

Farklı *Anabaena* Suşlarının Bakır Biyosorpsiyonu Üzerine Bir Çalışma*

Ender BOZANTA

Gülten ÖKMEN*

Onur TÜRKCAN

Aysel UĞUR

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Muğla, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar:

E-posta: gultenokmen@gmail.com

Geliş Tarihi: 01 Aralık 2013

Kabul Tarihi: 31 Aralık 2013

Özet

Mevcut çalışma 3 siyanobakteriyel türün bakır biyosorpsiyonunu araştırmayı amaçlamıştır. Biyosorpsiyon çalışmalarında, 0,16g biyokütle uygulaması tüm bakır biyosorpsiyonlarında en iyi giderimi sağlamıştır. Ayrıca tüm türler için, optimum pH 4 olarak belirlenmiş ve optimum başlangıç iyon konsantrasyonu 20 mg/L olarak saptanmıştır. Bakır biyosorpsiyonu için optimum çalkalama hızı 150 rpm olarak belirlenmiştir. *Anabaena* sp. GO7, bakır giderimi 150 rpm'de % 46 bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, bakır, *Anabaena*

A Study on Copper Biosorption of Various *Anabaena* Strains

Abstract

The present study aimed to investigate the copper biosorption of 3 cyanobacterial strains. In biosorption studies, 0.16g biomass application provided the best removal in all copper biosorptions. Also for all species, optimum pH was determined as 4, and optimum initial ion concentration was determined as 20 mg/L. The optimum shaking speed for copper biosorption was determined as 150 rpm. For *Anabaena* sp. GO7, copper removal was found 46% at 150 rpm.

Key Words: Biosorption, copper, *Anabaena*

*Bu çalışma yüksek lisans tezinin bir kısmıdır.

GİRİŞ

Son birkaç yılda hızlı sanayileşme ve nüfus artışı nedeniyle, ağır metallerde dahil olmak üzere kimyasalların serbest bırakılması ve kullanımında önemli bir artış olmuştur. Krom, kurşun, arsenik, çinko, bakır, nikel gibi ağır metaller, yüksek toksisiteye sahip olmaları nedeniyle çevre için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır.

Bakır doğada daha çok bileşikler halinde ve azda olsa metalik halde bulunmaktadır. En çok bulunan mineralleri oksit, karbonat ve sülfürleridir [1]. Bakırca zengin topraklarda sadece sınırlı sayıda bitki hayatta kalma şansına sahiptir. Bakır, mikroorganizmaların ve solucanların aktivitesini olumsuz etkilediği için topraktaki aktiviteyi de azaltabilmektedir [2]. Bakırın vücutta fazla miktarda birikimi ile

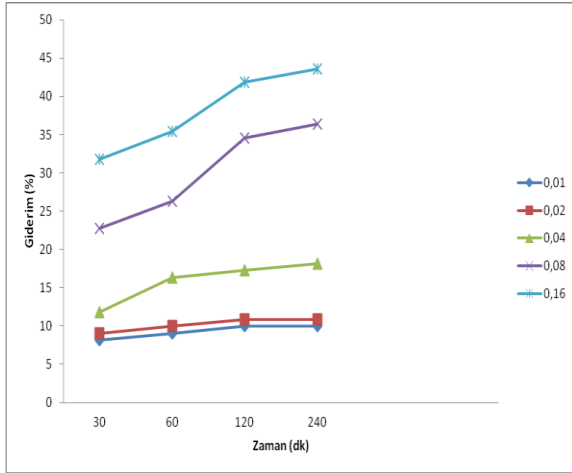
Wilson hastalığı meydana gelmektedir. Zehirlenmeler ise solunum, deri veya ağız yoluyla meydana gelmektedir. Sürekli bakıra maruz kalma durumunda ise akciğer kanseri tespit edilmiştir [3].

Atık sulardan ağır metal giderimi için kullanılan yöntemlerin maliyetinin yüksek olması nedeni ile, alternatif bir yöntem olan biyosorpsiyon kabul görmüştür [4, 5, 6, 7]. Ekonomik olarak uygun, yasal olarak kabul gören seviyelere ağır metal konsantrasyonlarını çekebilmek için biyosorpsiyon ve/veya biyobirikim gibi çevre dostu teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır [8, 9]. Tüm biyolojik materyaller önemli biyosorpsiyon yeteneğine sahip olmakla birlikte, biyosorpsiyonun endüstriyel uygulamaları başlıca mikrobiyal sistemlerin doğrultusunda yapılmaktadır [10, 11]. Farklı biyokütleler, çevreden metal iyonlarını adsorbe

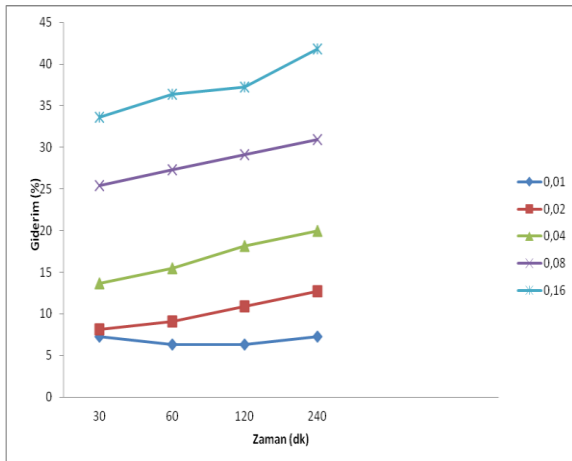
etmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda, yeni çevre dostu yöntemler ekonomik ve etkili bir metal adsorbenti olarak bakteri, mantar, siyanobakteri, maya, alg ve bitki gibi biyomateryallere kaymıştır [12, 13].

Siyanobakterilerin etkili biyosorbent olma nedeni basit besin maddesi gereksinimleri ile gelişimlerinin kolay olması ve mikrobiyal sistemlerin aksine genellikle toksin üretmemesidir. Ayrıca, siyanobakteriler ekstraselüler polisakaritler üretirler ki bu da metalleri bağlama yeteneğini artırıcı bir role sahiptir [14].

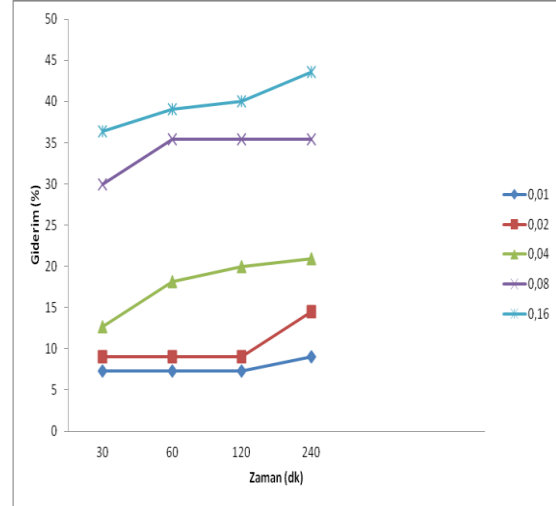
Bu çalışmanın amacı çeltik alanlarından izole edilmiş siyanobakterilerin Cu (II) metalinin biyosorpsiyonunda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.



Şekil 1. *Anabaena* sp. GO7' te bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütle'nin etkisi



Şekil 2. *Anabaena* sp. GO4' te bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütle'nin etkisi



Şekil 3. *Anabaena* sp. GO6' da bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütle'nin etkisi

MALZEME ve YÖNTEM

Örnekler

Organizma

Araştırmada kullanılan siyanobakteriler Dr. Gülten Ökmen' in (Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Muğla, Türkiye) daha önceki çalışmalarından temin edilmiş ve çeltik alanlarından izole edilmiştir. *Anabaena* sp. GO4, *Anabaena* sp. GO6, *Anabaena* sp. GO7 bu çalışmada kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan siyanobakteriler (100µL), 25 ml serum şişelerinde 10 mL azotsuz BG-11 besiyerlerine inoküle edilmiş ve 600 lüks beyaz ışık altında, oda sıcaklığında (25±2 °C) ve pH'ı 8'e ayarlanmış ve 14 gün süre ile inkübasyona bırakılarak aktive edilmiştir [15].

Biyosorbent'in hazırlanması

Araştırmanın biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılan biyosorbentler 25 L' lik akvaryumlarda azot içermeyen 20 L BG-11 besiyeri içerisine aktif kültürlerin inoküle edilmesini takiben inkübasyon süresi sonucunda elde edilmiştir. Tüm kültürlerin ortam pH değeri 8.0' a ayarlanmış olup, oda sıcaklığında, 600 lüks beyaz ışık altında 35 gün inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda 5000 rpm' de santrifüj edilerek hasat edilen kültürler iki kez distile su ile yıkandıktan sonra 60 °C' de 24 saat kurutulmuştur. Elde edilen biyokütle biyosorpsiyon denemelerinde biyosorbent olarak kullanılmıştır [18].

Bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütlenin etkisi

Bakır (II) biyosorpsiyonu üzerine başlangıç biyokütle miktarının etkisini belirlemek amacı ile tüm uygulamalarda inokulum miktarı 0,01-0,16 g aralığında olacak şekilde hazırlanmıştır. Tüm metal uygulamalarında başlangıç iyon konsantrasyonu 20 mg/ L olarak sabit tutulmuştur. Biyosorpsiyon denemeleri oda sıcaklığında ($25\pm 2^\circ\text{C}$) ve 100 rpm altında çalkalanarak bekletilmiş ve belli zaman aralıklarında 1 mL örneklemeler alınmış ve daha sonra elde edilen absorbans değerlerinden konsantrasyon hesaplamaları yapılmıştır [18].

Bakır biyosorpsiyonu üzerine pH değerinin etkisi

Bakır (II) içeren solüsyonlar için pH 2-6 arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Farklı pH içeren ortamlara optimum biyokütelerde inokulasyon yapıldıktan sonra $25\pm 2^\circ\text{C}$ ve 100 rpm' de tüm uygulamalar beklemeye bırakılmıştır. Tüm uygulamalardan belli zaman aralıklarında 1 mL örneklemeler alındıktan sonra süpernatant üzerinden kalan metal konsantrasyonları spektrofotometrik olarak belirlenmiştir [18].

Bakır biyosorpsiyonu üzerine başlangıç iyon konsantrasyonunun etkisi

Tüm denemelerde bakır (II) başlangıç iyon konsantrasyon aralığı 20-80 mg/L olacak şekilde hazırlanmış ayrıca tüm ortamlar optimum biyokütle ve pH değerlerinde hazırlandıktan sonra oda sıcaklığında ($25\pm 2^\circ\text{C}$) ve 100 rpm' de çalkalanarak inkübasyona bırakılmıştır. Belli zaman aralıklarında 1 mL örneklemeler alındıktan sonra süpernatant üzerinden kalan metal iyon konsantrasyonları spektrofotometrik olarak tayin edilmiş ve biyosorpsiyon verimleri hesaplanmıştır [18].

Bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi

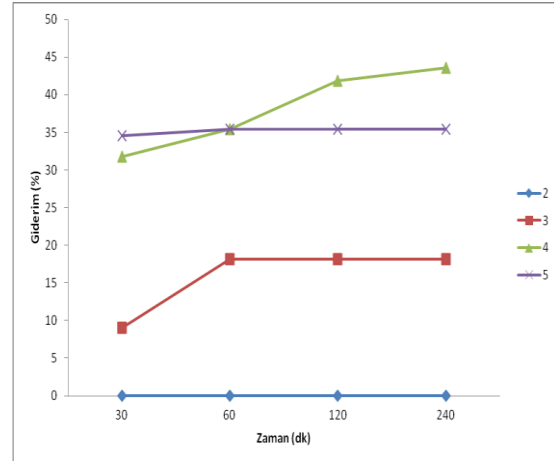
Denemeler optimum biyokütle, pH ve başlangıç iyon konsantrasyonunu kapsayan değerlerde hazırlandıktan sonra farklı sıcaklıklara tabi tutularak inkübasyona bırakılmıştır. Denemelerin başlangıç sıcaklık aralığı $25-35^\circ\text{C}$ olacak şekilde belirlenmiştir. Tüm denemelerden, belli zaman aralıklarında 1 mL örneklemeler alınmış ve kalan metal iyon konsantrasyonları süpernatant üzerinden spektrofotometrik olarak saptandıktan sonra biyosorpsiyon verimleri hesaplanmıştır [18].

Bakır biyosorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi

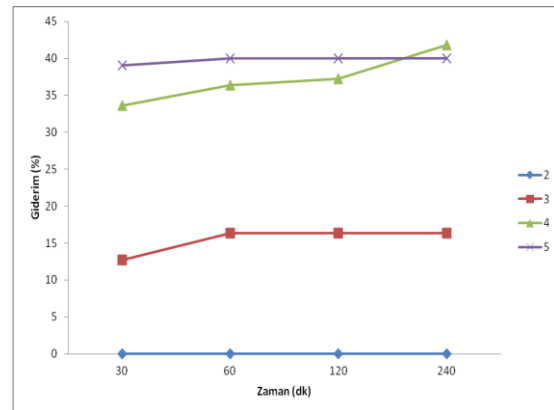
Tüm denemeler optimal biyokütle, pH, sıcaklık ve başlangıç iyon konsantrasyonunu kapsayan değerlerde hazırlandıktan sonra farklı çalkalama hızlarına tabi tutularak inkübasyona bırakılmıştır. Denemelerin çalkalama hızı aralığı 100-200 rpm olacak şekilde belirlenmiştir. Denemelerden, belli zaman aralıklarında 1 mL örneklemeler alınmış ve kalan metal iyon konsantrasyonları süpernatant üzerinden spektrofotometrik yöntemle saptandıktan sonra biyosorpsiyon verimleri hesaplanmıştır [18].

Bakır (II) iyonu analizi

Biyosorpsiyon çalışmaları boyunca, Cu (II) iyonlarının derişimleri, 1,5N NH_3 varlığında sodyum dietil ditiyokarbomatla yaptığı sarımsı-kahverengi kompleks yardımıyla, spektrofotometre kullanılarak 460nm dalga boyunda absorbans değerleri okunarak tayin edilmiştir. Şahit olarak amonyak, distile su ve sodyum dietil ditiyokarbomat kullanılmıştır [20, 21].



Şekil 4. *Anabaena* sp. GO7' de bakır biyosorpsiyonu üzerine pH etkisi



Şekil 5. *Anabaena* sp. GO4' te bakır biyosorpsiyonu üzerine pH etkisi

BULGULAR

Bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütlenin etkisi

Bakır biyosorpsiyonu üzerine biyokütlenin etkisi çalışmalarında *Anabaena* sp. GO7'de en yüksek giderim 0.16g biyokütlede % 43 olarak saptanmıştır. Diğer biyokütle uygulamalarında ise giderim daha düşük bulunmuştur (Şekil 1).

En yüksek giderimin % 41 olduğu *Anabaena* sp. GO4'de diğer türlerde olduğu gibi optimum biyokütle 0.16 g olarak saptanmıştır. Ancak daha düşük biyokütle uygulamalarında ise bakır giderimi daha düşük bulunmuştur (Şekil 2).

Anabaena sp. GO6 üzerinden yapılan bakır biyosorpsiyon denemelerinde biyokütle miktarı arttıkça bakır giderimi de artmıştır. En yüksek giderim bu türde de 0,16g biyokütlede (% 43) olmuştur. Diğer biyokütle uygulamalarında ise bakır giderimi düşük bulunmuştur (Şekil 3).

Bakır biyosorpsiyonu üzerine pH'nın etkisi

Bakır biyosorpsiyonu üzerine pH'nın etkisi çalışmalarında tüm kültürlerde bakır giderimi en yüksek pH 4' de gözlenmiştir. *Anabaena* sp. GO7'de bakır biyosorpsiyonu en yüksek pH 4' de (% 43) bulunmuştur (Şekil 4).

Bu çalışmada *Anabaena* sp. GO4'te bakır biyosorpsiyonuna pH etkisi incelendiğinde, optimum pH 4 olarak belirlenmiş olup, giderim oranı ise % 41' lere ulaşmıştır (Şekil 5).

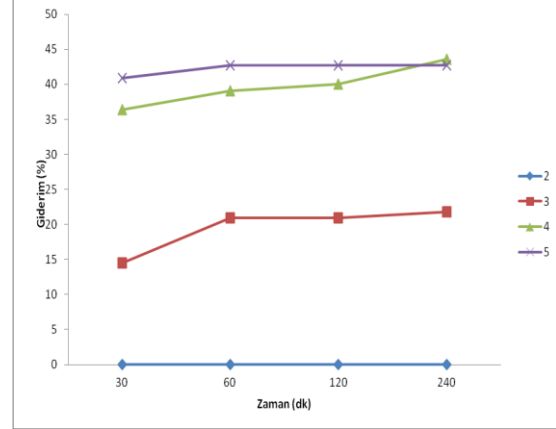
Anabaena sp. GO6'da en yüksek Cu (II) giderim oranı pH 4' de (% 43) gözlenmiş olup, diğer pH' larda ise bakır giderimi düşük olarak belirlenmiştir (Şekil 6).

Bakır biyosorpsiyonu üzerine başlangıç iyon konsantrasyonunun etkisi

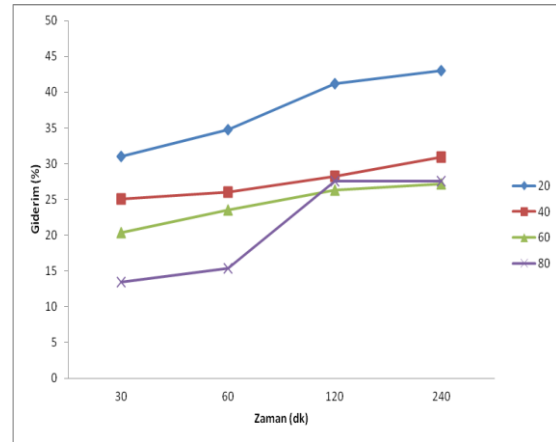
Anabaena sp. GO7'de Cu (II) biyosorpsiyonu üzerine 20 mg/L bakır başlangıç iyon konsantrasyonu etkisi incelendiğinde, giderimin % 43' ler seviyesinde olduğu, bununla birlikte başlangıç iyon konsantrasyonu arttıkça giderimin azaldığı belirlenmiştir. En yüksek giderim 20 mg/L Cu başlangıç iyon konsantrasyonunda % 43' lere ulaşmıştır (Şekil 7).

Anabaena sp. GO4'te bakır giderimi en yüksek 20 mg/L Cu başlangıç iyon konsantrasyonunda % 32' den % 41' lere çıkmıştır (Şekil 8).

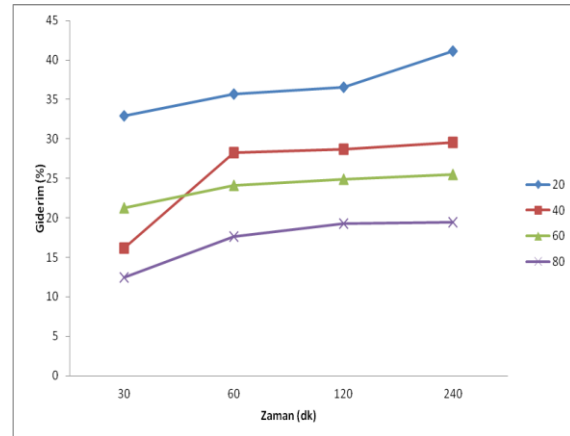
Anabaena sp. GO6'da ise, en yüksek giderimin gözleendiği 20 mg/L iyon konsantrasyonunda ilk 30 dakika içinde Cu (II) giderimi % 35' lere iken 240 dakika sonunda bu oran % 43' lere sabitlenmiştir (Şekil 9).



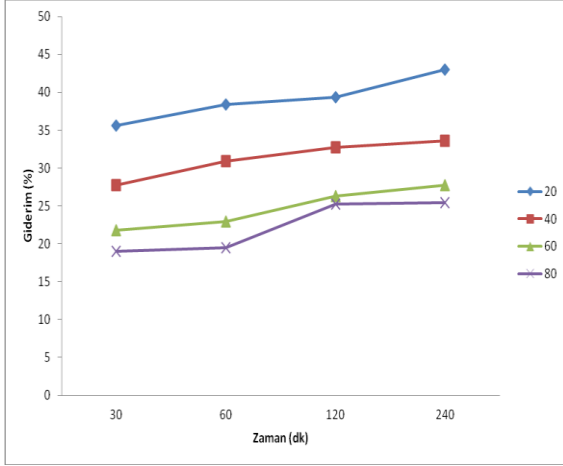
Şekil 6. *Anabaena* sp. GO6' da bakır biyosorpsiyonu üzerine pH etkisi



Şekil 7. *Anabaena* sp. GO7' de bakır biyosorpsiyonu üzerine başlangıç iyon konsantrasyonunun etkisi



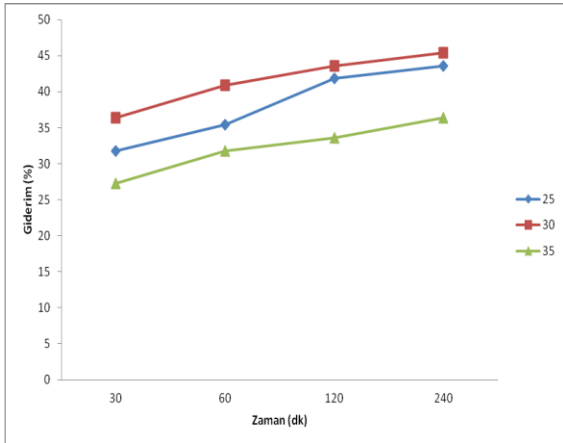
Şekil 8. *Anabaena* sp. GO4' te bakır biyosorpsiyonu üzerine başlangıç iyon konsantrasyonunun etkisi



Şekil 9. *Anabaena* sp. GO6' da bakır biyosorpsiyonu üzerine başlangıç iyon konsantrasyonunun etkisi

Bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi

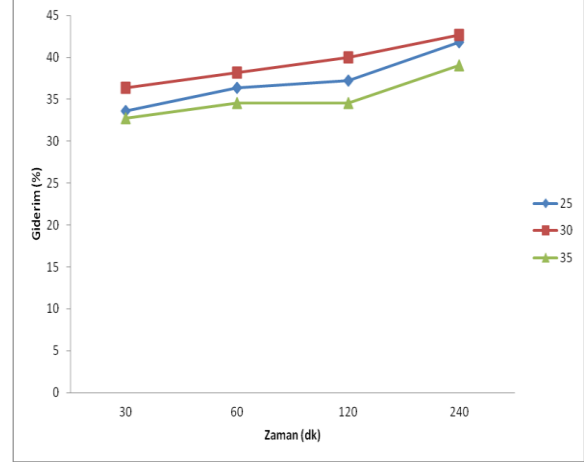
Anabaena sp. GO7'de bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklık etkisinden elde edilen verilere göre, bakır giderimi 30°C' de % 45' e ulaşmıştır. *Anabaena* sp. GO7'de bakır biyosorpsiyonu için optimum sıcaklık isteği 30 °C' dir (Şekil10).



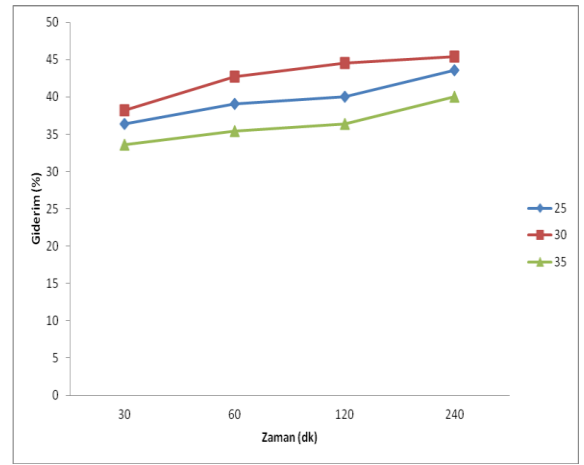
Şekil 10. *Anabaena* sp. GO7' de bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi

Anabaena sp. GO4 ile yapılan çalışmalarda bakır giderimi, 30 °C' de % 42' ye ulaşmıştır. *Anabaena* sp. GO4' ün bakır biyosorpsiyonunda optimum sıcaklık isteği 30 °C olarak saptanmıştır (Şekil 11).

Anabaena sp. GO6 ile yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, bakır giderimi en yüksek 30 °C' de % 45 olarak saptanmıştır. *Anabaena* sp. GO6'nın bakır biyosorpsiyonunda optimum sıcaklık isteği 30 °C olarak saptanmıştır (Şekil 12).



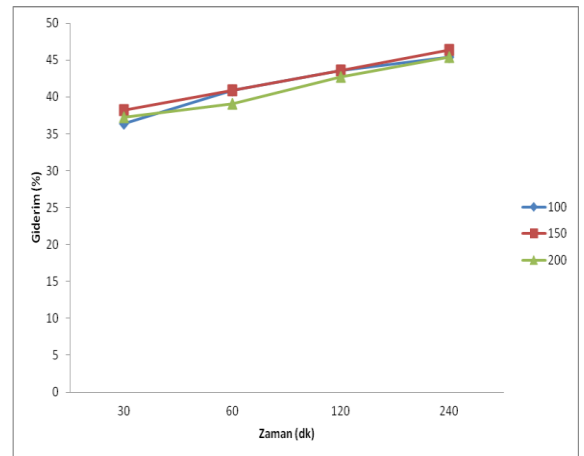
Şekil 11. *Anabaena* sp. GO4' te bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi



Şekil 12. *Anabaena* sp. GO6' da bakır biyosorpsiyonu üzerine sıcaklığın etkisi

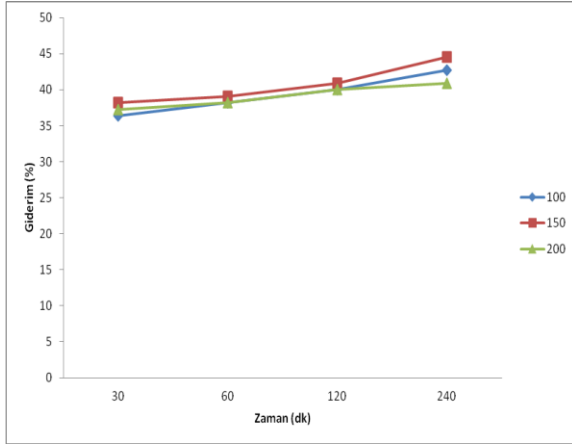
Bakır biyosorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi

Bakır biyosorpsiyonu, *Anabaena* sp. GO7'de en yüksek 150 rpm' de gerçekleşmiştir (% 46) (Şekil 13).



Şekil 13. *Anabaena* sp. GO7' de bakır biyosorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi

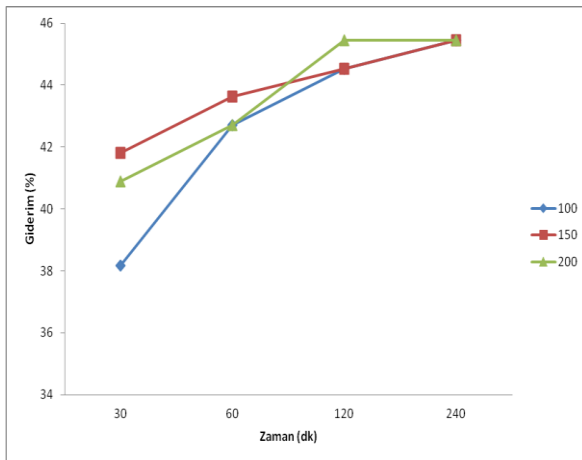
Anabaena sp. GO4'te en yüksek bakır giderimi 150 rpm' de gerçekleşmiştir (% 44). Çalkalama hızının 100 rpm olduğu şartlarda bakır biyosorpsiyon kapasitesi % 42' ye ulaşmış, bundan başka 200 rpm' de ise % 40' lara ulaştığı saptanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. *Anabaena* sp. GO4' te bakır biyosorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi

Anabaena sp. GO6' da ise çalkalama hızının bakır biyosorpsiyonuna etkisinin az olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre, en yüksek bakır giderimi 100 rpm'de gerçekleşmiş (% 45), 150 rpm çalkalama hızında ise bakır giderimi % 45' lere ulaşmış, buna ilaveten 200 rpm' de ise 45 seviyesine gelmiştir (Şekil 15).

Tüm türlerde çalkalama hızının bakır biyosorpsiyonuna etkisi birbirine yakın değerler göstermiştir. Çalkalama hızının bakır giderimi üzerinde herhangi bir artırıcı etkisi söz konusu olmamıştır.



Şekil 15. *Anabaena* sp. GO6' da bakır biyosorpsiyonu üzerine çalkalama hızının etkisi

TARTIŞMA

Siyanobakteriler birincil üretici olarak rol oynayan, sucul sistemin en önemli parçasıdır. Sucul sistemdeki ağır metal kirliliğinin gideriminde, yeni çevre dostu yöntem arayışları hız kazanmıştır. Çalışmalar ekonomik ve etkili bir metal adsorbenti olarak bakteri, mantar, siyanobakteri, maya, alg ve bitki gibi biyomateryaller üzerinde odaklanmıştır [12, 13].

Çalışmamızda, bakır biyosorpsiyonuna biyokütlenin etkisi tüm siyanobakteriyel cinslerde benzer şekilde olmuştur. Optimal biyokütle miktarı 0,16 g olup, biyokütle arttıkça giderim yüzdesi de artmıştır. Ancak birim ağırlık başına düşen giderim oranı ise düşmektedir (Şekil 1-3). Farklı mikroorganizma konsantrasyonlarının Cu (II) ve Cr (VI) iyonlarının gideriminin de etkisi araştırılmış ve mikroorganizma konsantrasyonu arttıkça metal iyonlarının gideriminin arttığı rapor edilmiştir [22]. Yapılan çalışmalarda farklı konsantrasyonlarda alg ile Cu (II) ve Fe (III) iyonlarının uzaklaştırılmasında alg konsantrasyonunun artmasıyla adsorplama veriminin arttığı bildirilmiştir [23, 24]. Yapılan bir çalışmada, biyosorbentin yüzey özellikleri arasında biyosorpsiyon işlemi etkileyen en önemli parametrenin yüzey alan değeri olduğu ve artan yüzey alan değeri ile biyosorpsiyon miktarında artış olduğu gösterilmiş fakat bu artışın orantılı olmadığı rapor edilmiştir [25]. Bu çalışmalar bizim çalışmalarımızı da desteklemektedir.

Çalışmalarımızda tüm siyanobakteriyel cinslerde bakır uygulamalarının optimal pH' ları dikkate alındığında, düşük pH değerlerinde bakır giderim oranları da düşük olmuştur. Bakır gideriminde optimum pH 4 olarak saptanmıştır (Şekil 4-6). Volesky ve Holan (1995) ve Veglio ve Beolchini (1997) pH 5' in üzerinde Cu (II)' nin mikro-çökelmeye uğradığını ifade etmişlerdir. Cu (II)' nin biyosorpsiyonunda optimum pH aralığı 4-6 arasındadır. *Aspergillus niger* ile yapılan bir çalışmada en yüksek Cu (II) alımı pH 4-6 arasında gerçekleşmiştir. pH 3' ün altında muhtemelen hidronyum iyonlarıyla katyon etkileşimleri sonucunda Cu (II) alımı çok az olmaktadır. Bununla birlikte pH 6 ve daha yüksek pH' larda kimyasal çökelmeden dolayı biyosorpsiyon oranı azalmaktadır [26]. Gürbüz (2006) *Enteromorpha prolifera* ile yaptığı

çalışmada, bakır (II) iyonları için pH 4 değerinde elde edilen biyosorpsiyon kapasitesinin pH 2, 3 ve 5 değerlerinde elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu saptamıştır. Alp (2007) *Candida lipolytica* ile yaptığı çalışmada bakır (II) iyonlarının giderimini pH 1-6 arasında incelemiş, en yüksek giderimin pH 4' de olduğunu saptamıştır. Malkoç (1998) *Ulothrix zonata* ile yaptığı çalışmada bakır (II) iyonlarının giderimini pH 3, 4,5 ve 6' da incelemiş ve en iyi giderimin pH 4,5' ta olduğunu rapor etmiştir. Yapılan çalışmalar sonuçlarımızı destekler durumdadır.

Çalışmamızda tüm kültürlerde Cu (II) biyosorpsiyonunda başlangıç iyon konsantrasyonu arttıkça giderim oranı azalmıştır. Tüm siyanobakteriyel türlerde optimum başlangıç iyon konsantrasyonu 20 mg/L olarak belirlenmiştir (Şekil 7-9). Malkoç' un (1998) *Ulothrix zonata* ile yaptığı çalışmada, Cu (II) iyonlarının giderimi incelenmiş ve Cu (II) için 5-50 mg/ L konsantrasyonları denenmiş ve en iyi giderimin 5 mg/ L' de olduğu saptanmıştır ve iyon konsantrasyonu arttıkça adsorplanan metal iyon derişiminin azaldığı rapor edilmiştir. *Nostoc* sp. ve *Gloeocapsa* sp. ile yapılan bir çalışmada başlangıç iyon konsantrasyonu arttıkça verimin azaldığı rapor edilmiştir [27]. Yüksek iyon konsantrasyonlarında biyosorpsiyon veriminin azalmasının nedeni, metal iyonlarının nispeten az sayıdaki bağlanma bölgeleri için yaptığı rekabetten ve birçok bağlanma bölgesinin doygunluğu ile açıklanmaktadır [28].

Bakır biyosorpsiyonuna sıcaklığın etkisi incelendiğinde, tüm cinslerde sıcaklığın bakır giderimi üzerine etkisi farklı olmuştur. Tüm cinslerde optimum sıcaklık 30°C olarak saptanmıştır (Şekil 10-12). *Ulva reticula* ve *Rhizopus nigrican* ile yapılan Cu (II) iyonu giderim çalışmalarında da en yüksek giderim 30°C' de belirlenmiştir [29, 30]. *Thuja orientalis* biyokütlesi ile yapılan bir çalışmada da 40-70°C sıcaklık aralığı çalışılmış ve sıcaklık artışıyla biyosorpsiyon kapasitesinin arttığı gözlenmiş ve çözeltinin sıcaklığı arttıkça partiküllerin kinetik enerjisinin arttığı, dolayısıyla partiküller ile biyosorbent arasındaki çarpışma frekanslarının artarak, Cu (II) iyonlarının elektrostatik olarak biyosorbentin yüzeyine adsorbe olduğu bildirilmiştir [31].

Çalışmalarımız boyunca çalkalama hızının biyosorpsiyon verimine etkisini belirlemek amacıyla 100-200 rpm uygulamaları çalışılmış ve tüm türlerde optimum çalkalama hızı 150 rpm

olarak belirlenmiştir. Çalkalama hızının biyosorpsiyon verimi üzerine çok etkili olmadığı görülmekle birlikte, artan hızlarda metal ile biyosorbentin fiziksel etkileşiminden dolayı biyosorpsiyon veriminin kısmen arttığı tespit edilmiştir. (Şekil 13-15). Tarımsal atıklar ile yapılan bir çalışmada Cu (II) iyonlarının gideriminde optimum çalkalama hızının 150-200 rpm olduğu rapor edilmiş ve çalkalama hızının metal giderim oranını pek fazla etkilemediği rapor edilmiştir [32]. Rapor edilen araştırmalar çalışmalarımızı desteklemektedir.

SONUÇ

Mevcut çalışmada, çeltik alanlarından izole edilmesine rağmen siyanobakteriler arasında ağır metallerin gideriminde farklılık olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda kullandığımız siyanobakterilerin orta derecede kontamine atık sudan bakır iyonlarının uzaklaştırılması için biyosorpsiyon aracı olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Çalışmadan elde edilen verilerin ışığı altında, tüm siyanobakteriyel cinslerin bakır gideriminde birbirine yakın değerler gösterdiği saptanmıştır. Sonuç olarak tüm cinslerin etkili, ucuz ve bol bir biyosorbent olduğu için Cu (II) içeren atık suların gideriminde kullanılabilceği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda siyanobakteriyel cinslerin tolerans ile biyosorpsiyon çalışmalarının paralel yürütülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Biyosorpsiyon alanında ki çalışmalarının bu eksene kaydırılmasında çok yönlü yarar sağlanacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, BAP- 2011/20 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklediği için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Tezcan R, Tezcan H. 2007. Metaller Kimyası. Nobel Yayınevi, Ankara. 228s.
- [2] <http://www.lenntech.com/periodic/elements/cu.htm>
- [3] Dökmeci İ. 1988. Toksikoloji akut zehirlenmelerde tanı ve tedavi. Nobel Kitabevi.
- [4] Kadirvelu K, Thamaraiselvi K, Namasivayam C. 2001. Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from

an agricultural solid waste. *Bioresource Technology*. 176: 63–65.

[5] Kadirvelu K, Senthilkumar P, Thamaraiselvi K, Subburam, V. 2002. Activated carbon prepared from biomass as adsorbent: elimination of Ni (II) from aqueous solution. *Bioresource Technology*. 81: 87–90.

[6] Kadukova J, Vircikova E. 2005. Comparison of differences between copper bioaccumulation and biosorption. *Environment International*. 31: 227-232.

[7] Kiran B, Kaushik A, Kaushik CP. 2008. Metal-salt co-tolerance and metal removal by indigenous Cyanobacterial Strains. *Process Biochemistry*. 43 (6): 598-604.

[8] Çeribasi IH, Yetis Ü. 2001. Biosorption of Ni (ii) and Pb (ii) by *Phanerochaete Chrysosporium* from a binary metal system kinetics. *Water SA*. 27 (1): 15-20.

[9] Chen H, Pan SS. 2005. Bioremediation potential of *Spirulina*: Toxicity and biosorption studies of lead. *Journal of Zhejiang University Science* 6B. (3): 171-174.

[10] Gadd GM. 1990. Heavy metal accumulation by bacteria and other microorganisms. *Experientia*. 46: 834-840.

[11] Çabuk A. 2001. Sıkıştırılmış yatak biyoreaktörde immobilize bakteriyel biyokütle kullanılarak atık sulardan ağır metal giderimi. Osmangazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir. 110s.

[12] Gupta AP, Gupta B, Anjum N. 2001. Development of membranes for toxic metal ions separation from waste water. National Conference of Indian Science Congress 3-6 January New Delhi.

[13] Romera E, Gonzalez F, Ballester A, Blazquez ML, Munoz JA. 2006. Biosorption with Algae: Statistical Review. *Critical Reviews in Biotechnology*. 26: 223-35.

[14] Salehizadeh H, Shojaosadati SA. 2003. Removal of metal ions from aqueous solution by polysaccharide produced from *Bacillus firmus*. *Water Research*. 37: 4231–4235.

[15] Okmen (Kurucuoglu) G, Donmez G, Donmez S. 2007. Influence of osmotic and metal stresses on nitrogenase activity of Cyanobacteria isolated from paddy fields. *African Journal of Biotechnology*. 6 (15): 1828-1832.

[16] Rippka R, DeReuelles J, Waterbury JB, Herdman M, Stanier RY. 1979. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of Cyanobacteria. *Journal of General Microbiology*. 111: 1–61.

[17] Rippka R. 1988. Isolation and purification of Cyanobacteria. *Methods in Enzymology*. 167: 3-27.

[18] Javaid A, Bajwa R, Javaid A. 2010. Biosorption of heavy metals a dead macro fungus *Schizophyllum commune* Fries: Evaluation of equilibrium and kinetic models. *Pakistan Journal of Botany*. 42 (3): 2105-2118.

[19] Shen L, Xia JL, Huan HE, Nie ZY. 2008. Comparative study on biosorption of Pb (II) and Cr (VI) by *Synechococcus* sp. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 18: 1336- 1342.

[20] Aksu Z, Kutsal T. 1988. Dolgulu kolonda kurutulmuş yeşil su yosununa bakır(II) iyonlarının adsorpsiyonunun incelenmesi. V. Kimya ve Kimya Mühendisliği Sempozyumu. 21-23 Eylül, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

[21] Açıkel Ü. 1996. Endüstriyel atık sulardaki ağır metal iyon karışımlarının yeşil alglerden *C. vulgaris*' e adsorpsiyonunun incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara. 137s.

[22] Malkoç E. 1998. Tatlısu algleriyle atık sulardan bakır ve kromun biyosorpsiyonu. Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum. 46s.

[23] Özer D, Özer A, Aksu Z, Kutsal T, Çağlar A. 1995. Kademeli kesikli proseslerde bakır (II) iyonlarının *Cladophora crispata*'ya adsorpsiyonu. *Doğa-Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*. 19: 407-412.

[24] Özer A, Özer D, Ekiz Hİ, Aksu Z, Kutsal T, Çağlar A. 1997. Demir (III) iyonlarının *Schizomeris leibleinii*'ye adsorpsiyonu. *Doğa-Turkish Journal of Engineering and Environmental Science*. 21: 183-188.

[25] Gürbüz MG. 2006. Bakır (II) ve Nikel (II) İyonlarının *Enteromorpha prolifera*' ya biyosorpsiyonunda denge, kinetik ve termodinamik parametrelerin belirlenmesi. Mersin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin. 123s.

[26] Kovacevic ZF, Sipos L, Briski F. 2000. Biosorption of chromium, copper, nickel and zinc ions onto fungal pellets of *Aspergillus niger* 405 from aqueous solution. *Food Technology and Biotechnology*. 38: 211–216.

[27] Sharma M, Kaushik A, Somvir BK, Kamra A. 2008. Sequestration of chromium by exopolysaccharides of *Nostoc* and *Gloeocapsa* from dilute aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*. 157: 315–318.

[28] Kiran B, Kaushik A, Kaushik CP. 2007. Response surface methodological approach for optimizing removal of Cr(VI) from aqueous solution using immobilized Cyanobacterium. Chemical Engineering Journal 126: 147-153.

[29] Beolchini F, Pagnanelli F, Toro L. 2004. Copper biosorption by *Sphaerotilus Natans* Confined in UF membrane module: Experimental Study and Kinetic Modeling. Hydrometallurgy. 72: 21-30.

[30] Vijayaraghavan K, Jegan J, Palanivelu K. 2005. Biosorption of copper, cobalt and nickel by marine green alga *Ulva Reticulata* in a packed column. Chemosphere 60(3): 419-26.

[31] Nuhoglu Y, Oguz E. 2003. Removal of copper (II) from aqueous solutions by biosorption on the cone biomass of *Thuja orientalis*. Process Biochemistry. 38: 1627-1631.

[32] Doğan N. 2005. Ağır metal gideriminde tarımsal atık kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya. 42s.