.45 | Remazol b. | - | - | - | - | - | - | |
| | 129.2 | 26.36 | 87.60 | 103.2 | 25.23 | 24.4 | | - | - | - | - | - | - | |
| | 163.1 | 38.67 | 78.20 | 188.3 | 47.62 | 25.04 | | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 48.2 | 18.36 | 95.2 | 47.5 | 5.24 | 11.03 | | 50.1 | 15.27 | 76.1 | 31.1 | 5.78 | 18.5 | |
| | 102.2 | 40.05 | 80.3 | 74.6 | 7.38 | 9.8 | | 51.3 | 8.78 | 35.08 | 25.9 | 1.51 | 5.8 | |
| | 153.4 | 49.71 | 22.6 | 77.9 | 3.58 | 4.5 | | 51.4 | 2.86 | 3.89 | 30.3 | 3.19 | 1.01 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 47.1 | 16.51 | 94.5 | 60.4 | 10.00 | 16.5 | | 63.5 | 9.05 | 38.4 | 54.7 | 8.61 | 14.9 | |
| | 44.1 | 17.86 | 95.01 | 60.7 | 8.81 | 14.5 | | 118.7 | 17.56 | 34.7 | 125.8 | 13.92 | 11.9 | |
| | 45.2 | 17.91 | 91.04 | 60.3 | 5.95 | 9.8 | | 231.9 | 20.53 | 20.3 | 245.5 | 26.58 | 10.6 | |
| | 38.6 | 18.01 | 88.4 | 60.1 | 4.52 | 7.5 | | 482.90 | 41.14 | 16.1 | 465.8 | 15.19 | 3.26 | |

Çizelge 5.3. Ni(II) ve Remazol blue konsantrasyonlarının biyobirikim ve biyosorpsiyon için birlikte etkisinin karşılaştırılması

| | Biyobirikim | | | Biyosorpsiyon | | | | Biyobirikim | | | Biyosorpsiyon | | | |
|---------------|-------------|---------------------|-------|---------------|---------------------|------|-----------------------|-------------|---------------------|-------|---------------|---------------------|------|--|
| | Co mg/l | q _m mg/g | %BB | Co mg/l | q _m mg/g | %BS | | Co mg/l | q _m mg/g | %BB | Co mg/l | q _m mg/g | %BS | |
| Ni(II) | 22.3 | 1.76 | 45.5 | 11.01 | 0.64 | 5.8 | Remazol b. | - | - | - | - | - | - | |
| | 34.71 | 2.31 | 37.9 | 25 | 2.16 | 8.6 | | - | - | - | - | - | - | |
| | 62.29 | 3.58 | 30.2 | 53.3 | 2.5 | 4.6 | | - | - | - | - | - | - | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 23.85 | 0.42 | 6.12 | 11.1 | 1.01 | 8.6 | | 37.8 | 10.33 | 94.28 | 63.1 | 12.57 | 19.9 | |
| | 38.17 | 1.74 | 20.32 | 22.7 | 1.47 | 6.4 | | 33.4 | 5.86 | 78.08 | 62.6 | 19.12 | 30.5 | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | 38.26 | 1.84 | 17.7 | 23.03 | 4.77 | 20.7 | | 67.34 | 9.41 | 51.6 | 43.2 | 40.75 | 94.1 | |
| | 30.3 | 1.48 | 16.6 | 32.1 | 4.59 | 14.2 | | 126.84 | 16.90 | 45.3 | 106.1 | 63.90 | 60.1 | |
| | 29.17 | 1.98 | 15.3 | 28.8 | 3.02 | 12.6 | | 208.1 | 36.63 | 39.6 | 154.7 | 94.09 | 60.8 | |
| | 36.78 | 1.39 | 14.4 | 33.4 | 2.92 | 9.2 | | 277.85 | 24.27 | 33.3 | 298.1 | 54.08 | 18.1 | |

KAYNAKLAR

- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2000a. The use of molasses in copper (II) containing wastewaters effects on growth and copper(II) bioaccumulation properties of *Kluyveromyces marxianus*. Process Biochemistry, 36; 451-458.
- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2000b. Combined effect of sucrose and copper(II) ions on the growth of and copper(II) bioaccumulation properties of *Candida* sp. Journal of chemical technology and biotechnology, 75; 847-853.
- Aksu, Z. and Dönmez, G. 2004. Combined effects of molasses sucrose and Reactive dye on the growth and dye bioaccumulation properties of *Candida tropicalis*. Process Biochemistry, 40; 2443-2454
- Aksu, Z. 2003. Reactive dye bioaccumulation by *Sacchaomyces cerevisiae*. Process Biochemistry, 10; 1437-1444.
- Avery, S.V., Tobin, J.M. 1993. Mechanism of adsorption of hard and soft metal ions to *Saccharomyces cerevisiae* and influence of hard and soft anions. Applied and Environmental Microbiology, 59; 2851-2856.
- Bhide, J.V., Dhakephalkar, P.K. and Paknikar, K.M. 1996. Microbiological process for the removal of Cr(VI) from chromat-bearing cooling tower effluent. Biotechnology Letters, 18; 667-672.
- Bishop, PL. 2002. Pollution prevention: fundamentals and practice. Tsinghua University Pres, Beijing.
- Brady, D., Duncan, J.R. 1994a. Bioaccumulation of metal cations by *Saccharomyces cerevisiae*. Applied Microbiology and Biotechnology, 41; 149-154.
- Brady, D., Glaum, D. and Duncan, J.R. 1994b. Copper tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*. Letters in Applied Microbiology, 18; 245-250.
- Bruins, M.R., Kapil, S. and Oehme, F.W. 2000. Microbial resistance to metals in the environment. Exotoxicology and Environmental Safety, 45; 198-207.
- Cervantes, C., Garcia, J., Devars, S., Corona, F., Tavera, H., Guzman, J., Sanchez, R. 2001. Interactions of chromium with microorganisms and plants. FEMS Microbiology, 25; 335-347.
- Clarke, EA. and Anliker R. 1980. Organic dyes and pigments. In: Hand-book of environmental Chemistry, Anthropogenic Compounds, Part A. Vol.3, p. 181-215, New York, Springer.
- Dönmez, G. and Aksu Z. 1999. The effect of copper(II) ions on the growth and bioaccumulation properties of some yeasts. Process Biochemistry, 35; 135-142.
- Dönmez, G. and Aksu Z. 2001. Bioaccumulation of Copper(II) and Nickel(II) by non-adapted and adapted growing *Candida* sp. Wat.Res, 35; 1425-1434.
- Dönmez, G. 2002. Bioaccumulation of the reactive textile dyes by *Candida tropicalis* growing in molasses medium. Enzyme and Microbial Technology, 30; 363-366.
- Dursun, A.Y., Uslu, G., Cuci, Y. and Aksu, Z. 2003. Bioaccumulation of copper(II) and lead(II) and chromium(VI) by growing *Aspergillus niger*. Process Biochemistry. 38; 1647-1651.
- Esther F., Tibor, C., Gyula, O. 2004. Removal of synthetic dyes from wastewaters: a review. Environment International, 30; 953-971.

- Falih, A. M. 1998. Comparative toxicity of heavy metals to some yeast isolated from Saudi Arabian soil. *Bioresource Technology*, 64; 193-198.
- Fu, L., Wen, X., Xu, L., Qian, Y. 2001. Removal of copper-phthalocyanine dye from wastewater biosorption acclimated sludge under anaerobic or aerobic conditions. *Process Biochemistry*, 37; 151-156.
- Jadhav, J.P., Parshetti, G.K., Kalme, S.D., Govindwar S.P. 2007. Decolorization of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC 463. *Chemosphere*, 68; 394-400.
- Jianlong, W. and Can, C. 2006. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*, 24; 427-451.
- Kapoor, A. and Viraraghavan, T. 1995. Fungi biosorption—an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: A review. *Bioresource Technology*, 53; 195-206.
- Kaptan, I.K., Kargi, F., Mullan, G.M. and Marchant, R. 2000. Biological decolorization of textile dyestuffs by *Corioliolus versicolor* in a packed column reactor. *Environmental technology* . 21; 231-236.
- Kocaer, O.F. ve Alkan, U. 2002. Boyarmadde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7; 11.
- Kratochvil, D. and Volesky, B. 1998. Advances in the biosorption of heavy metals. *Trends Biotechnology*, 16; 291-300.
- Krauter, P., Martinelli, R., Williams, K. and Martins, S. 1996. Removal of Cr(VI) from ground water by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology and Bioengineering*, 7; 227-286.
- Li, Z., Yuan, H., and Hu, X. 2007. Cadmium-resistance in growing *Rhodotorula* sp. Y11. *Bioresource Technology*, (article in press).
- Madigan, Martinko and Parker. 1997. *Biology of Microorganisms Eighth Edition*, Southern Illinois University, Carbondale
- Marques, P.A., Pinheiro, H.M., Teixeira, J.A., Rosa, M.F. 1999. Removal efficiency of Cu²⁺, Cd²⁺ and Pb²⁺ by waste brewery biomass: pH and cation association effects. *Bioresource Technology*, 124; 137-44.
- Muter, O., Lubinya, I., Miller, D., Grigorjeva, L., Ventiya, E., Rapoport, A. 2001. Cr(VI) sorption by intact and dehydrated *Candida utilis* cells in the presence of the other metals. *Process Biochemistry*, 38; 123-131.
- Pajot, H., Figueroa, I.C., Farina, J. 2007. Dye-decolorizing activity in isolated yeast from the ecoregion of Las Yungas (Tucuman, Argentina). *Enzyme and Microbial Technology*, 40; 1503-1511.
- Park, J.K., Lee, J.W., Jung, J.Y. 2003. Cadmium uptake capacity of two strains of *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Enzyme and Microbial Technology*, 33; 371-378.
- Preetha, B. and Viruthagari, H. 2006. Bioaccumulation of Cr(VI), copper(II), Nickel(II) ions growing *Rhizopus arrhizus*. *Biochemical Engineering Journal*, 703; 361-365.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchan, R. and Nigam, P. 2001. Remediation of dyes in textile effluent; A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*. 72; 107-112
- Salinas, E., Elorza de Orellano, M., Rezza, I., Martinez, L., Marchesvsky, E. Sanz de Tosetti, M. 2000. Removal of cadmium and lead from dilute aqueous solutions by *Rhodotorula rubra*. *Bioresource Technology*, 72; 107-112.
- Suh, J.H. and Kim, D.S. 2000. Effects of Hg²⁺ and cell conditions on Pb²⁺ accumulation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioprocess. Eng.* 23; 327-329.

- Sumathi, S. and Manju, B.S. 2000. Uptake of reactive textile dyes accumulations *Aspergillus foetidus*. Enzyme and Microbial Technology, 27; 347-355.
- Sutton, D. A., Fothergill, A.W. and Rinaldi, M.G. 1998. Guide to clinically significant Fungi, 1st ed. Williams & Wilkins, Baltimore.
- Ting, Y.P. and Lawson, F. 1991. The influence of cadmium and zinc on the cell size distribution of the alga *Chrorella vulgaris*. The chemical Engineering Journal, 3; 23-34.
- Tsezos, M. 2001. Biosorption of metals. The experience accumulated and outlook for technology development. Hydrometallurgy, 59; 241-243.
- Veglio, F. and Beolchini, F. 1997. Removal of metals by biosorption: a review. Hydrometallurgy, 44; 301-316.
- Volesky, B.1990. Biosorption and biosorbents. In: Volesky B, editor. Biosorption of Heavy Metals. CRC press; p. 3-5, . Florida.
- Wang, J. and Chen, C. 2006. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. Biotechnology advances, 24; 427-451.
- Yu, Z. and Wen X. 2005. Screening and identification of yeasts for decolorizing synthetic dyes in industrial wastewater. International Biodeterioration&Biodegradation, 56;109-114.
- Zhou, D.Q. 2002. Microbiology. 2nd edition. Higher Education Press, p;56-62, Beijing.

www.pburch.net/dyeing/remazol.shtml

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Manisa'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2001 yılında kazandığı Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'nden 2005 yılında Biyolog ünvanı ile mezun olup aynı sene Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü Temel Biyoteknoloji Yüksek Lisans programını kazandı ve 2007 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı.

2007 Eylül ayı itibari ile Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü Temel Biyoteknoloji Doktora programına başlayacaktır.