

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KURUTULMUŞ ALG HÜCRESİ İLE METAL
ADSORPSİYONU**

Ekolog Kenzhegul BOLATKHAN

**FBE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Beyza ÜSTÜN

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	ixi
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ.....	1
2 KÜÇÜKÇEKMECE GÖLÜ	3
2.1 Küçükçekmece Gölünün Oluşumu.....	6
2.1.1 Tuzluluk.....	6
2.1.2 Küçükçekmece Gölün Biyolojisi.....	7
2.1.3 Küçükçekmece Gölünün Morfolojisi ve Jeolojisi	7
2.1.4 Küçükçekmece Bölgesindeki İklim Şartları.....	8
2.1.5 Gölde Yaşanan Çevre Sorunları	10
3 SYANOBAKTERİLER	12
3.1 Syanobakterilerin kullanım alanları	13
3.1.1 Enerji Kaynağı.....	14
3.1.2 Kirlilik Kontrolü.....	15
3.1.3 Beslenme	15
3.1.4 Diğer Kullanım Alanları	17
3.1.4.1 Doğal Arıtma Sistemleri.....	18
3.1.4.2 Arazide Arıtma Sistemi	19
3.2 Alglerin Atıksu Arıtımında Kullanımı	20
3.3 Deniz Algi(Focus. sp) ile Kadmiyum Giderimi	21
4 AĞIR METALLER.....	27
4.1 Çinko	28
4.1.1 Çinko'nın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	29
4.1.2 Kullanım Alanları.....	30
4.2. Bakır	30
4.2.1 Bakırın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	30
4.2.2 Reaksiyonları.....	32
4.2.3 Bakırın Kullanım Alanları.....	32
4.3 Demir.....	33
4.3.1 Demirin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	35

4.3.2	Demirin Görevleri	36
5	BİYOSORPSİYON	38
5.1	Biyosorpsiyon Mekanizması	39
5.2	Adsorpsiyon etkileyen faktörler	42
5.3	Adsorpsiyon İzotermi	42
5.3.1	Freundlich İzotermi	43
5.3.2	Langmuir İzotermi	43
5.3.3	BET İzotermi	44
6	MATERYAL VE YÖNTEM	45
6.1	İzole edilen Siyanobakteri İzolatlarının Ağır Metal Dirençliğinin Belirlenmesi ..	48
6.2	Adsorpsiyon Çalışmaları	48
6.2.1	Adsorpsiyon Çalışmaları İçin Hazırlanan Çözeltiler	49
6.3	Adsorpsiyon İzotermi	49
6.4	Çökme Etkisinin Belirlenmesi için Yapılan Çalışmalar	50
7	SONUÇLAR	51
7.1	Bakır Adsorpsiyonu	51
7.2	Çinko Adsorpsiyonu	55
7.3	Demir Adsorpsiyonu	59
8	DEĞERLENDİRMELER	65
	KAYNAKLAR	67
	EKLER	72
	ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGE LİSTESİ

a	Adsorpsiyona ait amperik sabiti
b	Birim biyokütle üzerinde tutulan maksimum madde ağırlığı
C	Adsorplama olayı sonunda niyosorplanan maddenin denge halindeki konsantrasyonu
C _f	Adsorpsiyon sonrası adsorbat konsantrasyonu
C ₀	Başlangıç adsorbat konsantrasyonu
K	Adsorpsiyon denge sabiti
n	Karakteristik Freundlich izoterm sabiti
q	Birim biyokütle üzerinde tutulan birimmadde ağırlığı

KISALTMA LİSTESİ

Cu	Bakır Metali
Fe	Demir Metali
Zn	Çinko Metali
ppm	Milyonda bir
rpm	Dönüş Hızı(dönüş sayısı/dak.)
pH	Çözeltideki hidrojen/hidroksit iyonu ifadesi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Küçükçekmece Gölü'nün Havzasının görünüşü.....	3
Şekil 2.2	Küçükçekmece Gölünün Jeolojik Haritası.....	8
Şekil 3.1	Siyanobakterilerin Hayat Ağacı.....	12
Şekil 3.2	Chlamydomonas rh. Mikroskopla görünüşleri.....	15
Şekil 3.3	Spirulina'nın Mikroskopla görünüşü	16
Şekil 3.4	Alglerin Mikroskopla görünüşleri.....	17
Şekil 3.5	Temas süresine bağlı olarak Kadmiyum giderimi	22
Şekil 3.6	Kadmiyum Biyosorpsiyon İzotermi.....	23
Şekil 3.7	Cd Biyosorpsiyon pH parametreleri ve farklı konsantrasyonları	24
Şekil 6.1	D1 noktasının harita üzerindeki görünüşü	45
Şekil 6.7	Siyanobakterilere özel çalkalama etüv	46
Şekil 7.1	0,85 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	52
Şekil 7.2	1,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	52
Şekil 7.3	2,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	53
Şekil 7.4	6 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	54
Şekil 7.5	Farklı konsantrasyonlarda Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi	54
Şekil 7.6	2,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	55
Şekil 7.7	3,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	56
Şekil 7.8	4,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	57
Şekil 7.9	6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	57
Şekil 7.10	6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	58
Şekil 7.11	Farklı konsantrasyonlarda Çinko dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi.....	59
Şekil 7.12	2,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	60
Şekil 7.13	3,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	60
Şekil 7.14	5,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	61
Şekil 7.15	6,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	62
Şekil 7.16	9,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan Synechocystis sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi ...	63

Şekil 7.17	Farklı konsantrasyonlarda Demir dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü’nden alınan <i>Synechocystis</i> sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi.....	64
Şekil 7.18	Zn Metali için Langmuir Çalışması	64

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. 1975-2006 Yıllarına Ait Meteoroloji Verileri	9
Çizelge 3.1 Mikroorganizmalar ile Organik Kirlilik Giderimi	21
Çizelge 3.2 İkinci derece hız reaksiyonundan elde edilen parametreler	23
Çizelge 3.3 Optimum Langmuir İzoterm parametreleri	24
Çizelge 3.4 Numunle edilmiş proton ve Kadmiyum bağlama kapasitesi	25
Çizelge 4.1 Çinko'nun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	29
Çizelge 4.2 Bakırın Fiziksel Özellikleri	31
Çizelge 4.3 Bakırın Kimyasal Özellikleri	31
Çizelge 4.4 Dünya yüzeyindeki belirli birimlerin demir içeriği	34
Çizelge 4.5 Demirin Fiziksel Özellikleri	35
Çizelge 4.6 Demirin Kimyasal Özellikleri	36

ÖNSÖZ

Çalışmam süresinde Sayın Danışmanım Prof. Dr. Beyza ÜSTÜN'e, bilgileriyle ve tecrübeleriyle, sonsuz sabırlarıyla bana verdiği büyük katkılardan ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuar çalışmalarımın Siyanibakteri (E35) analizi işlemlerinde benden yardımlarını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Prof. Dr Belma ASLIM, Arş.Gör. Şahlan ÖZTÜRK ve Arş.Gör. Ebru Şebnem YILMAZ çok teşekkürler.

Küçükçekmece Projesi'ndeki tüm çalışma arkadaşlarıma özellikle sevgili Eren YILDIZ'a, Sevgi Koca'ya, laboratuar çalışmasında bana değerli zamanlarını ayıran Tamer COŞKUN ve Selami DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Uzarlarda olsalarda benden sonsuz sevgilerini esirgemeyen ve maddi manevi bütün olanaklarını bana ve tezime ayıran sevgili babam Bolatkhan ZAYADAN, sevgili annem Saule BİLAL'e tüm aileme teşekkür ederim.

Mart 2009

Kenzhegul Bolatkhan

ÖZET

Ağır metaller genellikle metal kaplama endüstrisi, otomobil endüstrisi, elektriksel ve elektronik materyallerin üretilmesi ve kullanılması, boru, silah ve lastik endüstrilerinde kullanılır. Diğer kirleticilerle karşılaştırıldığında metallerin daha önemli olması bu maddelerin sulu ortamda biyolojik olarak ayrışamamasından kaynaklanır. Ağır metaller besin zincirine girerek canlı dokularda birikebilmektedir. Bu durum, metallerin, besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşmalarına neden olmaktadır.

Küçükçekmece Gölü de dünyadaki doğal lagün göllerden ve ciddi bir metal kirliliğine maruz kalan ekosistemlerden biridir. Ayrıca gölde tarımsal faaliyetler neticesinde nütrient kirliliği de görülmektedir. Küçükçekmece Gölü'nde yapılan su kalitesi çalışmalarında suda demir, çinko, bakır metallerine rastlanmıştır.

Bu denemede Küçükçekmece Gölü'nden, ötrofikasyon döneminde alınan su örneklerinden izole edilen siyanobakteri izolatlarının Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} metallerin adsorpsiyonu incelenmiştir. Çalışmada önce gölden izole edilmiş Siyanobakteri izolatının Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} metallerin 1-10 ppm arasındaki konsantrasyonunda, 14 günlük periyotta klorofil ölçümü yapılarak gelişim eğrileri çıkarılmıştır. Her bir deneme 144 saat sürdürülmüştür, bakteri kütlesi(ağırlığı) 0,1g, çözeltide hacmi 40ml alınmıştır.

Tezin amacı Kurutulmuş Siyanobakteri (*Synechocystis* sp.) hücresi ile metal adsorpsiyonu. Küçükçekmece gölünden alınan numuneler Ankara Gazi Üniversitesi Biyoloji bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarında izole edilmiş ve deneysel çalışmalar hazır hale getirilmiştir; Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında analiz edilmiştir.

Synechocystis sp.izolotu ile çalışılan Fe^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} adsorpsiyon denemeler sonucunda; Bakır metali ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında, genel olarak desorbe olduğu gözlenmiştir. Çinko için izoterm çalışmalarında Çinko'nun Langmuir İzotermine uygun olduğu görülmüştür. Demir metalinin dozlanan konsantrasyonlarda hem adsorpsiyonu hem de desorpsiyonu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ağır metal, adsorpsiyon, biyosorpsiyon, siyanobakteri, kurutulmuş alg hücresi

METAL ADSORPTION BY DRIED ALGAE

ABSTRACT

Heavy metals are generally used at the industry of covering the metals, industry of automobile, production and usage of electric and electronic materials and at the industries of tube, gun and rubber. Compared to other polluting metals these metals have the importance of not being able to be decomposed biologically at water system. Heavy metals can gather at the lifeless tissues by entering to the nourishment chain. This situation causes it to reach to human beings by the nourishment chain.

The Kucukcekmece lake is one of the natural lagoon lakes on the world but unfortunately have exposed to the metal pollution. Besides at the lake there are nutrient pollution as an outcome of the agricultural activities. At the water quality experiments on the Kucukcekmece lake they have been encountered to iron, zinc, copper with an essential concentration as a water and sediment structure. In this experiment, the absorptions of Fe^{+2} , Zn^{+2} , and Cu^{+2} metals which are *Synechocystis* sp. isolations isolated from the water of The Kucukcekmece lagoon at eutrophication period. Experiments during the study were done by using *Synechocystis* sp. Isolation as adsorbate and metals Fe^{+2} , Zn^{+2} and Cu^{+2} between 1-10 ppm as adsorbent in 14 days period. Chlorophyll were measured as a control indicator for adsorption process and the chlorophyll value was drawn. Moreover, experiment have continued for 144 hours, bacterium mass is 0.1 gram and volume liquid of 40 ml.

The aim of this thesis is the absorption of dried *Synechocystis*.sp cell with metal. The samples taken from the Kucukcekmece lake have been isolated at biotechnology laboratory of Biology department of Ankara Gazi University and all adsorption samples were analyzed at the Environmental Engineering Laboratory, Yildiz Technical University.

As the results of the experiments studied from Fe^{+2} , Zn^{+2} and Cu^{+2} by the *Synechocystis*.sp isolations: in Copper metal adsorption studies generally it shows that it's a desorbent. For Zinc isotherm studies it was accepted that Zinc is appropriate for Langmuir Isotherm. Iron, on the other hand at the dosaged concentrations has both the adsorption and the desorption.

Key Words: heavy metal, adsorption, biosorption, Cyanobacter, dried algae cell.

1.GİRİŞ

Son yıllarda, dünya üzerinde mevcut su kaynaklarının birçoğu metal kirliliği ile karşı karşıyadır. Su kaynaklarından yararlanan canlıların, yaşamsal aktivitelerinin devamlılığı açısından, sucul ortamlarda metal giderimi önem taşımaktadır. Hemen hemen bütün metaller; su içinde yaşayan organizmaların yanı sıra, maruziyet seviyesi yeterince yüksekse insanlar için de, toksik etkiler gösterirler. Bu nedenle su ekosistemlerine ve dolayısıyla insan sağlığına olan olumsuz etkilerinden dolayı metal iyonları çeşitli yöntemlere su ve atık sulardan giderilmelidir (Hsuani-Liang Lui vd., 2004).

Ağır metaller genellikle metal kaplama endüstrisi, otomobil endüstrisi, elektrik ve elektronik materyallerin üretilmesi ve kullanılması, boru, silah ve lastik endüstrilerinde kullanılır. Diğer kirleticilerle karşılaştırıldığında, metallerin su ekosistemlerinde biyolojik olarak ayrıştırılamaması metallerin kirlilik etkisini arttırmaktadır. Ağır metaller, besin zincirine girerek canlı dokularında birikebilmektedir. Bu durum, metallerin, besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşmalarına neden olmaktadır (Zaidi vd., 2005).

Ağır metallerin sucul ortamlardan giderilmesinde kullanılan geleneksel yöntemler; iyon değişimi, aktif karbon ile adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, ters osmoz, filtrasyon ve membran teknolojileri şeklinde sıralanabilir.

Metal iyonlarının sulu çözeltilerden mikroorganizmalar ile tutulmasına biyosorpsiyon denir. Ağır metalleri atık sulardan uzaklaştırmak, eser metalleri ayırmak ve zenginleştirmek için alg, mantar, maya, bakteri gibi mikroorganizmalar son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hem ölü hem de canlı mikroorganizmalar metalleri tutma özelliğine sahiptir (Zayadan vd., 2006).

Küçükçekmece Göl suyunda ve sedimentinde birçok metal gözlenmektedir. Bunlardan en fazla konsantrasyona sahip olanlar, TÜBİTAK ve GSRT'nin ortak bir çalışmasıyla yürütülmüş olan 102Y011 nolu "Küçükçekmece Havzasında Çevre Yönetim Modeli Geliştirilmesi" adlı projenin son raporunda da belirtildiği gibi Cu, Fe, Zn, Ni, Cr, Mn ve Mg'dir. Bu çalışmada ise, Küçükçekmece Gölün de konsantrasyonu en fazla olan Cu, Fe, ve Zn ile çalışılmıştır (Üstün vd., 2005).

Bu tez çalışmasında amaç; göl ekosistemi içerisinde yer alan *Microcystis sp.* Cinsi Siyanobakteri (*Synechocystis sp.*) mavi-yeşil algin adsorbent olarak kullanımı ile gölde yüksek kirlilik yüküne neden olan Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} metallerinin laboratuvar koşullarında adsorpsiyonunun denenmesi ve bu sayede Küçükçekmece Gölü'nün kirlilik yükünün azaltılmasına ilişkin metodlara ışık tutabilmektir.

Kurutulmuş Siyanobakteri (*Synechocystis sp.*) hücresi ile yapılan Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} metallerinin adsorpsiyon çalışmaları için Küçükçekmece gölünden alınan numuneler Ankara Gazi Üniversitesi Biyoloji bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarında izole edilmiş, deneysel çalışmalar için hazır hale getirilmiştir ve Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında analiz edilmiştir.

2. KÜÇÜKÇEKMECE GÖLÜ

Küçükçekmece Gölü İstanbul'un 15 km batısın yer alıp, yüz ölçümü 14 km²' dir. Göl, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 17.05.2005 tarih ve 25818 Sulak Alanların Korunması Yönetmeliği'ne göre uluslararası öneme sahip 135 sulak alandan birisidir. 1994 yılında özellikle ülkemizin taraf olduğu Ramsar Sözleşmesi kapsamında değerlendirebilecek, Türkiye'deki en uygun ekosistemlerinden birisidir. Biyolojik çeşitlilik bakımından değerlendirildiğinde, dünyada birçok bölgeden daha zengindir. Jeolojik dönemdeki buzulların erimesiyle, deniz seviyelerinin yükselmesi sonucunda, Çanakkale Boğazı'nın yarılarak Marmara Çukurunun dolması, bu deniz istasıyla eski vadi ağzlarının boğularak 'ria'ların ortaya çıkması sonucu önce koy, zamanla da kıyı kordonuyla kaplanarak lagün haline gelmiştir. Küçükçekmece Gölü'nün kuzey-güney doğrultusundaki uzunluğu 10 km, en geniş yeri yaklaşık 6 km'dir ve derinliği güney kıyı yakınlarında 21 m'ye yaklaşmaktadır. Küçükçekmece Gölü'nü, Çatalca Yarımadası'nın iç kesimlerinden kaynaklanan üç küçük akarsu beslemektedir. Bunlar, Nakkaşdere, Sazlıdere ve Eşkinöz Deresi'dir (Başer vd., 2006). Şekil 2.1'de Küçükçekmece Gölünün yerleşimi görülmektedir.



Şekil 2.1 Küçükçekmece Gölü'nün havzasının görünüşü

Küçükçekmece Kasabası 19.yy'da Çatalca'ya bağlı bir köy statüsünde bulunmaktaydı. 1908'de aynı statü ile Bakırköy'e bağlanan Küçükçekmece, Cumhuriyet'in ilk döneminde de bu konumunu korumuştur (Tunçer, 1999).

Küçükçekmece Bölgesinde göçlerin 3 ana dönemde olduğu anlaşılmaktadır. İlk göçler Cumhuriyetin kuruluşu sırasında olmuştur. Bu dönemde Avrupa'da özellikle Selanik'te yaşayan Türkler Küçükçekmece bölgesinde yaşayan Yunanlılarla yer değiştirmişlerdir (Üstün vd. 2005).

1950 ve 1960'lı yıllar arasında ikinci göç dönemi yaşanmıştır. Bu dönemde gölün batı kısmında Cumhuriyet Mahallesi, Yeni Mahalle, Kanarya Mahallesi, İstasyon Mahallesi ve Altınşehir Mahallesi gibi yerleşmeler kurulmuştur (Üstün vd., 2005).

1970'li yıllardan itibaren başlayıp günümüze kadar etkili bir şekilde devam eden göçler üçüncü dönem olarak ifade etmektedir. Bu dönemde çevresel ve sosyal problemlerin kaynağı kontrolsüz nüfus artışı ortaya çıkmıştır. Anadolu'dan özellikle Güneydoğu Anadolu'dan insanlar Küçükçekmece bölgesine gelmiştir. Bölgenin büyük bir kısmın imar izni bulunmamaktadır ve yasal olmayan inşaatlar bu kısımlarda görülmektedir (Üstün vd., 2005).

Küçükçekmece gölü, önceleri su alma havzası iken şimdi su toplama havzası olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel faaliyetlerinin bölgede yoğunlaşması ve yapılaşmanın artması eski Halkalı çöplüğünün sızıntı suları tehlikesi, denizle ilişkisinin kesilmesi gibi nedenlerden havza olumsuz etkilenmektedir (Akyapı, 2005).

Günümüzde Türkiye'nin ve Dünya'nın nadir lagün göllerinden biri olan Küçükçekmece Gölü'de aynı etkilere yıllardır maruz kalmıştır ve halen maruz kalmaya devam etmektedir.

Küçükçekmece Gölü'nü ve Havzası'nı bu kadar önemli yapan özellikleri şunlardır: (Akyapı vd., 2005)

- İçme ve kullanma suyu temin edilebilecek olan yüzeysel su kaynağıdır.
- Önemli sayıda su kuşu için barınaktır.
- Küresel olarak tehdit altındaki türleri barındıran bir bölgedir (Bern sözleşmesi).

- Endemik tür bakımından zengin bir alandır (1998 yılına göre 18 çeşit).
- Ekonomik açıdan önemli balık türlerini barındıran bir bölgedir.
- Dünyada denizle bağlantısı olan nadir lagün göllerinden biridir.

Bu ender özelliklerine rağmen Küçükçekmece Gölü birçok kirlilik faktörüyle karşı karşıyadır. Bunlar genel olarak evsel kirleticiler, zirai kirleticiler ve endüstriyel faaliyetlerin sonucu ortaya çıkan kirleticiler olarak 3 ana başlık altında toplanabilir. Fakat bölge için spesifik bir kirlilik maddeler hazırlanması gerekirse Küçükçekmece Gölü (Üstün vd., 2005) ;

1. Hızlı nüfus artışı
2. Planlama ve alt yapı eksikliği,
3. Bölgenin 1984-1997 yılları arasında havza koruma alanı dışında tutulması,
4. Kara yolu trafiği,
5. 1995 yılında kapatılan Halkalı çöplüğü sızıntı sularının, geçmişte yeraltı suları ile göle ulaşma olasılığı olduğundan halen çöplük kapatılmasına rağmen havza üzerindeki olumsuz etkileri,
6. Gölü besleyen en önemli su kaynaklarından biri olan Sazlıdere üzerine Sazlıdere barajının yapılmasıyla göl dere bağlantısının kesilmesi, ayrıca barajında giderek kirleniyor olması,
7. Göl kıyısında kıyı genişletmek, park yapmak veya başka amaçlar için gölün doldurulması,
8. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Laboratuvarları sıvı atıklarının 1997 yılının sonuna kadar göle boşaltılması.
9. Bölgedeki endüstriyel atık suların arıtılmadan göle akması gibi nedenlerden dolayı ciddi bir kirlilik problemi ile karşı karşıyadır. Bu tezin konusunu oluşturan metal kirliliğinin büyük bir kısmı Küçükçekmece Gölü'nün çevresindeki endüstriyel alanlardan kaynaklanmaktadır (Akyapı vd., 2005).

2.1 Küçükçekmece Gölün Oluşumu

Marmara Denizi'nin kapalı bir havza olduğu dönemde Büyükçekmece ve Küçükçekmece Gölleri'nin bulunduğu alanda oldukça derin kazılmış akarsu vadileri vardı. Son jeolojik dönemdeki buharlaşma sona erince denizlerin yüzeyi yükseldi ve Çanakkale Boğazını yaran Akdeniz suları Marmara çukurluğunu doldurdu. Bu deniz istilasına ya da basması sonucunda eski vadi ağzları boğularak "ria" lar ortaya çıktı. Göl dibinde eski dere vadilerine ait olukların günümüzde bile izlenebilmesi, bu küçük girintilerin deniz basması sonucunda oluştuğunu gösterir (Akyapı vd., 2005).

Koyun önü zaman içinde kıyı kordonuyla kapanarak lagüne dönüşmüştür. Lagünü denizden ayıran kıyı kordonunun sona erdiği doğu kesimde derinliği ancak 1,5 m olan bir geçit bulunmaktadır. Denizle göl arasındaki bağlantıyı yakın zamana kadar bu geçit sağlamaktaydı. Bu nedenle göl suları az tuzluydu. Son yıllarda kıyı kordonunda yapılaşmanın artması, gölü besleyen akarsuların cıızması gibi nedenlerle bu geçit, ender olarak bağlantı sağlamaktadır. Büyük sözcüğü bulunmasına rağmen 12 km'lik Büyükçekmece Gölü, eskiden Küçükçekmece Gölü'nden daha az bir alanı kaplardı. Ancak İstanbul'un su gereksinmesinin bir bölümünü karşılamak amacıyla önüne baraj kurulan Büyükçekmece Gölü'nün günümüzdeki yüzölçümü 43 km² ye ulaşmıştır (Ağcıoğlu, 2004).

Küçükçekmece Gölü'nü , Çatalca Yarmadası'nın iç kesimlerinden kaynaklanan üç küçük akarsu beslemektedir. Bunlar Nakkaşdere, Sazlıdere ve Eşkinöz Deresi'dir. Göl, bu dere ağzlarının binlerce yıl önce deniz basması sonucunda oluşmuştur.

2.1.1 Tuzluluk

Daha önce deniz suyu özelliğine sahip olan göl arada oluşan kıyı setinden sonra yavaş yavaş bir az tuzlu lagün (%1-15) özelliği göstermeye başlamıştır. Göl tuzluluk oranına bağlı olarak oligo-meaohalin göller sınıfına girer. Gölün Sazlıdere'nin bulunduğu kısmında tuzluluk oranı % 1-3, Küçükçekmece ilçesi merkezi önünde % 8-11 ve denizle bağlantıyı sağlayan kanal da ise % 8-15 arasındadır (Ağcıoğlu, 2004).

Yağmurlar başlamadan önce birçok gölde olduğu gibi su seviyesi buharlaşmadan önce azalmakta ve göl en alt su seviyesine ulaşmaktadır. Küçükçekmece gölünde de bu olay her yıl tekrarlanmaktadır. Bu olaya bağlı olarak deniz suyunun göle girişi artmaktadır. Deniz suyunda bulunan sodyum ve klor iyonlarının göl ortamına ulaşması ile tuzluluk gölün orta bölgelerine doğru artmaktadır. Gölde elde edilen tuzluluk değerleri gölün mesohalin olan bir acısı olduğunu göstermektedir. (Akyapı vd., 2005)

2.1.2 Küçükçekmece Gölün Biyolojisi

Günümüzde lagün gölü özelliğine sahip olan bu göl Sazlıdere, Nakkaşdere ve Hadımköy dereleri ile beslenmektedir. Gölün en derin yeri Firuzköy açıklarında 20 metre olarak ölçülmüştür. Göl kuzey-güney doğrultusunda sahip bir coğrafik konuma sahip olduğundan kuzey rüzgarlarına (Poyaz, Karayel ve Yıldız) ve güney rüzgarlarına (Lodos) açıktır. Lodos deniz suyunun göle girmesine sebep olan başlıca etmendir. Bundan dolayı gölde öğle saatlerinde başlayan bir dalganma görülür. Gölün dip çamur H_2S ve metan kokmaktadır. Aşırı kirlenmiş olan gölün 20 metre derinliğinde olan kısmından alınan sedimentte sadece hayvan kabukların bulunması ve herhangi bir canlı türüne rastlanmaması da gölün dip kısmında oksijensiz bir ortamın bulunduğu kanıtıdır.

Son 10 yıldır Mart ve Mayıs aylarında göl suyu fitoplankton türlerinin aşırı artışı neticesinde açık yeşil renge dönüşmektedir. Suyun yeşil renge dönüştüğü bu dönemde yapılan Secchi diski ölçümlerinde Secchi diski derinliği 30-35 cm olarak ölçülmüştür. Daha sonraki aylarda suyun rengi eski haline dönmektedir.

2.1.3 Küçükçekmece Gölü'nün Morfoloji ve Jeolojisi

Küçükçekmece Gölü, Marmara denizinden yaklaşık 100 m yüksektedir. Havzanın morfolojisine bakıldığında yamaçların üst yüzeylerinin yataya yakın bir eğime sahip olduğu görülmektedir. Kuzey – güney doğrultuda uzanan fay hatlarının bugün ki morfolojik şekillenmesine etken olduğu ve Küçükçekmece Gölü'nün bugün ki konuma ulaşmasında belirleyici rol aldığı anlaşılmaktadır (Başer, 2006; Akyapı, 2005; Üstün vd., 2005).

hareketini engellemektedir. Bu yüzden kıyı kesimler iç kesimlere oranla daha fazla yağış almaktadır (Üstün vd., 2005). Bölgedeki 2005 yılı yağış değerleri 20.2 mm ile 151 mm arasında saptanmıştır. 1975-2006 yılları arasındaki yağış ortalamaları Çizelge 2.1’de verilmiştir. Veriler İstanbul Meteoroloji Müdürlüğü’ne bağlı Florya ölçüm istasyonuna aittir (Üstün vd., 2005).

1997 - 2006 yılları kış ortalama sıcaklık değerleri $5.9^{\circ}\text{C} \sim 7.7^{\circ}\text{C}$, yaz ortalama sıcaklık değerleri $21.5^{\circ}\text{C} \sim 23.8^{\circ}\text{C}$, bahar ortalama sıcaklık değerleri $7.7^{\circ}\text{C} \sim 16.7^{\circ}\text{C}$ ve güz ortalama sıcaklık değerleri $11.2^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ’dir. Sıcaklığın 0°C ’nin altına düştüğü zamanlar çok nadir ve kısadır. 1975’ten 2006 yılına kadar olan aylara göre ortalama sıcaklıklar Çizelge 2.1 de sunulmuştur.

Bölgedeki etkin rüzgar kuzey, kuzeydoğu yönünde eser. İstanbul için etkin rüzgar kuzey olmakla birlikte yıl içinde hava koşullarına ve mevsimlere bağlı olarak rüzgar yönü değişir.

Çizelge 2.1 1975-2006 Yıllarına Ait Meteoroloji Verileri [10]

METEOROLOJİK VERİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975-2006)												
Ortalama sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	6.1	5.9	7.7	12.1	16.7	21.5	23.8	23.5	20.0	15.6	11.2	8.0
Ort. en yüksek sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	9.0	9.2	11.6	16.6	21.3	26.2	28.5	28.3	24.9	19.9	14.8	10.7
Ort. en düşük sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	3.6	3.2	4.6	8.3	12.4	16.8	19.4	19.5	16.0	12.3	8.3	5.4
Ort. güneşlenme süresi	2.3	3.1	4.6	6.0	8.0	9.8	10.5	9.4	7.9	5.2	3.3	2.2
Toplam yağış miktarı, mm	83.5	62.0	63.4	48.5	36.2	27.3	26.3	30.2	36.1	80.7	88.0	105.1
Ort. yağışlı gün sayısı	17.3	14.9	13.0	11.3	7.6	6.4	3.9	5.6	7.0	11.3	13.7	16.9
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975-2007)												
En Yüksek Sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	18.3	24.0	26.2	32.9	33.0	40.2	39.7	38.8	33.6	34.2	27.2	21.2
En düşük sıcaklık, $^{\circ}\text{C}$	-7.9	-8.0	-6.9	0.6	3.6	9.0	13.5	12.2	9.2	3.2	-1.0	-3.4
En çok yağış	30.10.1978	81.3 kg/m ²	En hızlı rüzgar		09.01.1975	98.6 km/s	En yüksek kar		09.03.1987	44.0 cm		

2.1.5 Gölde Yaşanan Çevre Sorunları

Küçükçekmece gölü ve çevresi; İstanbul Metropolitan Kent Bütünü içerisinde Cumhuriyetin ilk yıllarından bu yana geleneksel olarak dinlenme, eğlenme ve rekreasyon bölgesi olarak önemini korumuştur. Ancak, bu kesimde son 15-20 yıldır denize girilmesi sakıncalı, deniz ürünlerinin yenilmesi sağlık açısından tehlikeli hale gelmiştir. 1970’li yılların başlarına kadar etrafında Küçükçekmece ve Firuzköy yerleşmeleri bulunan göl, İstanbullar için bir mesire yeri fonksiyonu görmekte idi. Bu yıllardan sonra İstanbul’un hızlı bir göç olgusu ile karşılaşması neticesinde, Gölün batı kısmındaki Avcılar, Firuzköy ve Esenyurt yerleşimleri genellikle alt yapı sorunları olan büyük yerleşimlere dönüştüler. (Üstün vd., 2006)

Günümüzde gölün batı kıyısında, Hadımköy deresi ile göl arasında kalan bir alan sadece tarımsal faaliyetler için kullanılan bir bölge olarak kalabilmiştir.

Gölün Kuzey kısmında E-80 (İstanbul-Edirne otoyolu) geçmektedir. Gölün kuzey batısında Bahçeşehir adı verilen yeni bir uydu kent oluşturulmuştur. Gölün en önemli su kaynağı olan Sazlıdere’nin üzerinde 1995’te kurulan içme suyu amaçlı Sazlıdere Barajı, göle gelen su miktarını azalmıştır. Sazlıdere’nin etrafında Altınşehir adı verilen ve büyük alt yapı sorunlarına sahip bir yerleşim oluşmuştur. Gölün doğu tarafında Küçükçekmece, Kanarya ve Halkalı gibi yerleşimler bulunur. Gölün kıyısında Küçükçekmece Nükleer Araştırma Merkezi (ÇNAEM) ve Askeri bölgeye içinde kalan bir alanda yerleşim yoktur. Gölün etrafındaki ağaçlık alanlarda genelde bu bölgede bulunmaktadır. Bu alanın önünde bulunan sazlıklar su kuşları için önemli bir üreme alanıdır. Kapatılana kadar Halkalı’da bulunan çöplük, göl için önemli bir ekolojik tehdit oluşturmaktaydı (Ağcıoğlu, 2004).

Göl etrafındaki yerleşim alanları artıp da göl hızla kirlenene kadar gölün içme suyu rezervuarına dönüştürülmesi düşünülmüşse de, kentsel dokunun içinde kalan ve suyu kirlenen gölün artık bu amaçla kullanılma imkanı kalmamıştır. Göl kirliliğinin artması neticesine balıkçılık önemini kaybetmiştir. Göle dereler yağmur suları ve kanalizasyon şebekesi gelen evsel, endüstriyel ve tarımsal kirleticiler göldeki kirliliğin sebebidirler. Bir lagün gölü olan Küçükçekmece Gölü etrafındaki yağun yapılaşmadan ve sanayi

tesislerinden kaynaklanan kirleticiler ile kirlenmektedir. Bunun yanı sıra atmosferik kirleticiler de gölü kirletmektedir. Marmara denizinde gelen kanal da belli zamanlarda kirleticileri göle taşımaktadır (Ağcıoğlu, 2004).

Gelişmekte olan ülkeler, nüfus artışı sonucu oluşan plansız ve altyapısız yerleşimler, endüstriyel faaliyetler gibi etkenlerle birlikte ciddi çevre kirliliği problemleriyle karşı karşıyadır. Biyolojik çeşitliğin korunması ve doğal zenginliklerin sürdürülebilirliğinin sağlanması dünyamızın geleceği açısından çok önemlidir. Giderek azalan veya kirlenen su kaynakları canlı yaşamını tehdit altına almaktadır (Akyapı, 2005).

Küçükçekmece Gölü ve Havzası da bu açıdan olumsuz etkilenmektedir. Oysaki çeşitli amaçlar için su temin edilen ve edilecek olan yüzeysel bir su kaynağı, uluslararası öneme sahip bir sulak alan, çok sayıda su kuşu için barınma ve beslenme kaynağı, biyoloji açısından zengin bir alan olup dünyada denizle bağlantısı olan nadir göllerden biridir (Akyapı, 2005).

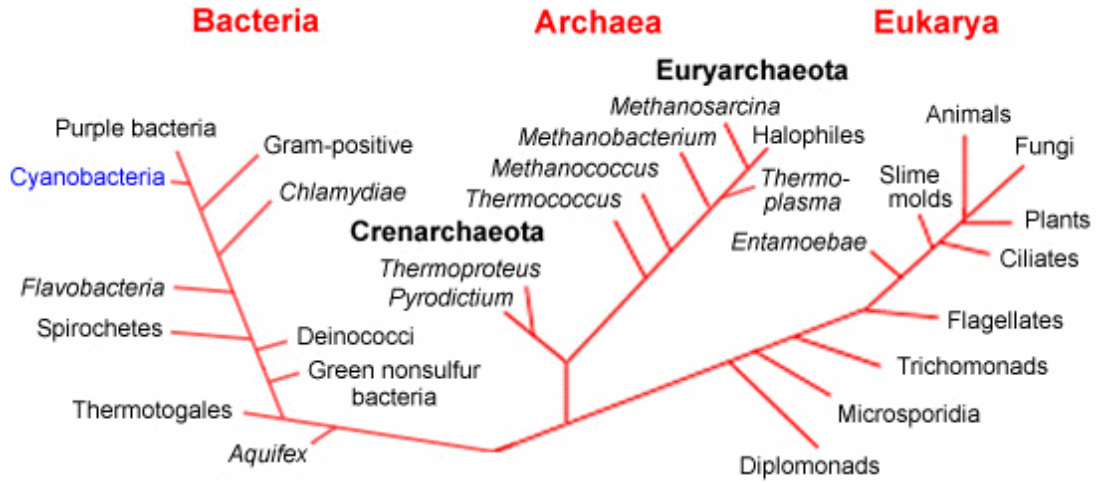
Endüstriyel ve evsel atıksuların arıtılmaksızın göle ya da gölü besleyen derelere desarjları sonucu göldeki kirlilik yükü sürekli olarak artmaktadır. Kirleticiler sadece su kütlesine değil gölün sediment yapısında da birikerek gölün sürdürülebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedirler. Ayrıca gölün su ve sediment kalitesini etkileyen bir diğer önemli faktörde Küçükçekmece Gölü'ne temiz su taşıyan Sazlıdere Deresi üzerinde 1996 yılında inşa edilen Sazlıdere Barajı'dır. Bu barajın yapımıyla birlikte göle temiz su akışı engellenmiş ve dolayısıyla gölün özümleme kapasitesi azalmıştır (Üstün vd., 2006).

Havzada yapılmakta olan su ve sediment kalitesi izleme çalışmaları sonucu kirletici kaynaklar ve göle etkileri belirlenmiş ve belirlemeye devam etmektedir (GSRT-TÜBİTAK 102A011, TÜBİTAK 105Y116). Buna göre organik kirleticilerin yanı sıra, inorganik kirleticilerin de havzanın kirlenmesinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Havzadaki bu inorganik kirleticilerin en önemlileri ağır metallerdir. Ağır metaller kalıcılık ve birikme özellikleri ile canlı yaşamı için tehlike oluşturmaktadırlar. Ayrıca su ortamlarında sediment yapı üzerinde tutulma eğilimi göstererek kirleticileri arttırmaktadır. (Üstün vd., 2006)

3. SİYANOBAKTERİLER

Bu çalışma kapsamında ki, adsorpsiyon çalışmaları için Küçükçekmece gölünden izole edilen Siyanobakteri (*Synechocystis* sp) kullanılmıştır. Bu bölümde Cyanobakteriler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

“Uzun zaman süresince sucul olmaları ve fotosentez yapmalarından dolayı alg sanılmış olsalar da mavi-yeşil algler günümüzde prokaryotik olmalarından dolayı bakteriler adı altında incelenmektedir (Şekil 3.1). Mavi-yeşil bakteriler, mavi-yeşil alg, Myxophyceae, Cyanophyceae, Cyanophyte, Cyanobacteria, Cyanoprokaryote v.b. çeşitli isimleri vardır. Fakat günümüzde en çok kabul gören Cyanobacteria adını sahip oldukları [phycocyanin](#) pigmentinden aldıklarıdır” (Batram vd., 1999) 27-48



Şekil 3.1 Siyanobakterilerin Hayat Ağacı

Siyanobakterilerin (mavi yeşil algler) çoğunluğu tek hücreli olduğu için tanımlanmaları sadece mikroskop kullanılarak yapılabilir. Ayrıca çok hücreli bazı alg türü de çok küçük boyutlarda olabilir. Siyanobakterilerin boyutları, ağırlıkları ve şekilleri çok büyük farklılaşmalar gösterir (R. Jan Stevenson vd., 1996).

Gerek doğal ortamda gerekse laboratuvar koşullarında kültürü yapılan alglerin ekonomideki önemi büyüktür. Bu önem Siyanobakterilerin çok çeşitli alanlarda kullanılmasından ileri

gelir. Siyanobakterlerin üretim günümüzde ötrofikasyon kontrolü, atık su arıtımı, güneş enerjisinin biyomasa dönüştürülmesinde en etkili ve en önemli ekonomik yoldur (Esra vd.,2002).

Siyanobakteriler, fotosentez yoluyla ışığı soğurup inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren; oldukça basit yapıda, ökaryotik, canlı sucul organizmalardır. Küçük tek hücreli türlerden karmaşık çok hücreli yapılara kadar çeşitlilik gösterirler. Tüm alglerin siyanobakterilerden türemiş fotosentez mekanizmaları vardır ve siyanobakteri türevi olmayan fotosentetik bakterilerin tersine fotosentez yan ürünü olarak oksijen üretirler. Siyanobakterilerin insan ve hayvan solunumu için gerekli olan küresel oksijen üretiminin %7 3 ila 87'sinden sorumlu oldukları tahmin edilmektedir. Siyanobakteriler genelde nemli yerlerde ya da sulak alanlarda bulunurlar. Karadaki siyanobakteriler daha ziyade nemli yerlerde ve tropik bölgelerde bulunurlar çünkü karada yaşamaya elverişli olabilecek vasküler dokuları yoktur (Munoz vd., 2006).

Siyanobakterilerin birçok türü akuatik ekolojide önemli rol oynarlar. Mikroskopik çeşitleri su kolonunda süspanse halde bulunur -fitoplankton diye adlandırılırlar- ve birçok denizel besin zincirinde temel besini oluştururlar. Çok yüksek konsantrasyonlarda (alg patlaması olarak adlandırılır) bu algler suyun rengini bozarlar ve diğer canlılar için toksik etkiye neden olabilirler (Munoz vd., 2006).

3.1 Siyanobakteriler kullanım alanları

Siyanobakteriler çok çeşitli amaçlar için kullanılır. Gübre, toprak şartlandırıcı kullanım alanlarından bazılarıdır. Birçok tür akuatik ve mikroskobiktir. Tanklarda veya havuzlarda üretilir. Hasat edilebilir yada atık su arıtımı için doğrudan havuzlara pompalanabilir (Tarlan vd., 2002).

Asırlar boyu deniz yosunları gübre olarak kullanılmışlardır. Aynı zamanda alglerin agar olarak ticari kullanımı da yaygındır.

3.1.1 Enerji Kaynağı

Siyonobakteriler (mavi yeşil algler) biyodizel üretiminde de kullanılabilirler ve bazı tahminlere göre, aynı amaçla yetiştirilen toprak ürünlerine göre çok daha fazla miktarda yağ içerirler.

Algler hidrojen üretimi için de kullanılabilirler. 1939'da Hans Gaffron isimli Alman bir araştırmacı Chicago Üniversitesi'nde *Chlamydomonas reinhardtii* (bir yeşil alg türü) türü ile çalışırken, bu algin bazen oksijen üretiminden hidrojen üretimine döndüğünü gözlemlemiştir. Gaffron bu değişimin nedenini keşfedememiştir ve araştırmacılar senelerce onun bulduğu sonuçları tekrarlamışlar ancak ilerleme kaydedememişlerdir (Luz vd., 2007).

1990'ların sonunda, Berkeley'deki California Üniversitesi'nde araştırmacı olan Prof.Anastasios Melis, alg kültür ortamında sülfür kısıntısı olduğunda üretimin oksijenden (normal fotosentez) hidrojene döneceğini keşfetmiştir. Bu reaksiyondan sorumlu enzimin hidrogenaz olduğunu ancak bu hidrogenazın oksijen varlığında fonksiyonunu kaybettiğini bulmuştur. Melis, alg için gerekli olan sülfürün kısıtlanması durumunda, iç oksijen akışının durduğunu ve hidrogenazın aktif olabileceği bir ortam oluştuğunu belirtmiştir. Aynı zamanda *Chlamydomonas moeweesi* de hidrojen üretimi için iyi bir türdür.

Siyonobakteriler; tatlı, tuzlu ve alkali sularda, sıcak su kaynakları gibi son derece geniş yaşam alanlarına sahiptirler. Tek hücreli ve kaloni halinde bulunabilirler.



Şekil 3.2 Chlamydomonas rh mikroskopa görüşleri(Zayadan, 2007)

3.1.2 Kirlilik Kontrolü

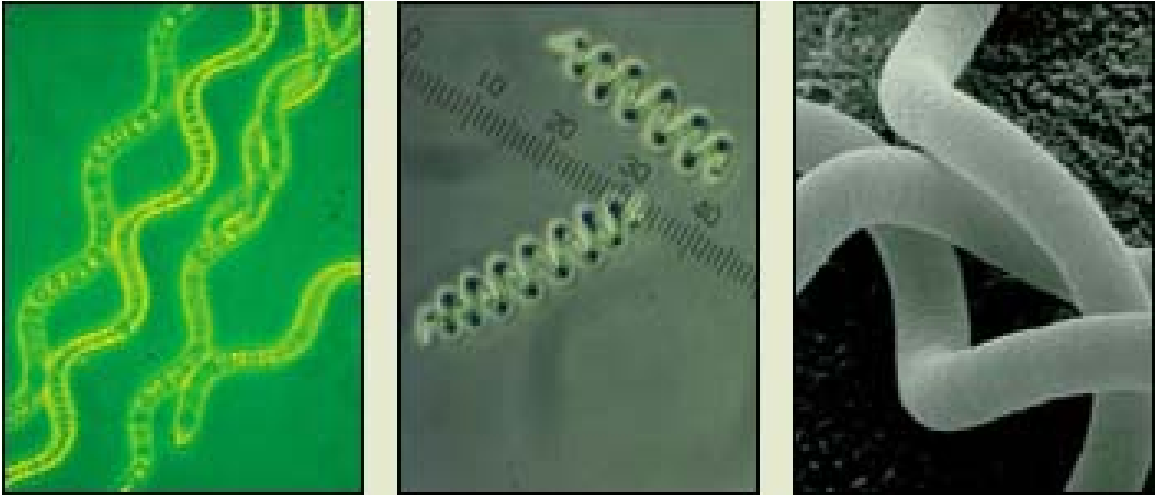
Siyanobakteriler atık su arıtıma tesislerinde tehlikeli madde içeriğini düşürmede, çiftliklerden yağmur suyu ile akan gübrelerin tutulmasında (algler için besin ortamı olarak) kullanılırlar. Hasat edildiğinde bu zenginleşmiş alglerin kendileri de gübre olarak değerlendirilir. Siyanobakteri biyoreaktörleri, bazı işletmelerde CO₂ emisyonlarının azaltılmasında kullanılabilir. CO₂ havuzlara, tanklara beslenebilir ya da alternatif olarak biyoreaktör bir baca gazının bitişiğine yerleştirilebilir. Bu teknolojinin öncüsü Massachusetts-kökenli Green Fuel Technologies firmasıdır (Luz vd., 2007).

3.1.3 Beslenme

Deniz yosunları özellikle Asya'da önemli besin kaynağıdır. A, B1, B2, B6, niacin ve C vitaminlerini içerir. İyot, potasyum, demir, magnezyum ve kalsiyum bakımından

zenginlerdir (Luz vd., 2007).

Algler ticari olarak diyet takviyesi olarak yetiştirilir. En önemli türlerden bir tanesi olan *Spirulina* (Şekil 3.3) (*Arthrospira platensis*), bir siyanobakteridir (mavi-yeşil alg olarak bilinir) ve “süperbesin” olarak tanımlanır. Besin değerleri sebebiyle kültürleri yapılan diğer alg türleri; *Chlorella* (yeşil alg) ve beta-karotene ve C vitamince zengin *Dunaliella*(*Dunaliella salina*)’dır.

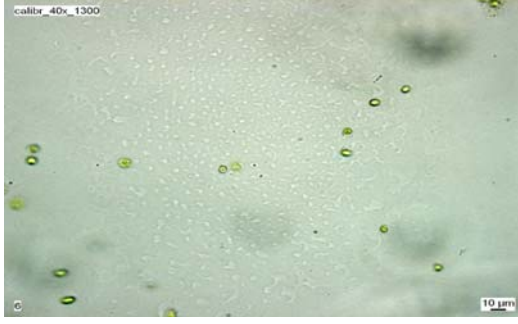


Şekil 3.3 *Spirulina* mikoskopa görünüşü(Zayadan, 2007)

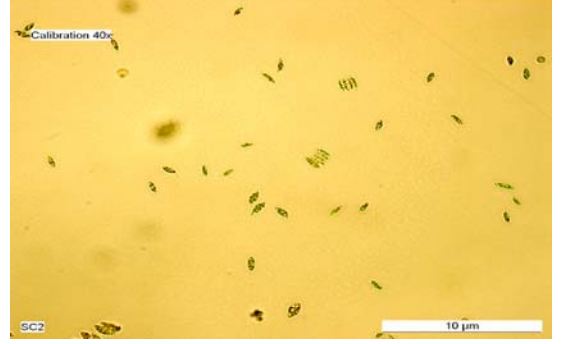
Çin’de yaklaşık 70 alg türü fat choy denilen bir Çin sebzesi (aslında bir siyanobakteri türüdür) olarak tüketilmektedir. Kabaca 20 alg türü Japonya’da yemeklerde kullanılmaktadır.

Palmaria palmata (Linnaeus) gibi bazı türler doğrudan tüketilebilir. Bu kırmızı alg türü İrlanda’da kurutularak tüketildiği gibi taze veya ıspanak gibi pişirilerek de tüketilir. Benzer şekilde *Durvillaea antarctica* Şili’de yenmektedir (Adrian vd.,2006).

Bazı alglerden elde edilen yağın doymamış yağ asidi içeriği oldukça yüksektir. Arachidonic asit (bir doymamış yağ asidi), *Parietochloris incisa*’da (bir yeşil alg türü) yüksek miktardadır ve trigliseridlerin % 47’si kadarını oluşturur.



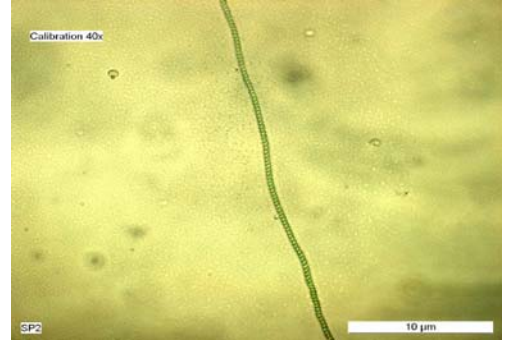
Chlorella vulgaris Z-1



Scenedesmus obliquus var *obliquus*



Euglena viridis



Spirulina major

Şekil 3.4 Alglerin mikroskopla görünüşü(Zayadan, 2007)

Almata'da yapılan bir çalışmada (2006) *Chlamydomonas reinhardtii* türü alg kullanılarak evsel atıksudan kirlilik giderimi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, evsel atıksular öncelikle kanallarla Sorbulak'da toplanmıştır. Numuneler bu toplama bölgesinden alınmıştır. Çalışmada kullanılacak mikroalg St. Petersburg Üniversitesi'nden agar içinde getirilmiştir ve 200 ml evsel atıksu ile beherde işleme tabi tutulmuştur. Bu çalışma Al-Farabi Kazak Milli Üniversitesi Biyoloji fakültesi Mikrobiyoloji bölümünde yapılmıştır (Zayadan vd., 2006).

3.1.5 Diğer Kullanım Alanları

Siyanobakteriler tarafından elde edilen doğal pigmentler, kimyasal boyalarda ve boyama ajanlarına alternatif olarak kullanılırlar. Bugün kağıt sanayindeki pek çok ürün, kullanılan boyalar yüzünden geri dönüştürülememektedir, ancak alglerden elde edilen boyaların

imhası çok daha kolaydır. Aynı şekilde gıda endüstrisinde de boyama amaçlı katkı maddelerinin yerini bu alg türevi boyalar almaktadır. İsrail’de su tanklarında yetiştirilen bir yeşil alg türü, doğrudan güneş ışığı ve ısıya maruz bırakılarak parlak kırmızı bir pigment biriktirmesi sağlanmaktadır. Hasat edildikten sonra Somon gibi balıkların yemlerinde doğal pigment olarak kullanılmaktadır (Zaidi vd., 2005).

3.1.5.1. Doğal arıtma sistemleri

Artan dünya nüfusu, buna paralel olarak hızla gelişen endüstri, her geçen gün çok çeşitli karakterdeki kirlilik maddelerinin, yüzey ve yeraltı sularına karışmasına neden olmaktadır. Kirlenmiş su kaynaklarının değişik amaçlarla kullanılma zorunluluğu değişik şekillerde ortaya çıkan sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Doğada meydana gelen kendini temizleme olayları milattan bin yıl öncesinden bilinmesine ve bu olayların çok yerde bilinçli olarak kullanılmasına rağmen su kirliliği sürekli olarak artmış ve yoğun yerleşim alanlarında bazı önlemlerin alınmasını gerektirmiştir. Günümüzde ise su kirliliği çok yerde artık çözümü çok zor olan problemler şekline dönüşmüştür. Bugün biraz çevre bilinci gelişmiş her fert, kirli suların sadece kalabalık yerleşim alanlarında ve endüstri merkezlerinde değil dağınık küçük yerleşim alanlarında, yazlık, otel, motel gibi yılın belirli zamanlarında kullanılan yerlerde de sorun olduğunu ve arıtma işlemlerinin mutlak suretle uygulanması gerektiğine inanmaktadır (Adrian vd.,2006).

Arıtma işlemlerinin başlangıçta fiziksel ve kimyasal yollarla yapılabileceği ümit edilmiştir. Ancak bu yöntemlerin pahalı olması, fazla enerjiye ve teknik personele ihtiyaç duyması ve bazı teknik problemler ortaya çıkarması nedeniyle yaygınlaştırılması mümkün olmamıştır. Bu nedenle arıtma işlemlerinde kullanılabilecek yeni metotların araştırılmasına hız verilmiştir. Yapılan yoğun araştırmalar doğal biyolojik arıtma tekniklerinin ekonomik ve birçok yerde uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Adrian vd.,2006).

Doğal arıtma sistemlerinin esası; çeşitli bitkilerin arıtma gücüne dayanmaktadır. Bitki çeşidi ve atıksu ile bitkinin bir araya getirilme şekillerine göre çok değişik sistemler ortaya çıkmıştır (Adrian vd., 2006).

3.1.5.2 Arazide Arıtma Sistemi

Bu sistemin esasını, çayır, mera ve tarla gibi doğal alanlara kirli suların yağmurlama veya salma şeklinde gönderilmesi ve arıtılmış olarak tekrar toplanması teşkil etmektedir. Bölgenin doğal koşullarına göre 4 değişik şekilde arazi uygulaması yapılabilmektedir.

- a) *Kültür mavi yeşil algler atıksu ile salma ve yağmurlama şeklinde sulanması:* Özellikle sıcak ve sulama suyu sıkıntısı çekilen bölgelerde çok sık kullanılan bir sistemdir. Türkiye'de atıksular genellikle dere ve ırmaklara verildiğinden ve bu sular da sulamada kullanıldığından dolayı olarak çok sık bir biçimde kullanılır. Özellikle evsel atık suların bu amaçla kullanılması halinde kültür alglerin su ihtiyacı karşılandığı gibi azot fosfor gibi kirlilik maddeleri bitki besin maddeleri olarak değerlendirilmektedir. Ancak böyle durumlarda atıksu içerisindeki kimyasal ve diğer yabancı maddelerin dikkatle izlenmesi gerekir (Veglio vd., 1996).
- b) *Geçirgenliği fazla olan siyanobakteriler kaplı alanlarda atıksu infiltrasyonu:* Bu sistemde atıksu bitki kökleri ve geçirgen tabakanın oluşturduğu bir sistem içerisinde hızla geçerek taban suyuna ulaşır. Çok tehlikeli maddelerin bulunmadığı atıksuların arıtılmasında kullanılmaktadır. Özellikle gıda sanayi atıklarının arıtılmasında bu yola başvurulur.
- c) *Az geçirgen, eğimli alanlara atıksu salınması:* Bir önceki uygulamadan farkı taban suyunun biraz daha korunmasının esas alınmasıdır. Su akışı ve geçişi daha çok yatay olmaktadır. Atıksu bitki kökleri ve toprak içerisinde süzülerek geçer arıtılmış olarak tekrar toplanır.
- d) *Sulak alan oluşturulması:* Arıtma sistemleri içerisinde bilinen en eski sistemdir. Özellikle Romalılar tarafından yaygın bir biçimde kullanılmıştır. Bu sistemde, kanalizasyon ağı aracılığı ile toplanan atıksu arazinin uygun bir yerinde göl haline getirilir. Göl içerisinde kendiliğinden gelişen her çeşit bitki ve mikroorganizmanın arıtma gücünden yararlanır. Bu sistemin değişik bitkiler kullanılarak uygulanan farklı şekillerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir (Veglio vd., 1996).

Phragmites türlerinin kullanıldığı SEIDEL tarafından uygulanan bir sistemde 11.800 m³ su

ile 146 kg azotun bitki örtüsü tarafından biyomasa çevrilebildiği gösterilmiştir. Sulak alan oluşturularak yapılan arıtma işlemlerinde su sümbülü (*Eichhornia crassipens*) son yıllarda üzerinde en çok çalışılan algeler durumuna gelmiştir. Bu bitkinin özellikle ağır metalleri önemli ölçüde bünyesine alması 1943 yılında DAYMOND tarafından görüldükten sonra önemle üzerinde durulmuştur. Bu algler tropik ve subtropik bölgelerde kendiliğinden kanallar içerisinde gelişen bir siyanobakteriler. Su üstü bölümleri 127 cm'ye kadar uzanabilmekte ve kökler 40 cm'ye kadar su içerisinde yayılmaktadır. Böylece arıtma için çok geniş bir alan oluşturabilmektedir. Siyanobakteri oluşturdıkları stolonları ile hızlı bir biçimde çoğalmakta ve bitki kütlesi bir hafta içinde iki katına çıkmaktadır. Siyanobakteriler 34 °C'a kadar su sıcaklığına dayanabilmektedirler. Hava sıcaklığı -5°C'a düşünce 24 saat içerisinde ölmektedirler. Siyanobakterilerin kışı geçirmesi için ortalama sıcaklığın olması gerekir. Bu nedenle bu sistem sadece tropik ve subtropik bölgelerde, bizde de güney sahillerinde kullanılabilir bir yöntemdir. Yapılan pek çok çalışma bu sistemin çok iyi bir arıtma sistemi olduğunu göstermiştir. Bu sistemde 1–2 gün içinde diğer mukayese edilen bitki sistemlerine oranla % 50 daha az bir alanda, yüksek temizleme gücü elde edilmiştir. Örneğin BOİ 100 mg/l'den 10 mg/l'ye düşürülebilmektedir. Sulak alan oluşturularak uygulanan sistem içerisinde incelenebilecek bir arıtma sistemi de alg havuzları sistemidir. Siyanobakterilerin uygun koşullarda çok hızlı gelişme göstermesi ve bu arada kirlilik maddesi olarak bilinen azot, fosfor bileşikler ile pek çok ağır metali bünyelerine almaları esasına dayanmaktadır. Siyanobakteriler ortamdan alınınca da arıtma işlemi tamamlanmaktadır (Adrian vd.,2006).

3.2 Alglerin Atıksu Arıtımında Kullanımı

Alglerin temizleme gücüne dayalı arıtma sistemleri milattan bin yıl önce Romalılar tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Son 100 yıl içerisinde geliştirilen arıtma sistemlerinin maliyetlerinin yüksek olması, fazla enerji ve iş gücüne gerek duyması özellikle küçük yerleşim alanlarında tekrar doğal sistemlerin kullanılmasını gündeme getirmiştir. Alglerin atıksuların arıtılmasında kullanımı konusunda yapılan araştırmalar bu sistemlerin kuruluş masraflarının teknik sistemlere göre % 15-40, işletme masraflarının da % 20-30 daha ucuz olduğunu göstermiştir (Stucki vd.,1988) .

Ayrıca 5 dekarlık bir alanda kurulan sistemde BOİ'nin 400-550 mg/l'den 7-17 mg/l'ye,

toplam azotun 75-115 mg/l'den 3-14 mg/l'ye ve toplam fosforun ise 16-22 mg/l'den 0.08-1.1 mg/l'ye düşürebileceği tespit edilmiştir. Yapılan biyolojik sayımlarda da toplam bakteri sayısında % 91.99, *koliform* bakteri ve *Salmonella* sayısında % 99 azalma görülmüştür (Stucki vd.,1988).

Endüstriyel aktivitelerin artması, ekosistemlerde ağır metal kirliliğine sebep olmuştur. Kimyasal çöktürme ile metalleri istenilen seviyelere indirebilmek için aşırı kimyasal kullanımı gereklidir ki bu da hacimce çok miktarda toksik çamur oluşumu demektir. Ayrıca bu çamurların arıtılması için de ek proseslere ihtiyaç vardır. Uygulanabilen diğer arıtma yöntemlerinden, iyon değişimi, elektroliz ve ters osmoz, yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetine sahiptir. Aktif karbonla adsorpsiyon, ağır metal iyonlarını gidermede geniş bir uygulama alanına sahiptir, ancak aktif karbon pahalı bir adsorbanttır. Son yıllarda, aktif karbondan daha ucuz alternatif adsorbantlar araştırılmaktadır. Ağır metal iyonlarının adsorpsiyonu için alg, bakteri, mantar ve mayaların biyosorbant (biyolojik kökenli adsorbant) olarak kullanılabilecekleri kanıtlanmıştır. Biyokütlelerin adsorbant olarak kullanıldığı prosese biyosorpsiyon denir (Munoz vd., 2006).

Çizelge 3.1 Mikroorganizmalar ile organik kirlilik giderimi(Munoz vd., 2006)

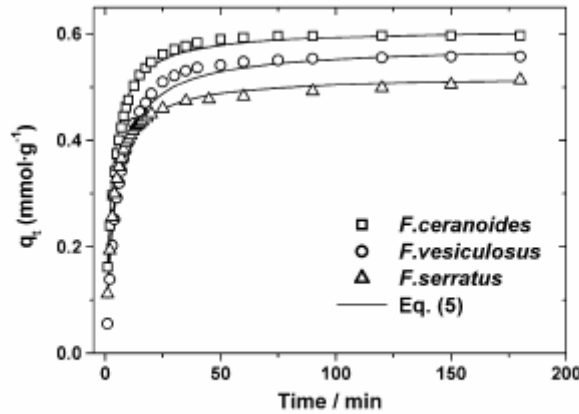
Compound	Experimental system	Microorganisms	Removal rate (mg l ⁻¹ d ⁻¹)	Reference
Acetonitrile	600 ml Stirred Tank Reactor (STR)	<i>C. sorokiniana</i> /bacterial consortium	2300	Muñoz et al., 2005a
Acetonitrile	50-l column photobioreactor	<i>C. sorokiniana</i> /bacterial consortium	432	Muñoz et al., 2005b
Black oil	5-ml tubes	<i>Chorella</i> / <i>Scenedesmus</i> /alcanotrophic bacteria	—	Safonova et al., 1999
Black oil	100l tank	<i>Chorella</i> / <i>Scenedesmus</i> / <i>Rhodococcus</i> / <i>Phormidium</i>	5.5	Safonova et al., 2004
Phenanthrene	2-l STR with silicone oil at 10%	<i>C. sorokiniana</i> / <i>Pseudomonas migulae</i>	192	Muñoz et al., 2005c
Phenanthrene	50 ml tubes with silicone oil at 20%	<i>C. sorokiniana</i> / <i>Pseudomonas migulae</i>	576	Muñoz et al., 2003a
Phenol	600 ml STR with NaHCO ₃ at 8 g l ⁻¹	<i>C. vulgaris</i> / <i>Alcaligenes</i> sp.	90	Essam et al., 2006
Phenol	100 ml E-flasks	<i>Anabaena variabilis</i>	4.4	Hirooka et al., 2003
Salicylate	600 ml STR	<i>C. sorokiniana</i> / <i>Ralstonia basilensis</i>	2088	Muñoz et al., 2004
p-Nitrophenol	—	<i>C. vulgaris</i> / <i>C. pyrenoidosa</i>	50	Lima et al., 2003

3.3 Deniz Algi (*Fucus* sp.) ile Kadmiyum Giderimi

Yapılan çalışmada *Fucus seranoides*, *Fucus vesiculosus* ve *Fucus serratus*'un sulu çözeltilerden kadmiyum giderme kabiliyetleri çalışılmıştır.

Metal iyonlarının neden olduğu kirlilik birçok ülkede büyük çevresel problemlerden biridir. Çünkü içme suyu ve atık sulardaki metal iyonu konsantrasyonu genellikle kabul edilebilir sağlık standartlarındaki değerleri aşmaktadır. Çoğu endüstriden çözünmüş ağır metalleri içeren atık sular oluşmaktadır. Eğer bu atık sular arıtım yapılmadan çevreye verilirse kötü bir etki yaratabilirler. Kadmiyum insan sağlığı ve çevreye en büyük potansiyel tehlike oluşturan metallerden biridir. Besin zinciri yoluyla çevrede birikerek insan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturur. Bunun yanı sıra kadmiyumun endüstriyel kullanımı (boya pigmentleri, plastikler, alaşım hazırlama, madencilik, gümüş-kadmiyum piller vb.) da oldukça yaygındır ve artmaktadır (Luz vd., 2007).

Bu çalışmada ölü biokütle ile çalışılmıştır. Çünkü canlı metabolizma ile çalışmak sürekli yapısını değiştirdiği için zordur. Çalışılan alg numunesi hem ham olarak hem de asitle muamele edilmiş (protonated) olarak hazırlanmış ve asitle muamele edilerek metal tutma kapasitesi arttırılmıştır. Çünkü asitle muamele edildiğinde deniz suyundan dolayı alg üzerinde bulunan sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum gibi sabitleştirilmiş olmuş iyonlar giderilir (Luz vd., 2007).



Şekil 3.5 Temas süresine bağlı olarak kadmiyum sorpsiyonu(Luz vd., 2007).

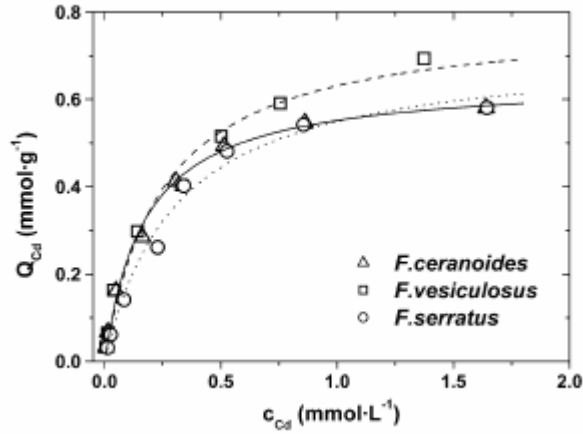
Çalışmada öncelikle, zamana karşı absorbe edilen metal miktarı grafike edilmiştir. Ardından uygun olan izoterme göre kinetik çıkarılmıştır. Kinetik modeller deneysel bilgiyi test etmek için kullanılır. Şekil 3.5’den de görüldüğü gibi ilk 5 dakikada % 50’nin

üzerinde, 25 dakikada ise % 90'ın üzerinde kadmiyum alımı gerçekleşmektedir. Yani metal sorpsiyon prosesi oldukça hızlıdır. İleriki deneyler için denge halindeki şartları sağlamak için temas süresi 3 saat olarak belirlenmiştir. Bu süre diğer sorbent materyalleriyle karşılaştırıldığında oldukça kısa bir süredir (Hsuan-Liang Lui vd., 2004).

Çizelge 3.2 İkinci derece hız reaksiyonundan elde edilen parametreler (Luz vd., 2007).

Species	Q_{Cd} (mmol g ⁻¹)	k (g mmol ⁻¹ min ⁻¹)	r^2
<i>F. ceranoides</i>	0.609 (0.001)	0.64 (0.04)	0.9998
<i>F. serratus</i>	0.522 (0.002)	0.58 (0.04)	0.9997
<i>F. vesiculosus</i>	0.578 (0.003)	0.38 (0.03)	0.9991

Deneysel verilere uygun olan kinetik model seçildikten sonra denge halindeki sorbe edilen kadmiyum iyonu(Q_{Cd}) değerleri bulunmuştur. Bu değerler yaklaşık 0,6 mmol/gr. Metal gideriminde kullanılan diğer yöntemlerden aktif karbon için bu değer 0.07, reçine için ise 0.13 mmol/gr.



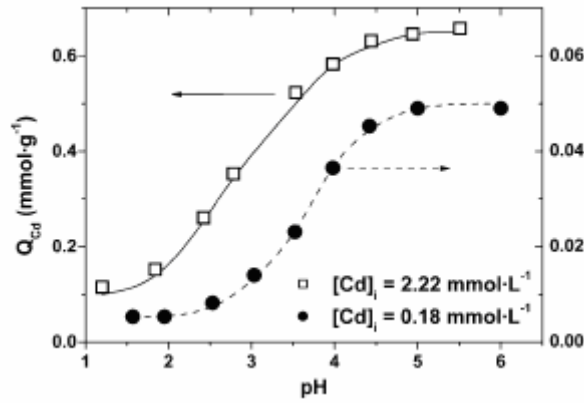
Şekil 3.6 Kadmiyum biyosorpsiyon izotermi(Luz vd., 2007).

Şekil 3.6'da konsantrasyona karşı denge halindeki değerler noktalanmıştır. Yine uygun olduğu izoterm seçilmiştir.

Çizelge 3.3 Optimum Langmuir izoterm parametreleri(Luz vd., 2007).

Species	$Q_{\max, Cd}$ (mmol g ⁻¹)	Log b	r^2
<i>F. ceranoides</i>	0.65 (0.02)	0.76 (0.05)	0.994
<i>F. serratus</i>	0.72 (0.04)	0.51 (0.07)	0.990
<i>F. vesiculosus</i>	0.79 (0.05)	0.61 (0.09)	0.980

Seçilen izoterme göre maksimum biyosorpsiyon kapasitesi($Q_{\max, Cd}$) hesaplanmıştır. Çizelge 3.3'e göre $Q_{\max, Cd}$ 0.6-0.8 mmol/gr arasındadır. Bu da 1 gram ham yosun için 80 mg Cd civarındadır. Bu da sorbetin toplam kuru ağırlığının %8'i anlamına gelmektedir.

**Şekil 3.7** Cd biyosorpsiyonun pH parametreleri ve farklı konsantrasyonları(Luz vd., 2007).

Algin metal biyosorpsiyonun da pH oldukça önemli bir parametredir. Sadece bir tür üzerinde iki farklı başlangıç konsantrasyonu seçilerek grafik oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Diğer türler de yakın eğriler gösterdiğinden bir tür seçilmiştir. pH < 2 için kadmium alımı düşüktür ancak ihmal edilemeyecek düzeydedir. pH > 5 için metal sorpsiyonundaki artış ihmal edilebilir. Zaten eğri düzleşmeye başlar (Luz vd., 2007).

Çizelge 3.4 Numune edilmiş proton ve kadmiyum bağlama kapasitesi(Luz vd., 2007).

Species	Proton binding parameters		
	Site density, $Q_{\max,H}$ (mmol g ⁻¹) ^a	Log K_H^b	$m_H - \mu m_H^b$
<i>F. ceranoides</i>	2.86 (0.04)	3.71 (0.01)	0.50 (0.01)
<i>F. serratus</i>	2.89 (0.01)	3.70 (0.01)	0.60 (0.01)
<i>F. vesiculosus</i>	2.42 (0.02)	3.77 (0.01)	0.55 (0.01)
	Cd(II) binding parameters		
	Heterogeneity parameter, p^c	Log K_{Cd}^c	n_{Cd}^c
<i>F. serratus</i>	0.36 (0.05)	2.69 (0.04)	1.2 (0.2)

Asitle muamele edilmiş numunenin proton ve kadmiyum bağlama kapasitesine bakılmıştır. Çünkü kadmiyum bağlamada hidrojen iyonlarının da etkisi olabilir, yani iyonlar yarış halinde olabilirler. Asitle muamele edilmiş biokütle üzerindeki asit-temel titrasyonları asit fonksiyonel gruplarının maksimum miktarını hesaplamamızı sağlar. Bu miktar $M_{ax, CD}$ 'den 3–4 kat büyüktür. Bunun bir nedeni ham biokütle deniz suyunda var olan Na, K, Ca, Mg gibi iyonlarla stabilize olmuştur. Kadmiyum iyonları bu büyük iyonlarla yarışmak durumundadır. Bundan dolayı bütün bağlama alanı ağır metaller tarafından işgal edilmemiştir. İkinci nedeni de bir metal iyonunu birden fazla asit grubu bağlayabilir Bu konudaki ilk çalışmalar, insan ve hayvan beslenmesinde kullanılmak üzere ucuz protein sağlamak amacıyla yapılmış, ancak daha sonra bu proteinin bu amaçla kullanılmasının mümkün olamayacağı görüldükten sonra kirli suların arıtılması amacına yönelmiştir. Siyanobakteri havuzları sistemi pek çok ülkede kullanılmaya başlanmıştır. Bir gelişmiş örneği İsrail-Alman işbirliği çerçevesinde Halfa yakınlarında, 100.000 nüfuslu yerleşim alanının atıksularının arıtılması amacıyla 1973 yılında kurulmuştur (Luz vd., 2007).

Bu pilot tesiste yapılan araştırmalar aynı çıkış kalitesinde arıtılmış su elde etmek için gerekli aktif çamur yöntemi ile çalışan bir sistemle karşılaştırıldığında alg sisteminin % 7 oranında daha az yatırıma ihtiyaç duyduğu ve yıllık işletme masraflarının da %20 daha az olduğu görülmüştür. Ayrıca aynı tesisten yılda 14,2 milyon İsrail şekeli karşılığı alg proteini elde edilmiştir (Khan vd., 2007).

Almanya’da 1559 yılında Bunzlau’da benzer bir tesis kurulmuş ve 300 yıl kullanılmıştır. İngiltere’de de arazi uygulama sistemi 1800’lü yıllarda geçerli tek sistem olarak görülmüş ve yaygınlaştırılmasına çalışılmıştır. 19. yüzyıl içerisinde gelişen teknoloji ile atıksu arıtma çabaları teknik düzeyde yürütülmüş ve bu dönemde pek çok doğal arıtma sistemi yerini teknik arıtma tesislerine bırakmıştır. Ancak küçük yerleşim alanlarında bu sistemin kullanılmasına devam edilmiştir. Bugün başta ABD olmak üzere pek çok ülkede güncel hale gelmiş ve artan oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemlerden 2500 tanesi oldukça büyük sistemlerdir. Geri kalanlar ise genellikle gıda endüstrisi atıklarını arıtmak amacıyla kullanılmaktadır. Arazi uygulamalarının tümünde iyi bir arıtma sağlanmasına rağmen özellikle taban suyunun nitrat, zor parçalanabilir bileşikler ve patojen canlılarla kirlenme ihtimali sistemin her yerde kullanılmasını sınırlamaktadır. Ayrıca bu sistemler nüfus başına 50 m² gibi geniş bir alanın kullanılmasını da gerektirmektedir. Böyle bir alanın ayrılmasında çoğu yerde mümkün olmamaktadır (Herrero vd., 2005).

Genel olarak Siyanobakterilerin bu özellikleri dikkate alındığında, atık sulardaki ağır metal giderimi ve geri kazanımında mikroorganizmaların ve özellikle Siyanobakterilerin kullanılması mümkün olduğu söylenebilir. Ayrıca atık sularda biyolojik kirliliğe neden olan Siyanobakterilerin kalıcı kirleticilerden ağır metal giderimin de kullanılması ile bir kirlilik ile değer kirliliğin giderilmesi de mümkündür. Yaşayan ve yaşamayan mikroorganizmalar seçici olarak atık sulardaki inorganik iyonları biriktirme ve ayırmada yüksek bir potansiyele sahiptir. (Veglio vd., 1996)

4. AĞIR METALLER

Bu tez kapsamında, Siyanobakteri (*Synechocystis* sp.) ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında Fe^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} metalleri kullanılmıştır. Bu bölümde ise Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} metallerinin genel özellikleri verilmiştir.

Metallerin büyük bir kısmı sucul canlı yaşam üzerinde, tür ve konsantrasyonlarına bağlı olarak toksik etki yaparlar. Eser miktarda bile zararlı olabilen bu maddeler arasında en önemli gurubu “ağır metaller” diye adlandıran Sb, Ag, As, Be, Cr, Cu, Zn, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, U, ve V gibi elementler oluşturur.

Ağır metallerin, çevre ve insan sağlığı üzerinde birçok olumsuz etkileri bulunmaktadır. Besin zinciri yoluyla insan vücudunda birikirler ve bunların vücuttan atılmaları mümkün değildir. Örneğin arsenik biyolojik aktivite ve bağışıklık sistemini etkiler. Civanın toksisite, biyoakümülyasyon, metilasyon prosesi ve atmosferde taşınabilirliği nedeniyle zararlı etkileri vardır. Civa bitkiler dahil yaşayan organizmalarda toksisiteye neden olur. Nikel birikimi topraktaki nitrifikasyon, karbon mineralizasyonu, asit ve alkali fosfat aktiviteleri ve aril sülfat proseslerine engel olmaktadır. Kadmiyum insan sağlığı ve çevreye en fazla potansiyel tehlike oluşturan metallerden biridir. İnsan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturur (Wei vd., 2005).

Toksik ağır metallerden ve özellikle tekstil endüstrisinde kullanılan boyar madde atık sularından kaynaklanan çevresel kirlenme son yıllarda önemli bir problem oluşturmaktadır. Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yapılan bir çalışmada, doğada yaygın olarak bulunan 3 alg türü (*Chara* sp. *Cladophora* sp, *Chlorella* sp) sentetik olarak hazırlanan bir hidroliz boyar maddenin Remazol Turkish Blue-G ve $Zn(II)$, $Cd(II)$, $Co(II)$ ağır metallerinin biyosorpsiyon için kullanılmıştır. Ağır metal çalışılmasında en iyi giderim *Cladophora* sp olarak belirlenmiştir. Boyar madde ile yapılan çalışmada en iyi giderim verimi ise *Chlorella* sp. ile elde edilmiştir (Elmacı vd., 2005).

Ağır metal kirliliği çoğu ülkede büyük problem teşkil eder. Çünkü genellikle içme suyu ve atıksulardaki metal konsantrasyonu standartlarda belirlenen değerlerin üzerindedir. Bu nedenle giderilmesi gerekmektedir. Metalleri gidermek için kullanılan konvansiyonel

yöntemler vardır. Bunlar arasında kimyasal çöktürme, iyon değiştirici reçineler, aktif karbon, ters osmoz gibi metotlar sayılabilir. Ancak bu yöntemler oldukça yüksek maliyetlidir ve düşük konsantrasyonda büyük alanlara yayılmış metaller için de çoğu zaman etkili olmamaktadır. İz elementlerin, özellikle ağır metallerin ekolojik kaliteyi önemli ölçüde etkilenmesi nedeniyle çevreyi kirleten ana kireleticilerden biri olarak sayılmaktadır (Herrero vd., 2005).

Bu nedenle metal giderimi için çeşitli alternatif yöntemler üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Bu alternatif yöntemler arasında en umut vadeden ve düşük maliyetli olanlar ise fitoremediasyon ve biyosorpsiyondur.

Ağır metallerin fiziko-kimyasal özellikleri biyokimyasal süreçlere katılımını etkilemektedir. Bir elementin metal olarak tanımlanması için; elektiği iletmesi, termal iletkenliğinin yüksek olması, yoğunluğunun yüksek olması, genişleşilme ve uzama karakteristiğine sahip olması. Bu katılımda canlı hayatını etkilemektedir (Watts vd., 1997).

Bu tez çalışmada Küçükçekmece Gölü'ünden en çok rastlanan Fe^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} metallerin bölge ekosistemindeki biyokimyasal süreçlere beliryebilmek için metallerin suda , havada , asidik- bazik ortamdaki davranışları, oluşturdıkları bileşikler ve olan ilişkileri irdelenmiştir.

4.1 Çinko

Çinko, atom ağırlığı 65.39g/mol ve atom numarası 30 olan gümüş renkli bir metaldir. Önemli fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir. Düşük kaynama sıcaklığı dikkat çekicidir. Bu değer özellikle pirometalurjik metal üretiminde çok belirleyici bir etmendir. Dökülmüş halde sert ve kırılıgandır. 120°C'de şekillendirebilir. Elektrokimyasal potensiyel dizisinde demirden daha negatif değerdedir. Böylece çinko anot olarak katodik korozyon korumada önemli bir kulllanım alanı bulur.

4.1.1 Çinko'nun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Çinko'nun fiziksel ve kimyasal özellikleri reaksiyonlarının anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden Çizelge 4.1'de çinkonun fiziksel ve kimyasal özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.1 Çinko'nun Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri[11]

Ergime Sıcaklığı	419.47 °C
Kaynama sıcaklığı	906 °C
Kristal yapısı	Hegzagonal
Kafes parametreleri (%99.99 Zn)	a=2.66 Å, b=4.936 Å, c/a=1.856
Yoğunluk	20°C de 7.14g/cm ³ , erg.nok.da 6.56g/cm ³
30 °C sıkıştırılabilirlik katsayısı	1.69x10 ⁻⁶ cm ² /kg
Elastiklik modülü	E=10000kg/mm ² (20°C)
Burulma modülü	F=3935kg/ mm ² (20°C)
Spesifik ısı	0°C'de 0.381, 20°C'de 0.385 100°C'de 0.398 200°C'de 0.414 300°C'de 0.420 g ₁ K ₁
Isı iletkenliği	°C'de 116, 100°C'de 109, 400°C'de 97 460°C'de 60 W m ⁻¹ K ⁻¹
Lineer genleşme	29,05 10 ⁻³ (20-100°C)
Spesifik elektrik iletkenliği	0°C'de 18.1, 25°C'de 16.82, 100°C'de 12.17m-ohm ⁻¹ .mm ⁻²
Elektrik direncinin sıcaklık kat sayısı	0.00417
Süper iletkenliğe geçiş sıcaklığı	20°C de 0.905 K
Normal potansiyeli	-0.763 V
Yüzey gerilimi (%99.99 Zn)	420°C de 750, 500°C de 790mN/m.

4.1.2. Kullanım Alanları

Çinko metalinin kullanım alanları şöyle sıranabilir

- Boru ve nakil hatları galvanizlemesi (%55-60)
- Pirinç imali (%15-20)
- Çinko levha imali (%3)
- Çinko oksit imali ve lastik sanayii (%8-10)
- Pil imali (%3)
- Zamak alaşımları, pres dökümü sanayi (%6-7)
- Tekstil, seramik sanayii
- Kimya sanayii

“Çinko ayrıca;

- İnsan vücudu için önemli bir element olduğu için vitaminlerin hazırlanmasında
- Birçok enzimin anahtar bileşeni olarak
- İnsülin hormonu yapısında
- Üreme sisteminde ve ayrıca cinsel olgunluğa erişmede

önemli rol oynar. Erkek seksüel olgunluğunun gelişmesinin yavaşlaması çinko eksikliğinden kaynaklanır”. [12]

4.2 Bakır

Bakır, atom ağırlığı 63.546g/mol atom numarası 29. Sulu ortamdaki bakır iyonunun biyosorpsiyonunda bakteriler, mantarlar, algler çok çeşitli mikroorganizma türleri verimli şekilde kullanılmaktadır. Bakırın düşük konsantrasyonları dahi sudaki organizmalar ve insan hayatı için zehirlik etkisi oluşturmaktadır. Overnell yedi türlü deniz alglerine bakırın etkilerin araştırmış. Bakır kırmızı renkli kübik kristal ve doğada yangın olarak bulunmaktadır. Bakır suda çözünmeyen formadadır. Havayla yüzeysel bir korozyona uğrar (Sawyer vd., 1978).

4.2.1 Bakırın Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Cu’nun fiziksel ve kimyasal özellikleri reaksiyonlarının anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Çizelge 4.2 ve 4.3’de sırasıyla Cu’nun fiziksel ve kimyasal özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.2 Bakırın Fiziksel Özellikleri [6]

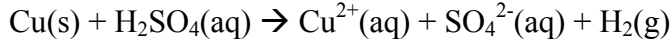
Yoğunluğu:	8.920g/mL
Erime noktası:	1084.62°C (1357.77K)
Kaynama noktası:	2927 °C (3200K)
Molar hacmi:	7.11 ml/ mol
Mineral Sertliği:	3
Isı iletkenliği (300K):	4 W/cmK
Özgül ısı:	0.38 J g ⁻¹ K ⁻¹
Buharlaşma Entalpisi:	300 kJ mol ⁻¹
Atomlaşma Entalpisi:	338 kJ mol ⁻¹

Çizelge 4.3 Bakırın Kimyasal Özellikleri [7]

Elektronik konfigürasyonu:	[Ar].3d ¹⁰ .4s ¹
Kabuk yapısı:	2.8.18.1
Elektronegatiflik:	1.90(Pauling birimine göre) 1.98(Sanderson elektronegatifliğine göre)
Elektron ilgisi :	118.4kJ/mol
Atomik yarıçapı:	135 pm (hesaplanan 145 pm)
Oksidasyon sayısı:	2, 1
İzotop / Yarılanma Süresi	⁵⁹ Cu / 1.36 dakika
	⁶⁰ Cu / 23.7 dakika
	⁶¹ Cu / 3.4 saat
	⁶² Cu / 9.7 dakika
	⁶³ Cu / Kararlı
	⁶⁴ Cu / 12.7 saat
	⁶⁵ Cu / Kararlı
	⁶⁷ Cu / 2.6 gün

4.2.2 Reaksiyonları

Asit ile Reaksiyonu; Bakır metali sıcak derişik sülfürik asit ile reaksiyonu sonucunda Cu(II) çözeltisinde oluşturur. Bu iyon $[Cu(OH_2)_6]^{2+}$ kompleksidir. Aynı zamanda açığa hidrojen gazın çıkar. Bakır metali seyreltik ve derişik nitrik asit de çözünür. [1]



Bakır düşük konsantrasyonlarda canlı yaşamı için gerekli olan element olmasına rağmen sınır değerler aşıldığında organizmaya zarar vermektedir. En fazla beyin ve karaciğer olmak üzere tüm dokularda görülen balır konsantrasyondaki artış, kalıtsal nitelikte bir hastalık olan Wilson hastalığı riskini arttırmaktadır.

Bakır metali, bakır tel yapımında, yüksek frekans hattı yapımında, müzik enstrümanlarının yapımında, renkli cam yapımında vakum tüplerinde, katot ışıık tüpleri, mikrodalga fırınlarında kabartma metal olarak ve elektrik endüstrisi gibi çeşitli alanlarında kullanılmaktadır.

4.2.3 Bakırın Kullanım Alanları

“Bakır;

- Bakır tel yapımında
- Yüksek frekans hattı yapımında
- Bileşikleri şeker analizinde Fehling’s çözeltisini hazırlanmasında
- Müzik enstrümanlarının yapımında
- Renkli cam yapımında
- Vakum tüpleri, katot ışıık tüpleri , mikrodalga fırınlarda
- Kabartma metal olarak
- Elektrik endüstrisinde
- Bakır sülfat tarım zehri olarak ve suların saflaştırılmasında kullanılmaktadır” [2].

“Ayrıca bakır;

- Hemocyaninin anahtar komponentidir. Süperoksit dismutaz, sitokrom C oksidaz, katalaz, dopamin hidroksilaz, askorbik asit oksidaz gibi enzimlerin prostetik grubunun parçasıdır. Ağır molekül ağırlıklı oksidazlar %0,05-0,35 oranında bakır

içerirler.

- Demirle birlikte hemoglobin oluşumunda rol oynar. Merkezi sinir sisteminin düzgün çalışmasında ve kollajen oluşumunda C vitamini ile birlikte iş görür.
- Bakırın azot fiksasyonunda, fotosentezde ve büyük ihtimalle klorofil üretiminde rol oynadığına dair kanıtlar bulunmaktadır” (Bayındır, 2003).

“Canlılık için çok önemli olan bakır proteine bağlı olmadığı durumlarda ise toksik etki gösterir. En fazla beyin ve karaciğer olmak üzere tüm dokularda görülen bakır konsantrasyonundaki artış, kalıtsal nitelikte bir hastalık olan Wilson hastalığında görülür. Dihydropil hidrataz enzimini inhibe eder. Bakır zehirlenmesinin semptomları arsenik zehirlenmesiyle aynıdır. Sucul yaşam içinde önemli bir tehlikedir. Yüksek konsantrasyonda bakır balık ve diğer canlıların karaciğer, böbrek gibi organlarını etkiler, sinir sisteminde hasara yol açar.” [3].

Yüzeysel sularda 1mg/l'nin altındaki bakır konsantrasyonlarında dahi su bitkilerine toksik etkide bulunabilmektedir. 1mg/l konsantrasyondaki bakır bazı balık türleri için toksik olamaktadır.(Sawyer vd.,2003)

4.3 Demir

Demir atom ağırlığı 55.847g/mol, atom numarası 26. Demir, nükleer fisyon sonucu oluşan en kararlı element olduğu için, evrende ve tabiiki yerkürede bol bulunur. Yerkürenin tümü düşünüldüğünde en çok; sadece yerküre kabuğu düşünüldüğünde ise dördüncü bol elementtir. Yerküre kabuğunun ortalama % 5,09 unun demir ve ortalama Fe^{+3}/Fe^{+2} oranının 0,53 olduğu düşünülür.[4]

Demir oranı çeşitli kaya türleri arasında da değişiklik gösterir. Basaltik ve aşırı mafik kayalarda bu oran, kütlenin %9 una kadar çıkarken, bazı granit türlerinde % 1,4 e kadar düşebilmektedir. Çok düşük pH değerlerinde çok yüksek Fe bulunabilir. Çünkü pH düştükçe Fe^{+3} ün çözünürlüğü artar. (EMERY T., vd.,1982)

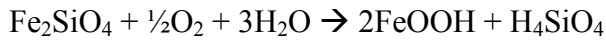
Çizelge 4.4 Dünya yüzeyindeki belirli birimlerin demir içeriği[4]

Yer	Toplam Kütle (ton)	Fe konsantrasyonu	Fe içeriği (ton)
Dünya Kabuğu	$2.85 \cdot 10^{19}$	%5.1	$1.5 \cdot 10^{18}$
Topraklar	$2.0 \cdot 10^{14}$	%3.2	$6.4 \cdot 10^{12}$
Sular			$1.0 \cdot 10^{10}$
Okyanuslar	$1.32 \cdot 10^{18}$	3.4 ppb	$4.5 \cdot 10^9$
Nehirler	$1.2 \cdot 10^{12}$	670 ppb	$8.0 \cdot 10^5$
Toprak Suyu	$6.7 \cdot 10^{13}$	5 ppm	$3.3 \cdot 10^8$
Yeraltı suyu	$8.35 \cdot 10^{15}$	680 ppb	$5.7 \cdot 10^9$

Yerküre kabuğunda Fe içeren esas mineraller, mafik silikatlar, Fe sülfidler, karbonatlar ve bazı kil mineralleridir. Bunlardan ilk üçünde yüksek $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$ oranına rastlanır. Fe^{+2} içeren bazı silikatların çevrenin etkisiyle daha fazla yıprandığı bilinmektedir. Çünkü Fe^{+2} , O_2 nin varlığında, sonucunda su çıkan bir tepkimeye girer. Ayrıca, yıpranmaya, kimyasal etkilerin, tabakalı yapının ve yer değiştirmeninde etkisi olur. Çizelge 4.4’de dünya üzerindeki belirli birimlerin Fe içeriği verilmiştir. [5]

Bütün Fe^{+3} oksitleri kırmızı, sarı ve kahverengi arasında değişen çarpıcı renklere sahiptir. Bu renk değişikliği elektron kabuğundaki seçici geçirgenlik yüzünden olur. Düşük yoğunlukta olsalar bile, demiroksitlerin güçlü pigment özellikleri vardır ve pek çok toprağın rengini belirler. (Laulhere, JP., 1993)

Demir oksitlerin oluşumu çok sayıda kimyasal reaksiyon sonucu olur. Fe^{+3} oksitlerin oluşmasındaki ilk reaksiyon, Fe^{+2} içeren birincil minerallerin oksitlenmesidir.



Toprak koşullarında bu reaksiyon tek yönlüdür. Fe^{+2} silikatlarının Fe^{+3} oksitlenmeleri, yıpranma derecelerine bağlıdır. Sıcaklık, su aktivitesi, pH gibi koşullar yukarıdaki denklemde ve sonrasında etkili olur. Daha önce belirtildiği gibi bir demir oksit bir kere oluşuktan sonra başka bir forma dönüşebilir. Bu durum çevre şartlarının değiştiği ya da ilk oluşan mineralin kararlı bir yapıya sahip olamadığı durumlarda görülür. Bitkilerde,

demirin ana işlevi, kloroplastlarda ve mitokondrilerdeki redoks reaksiyonlarında görev almaktır. Demirin, bitkilerde rolleri tam olarak tanımlanamamışsa da önemli görevler üstlendiği bilinmektedir (White vd.,1995).

4.3.1 Demirin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Demirin fiziksel ve kimyasal özellikleri, bulundukları ortama katıldıkları reaksiyonlarının anlaşılabilmesi açısından önemlidir. Bu yüzden Çizelge 4.5’de demirin fiziksel özellikleri Çizelge 4.6’de ise demirin kimyasal özellikleri sıralanmıştır.

Çizelge 4.5 Demirin Fiziksel Özellikleri [8]

Yoğunluğu:	7.874 g/ml
Erime noktası:	1538 °C (1811K)
Kaynama noktası:	2861°C (3134K)
Molar hacmi:	7.09 ml/mol
Mineral Sertliği:	4.00
Isı iletkenliği(300K):	0.80 W cm ⁻¹ K ⁻¹
Özgül ısı:	0.440 J g ⁻¹ K ⁻¹
Buharlaşma Entalpisi:	347 kJ mol ⁻¹
Atomlaşma Entalpisi:	415 kJ mol ⁻¹

Çizelge 4.6 Demirin Kimyasal Özellikleri [9]

Elektronik konfigürasyonu:	[Ar].3d ⁶ .4s ²
Kabuk yapısı:	2.8.14.2
Elektronegatiflik:	1.83(Pauling birimine göre) 2.20(Sanderson elektronegatifliğine göre)
Elektron ilgisi :	15.7 kJmol ⁻¹
Atomik yarıçapı:	140 pm (156 pm hesaplama ile)
Oksidasyon sayısı:	2, 3 ,4, 6
İzotop / Yarılanma Süresi	⁵² Fe / 8.28 saat
	⁵³ Fe / 8.51 dakika
	⁵⁴ Fe / Kararlı
	⁵⁵ Fe / 2.73 yıl
	⁵⁶ Fe / Kararlı
	⁵⁷ Fe / Kararlı
	⁵⁸ Fe / Kararlı
	⁵⁹ Fe / 44.51 gün
	⁶⁰ Fe / 1.5x10 ⁶ yıl
	⁶¹ Fe / 6.0 dakika
	⁶² Fe / 68 saniye

4.3.2 Demirin görevleri

Sitokrom, heme, hematin, ferrichrome ve hemoglobin gibi moleküllerin yapısında yer alır, Ferridoksin ve Fe-S proteinleri gibi heme içermeyen moleküllerin yapısında yer alır, Pek çok enzim sisteminde bulunur. Bitkilerde ve diğer organizmalarda bulunan demir molekülünün büyük bir kısmı porfirinlerle birlikte bulunur. Hayvanların ve mantarların demir porpirinleri heme molekülüyken; bitkilerde sitokromlara daha fazla rastlanır. Sitokromların, fotosentez sisteminde ve solunum olayında görevleri vardır fakat en önemli

görevleri redoks fonksiyonudur. Yani demirin, Fe^{+3} formundan Fe^{+2} formuna çevrilmesi olayında görev alır.

Demir, dünya kabuğunda en çok bulunan dördüncü element olduğu halde, çoğu zaman bitkilerde demir eksikliği görülür. Fe, Zn, Cu gibi ağır metal iyonları serbestçe hücreye giremez. Girebilen formlar metal yakalayıcılardır (chelators). Yakalayıcılar, biyolojik olarak oluşturulurlar ve iyonofor denen metal taşıyıcılar olarak kullanılırlar. Demir metali için özelleştirilmiş iyonofora, siderofor denir. Bakteri, siyanobakteri ve mantarların demir taşınması için kullandığı yöntem, sideroforları ortama bırakıp sonra bunları enerji harcayarak tekrar hücre içine almaktır (Silver, J. 1993).^a

^a Dünya yüzeyindeki belirli birimlerin demir içeriği

5. BİYOSORPSİYON

Bu tez çalışmasında uygulama alanı olarak seçilen Küçükçekmece Gölü'nde ötrofikasyona sebep olan Siyanobakter demir, bakır ve çinko metalleri ile adsorpsiyon işleminde adsorbent olarak kullanılmıştır.

Genelde sorpsiyon alanında iki temel ile karşılaşır: 'adsorpsiyon' ve 'absorpsiyon'. Adsorpsiyon maddelerin bir yüzeyde veya yüzeyler arasındaki fazlar arası birikiminin ya da yoğunlaşmasının ortaya çıkması olarak bilinir. Bu tip sıvı-sıvı, gaz-katı, sıvı-katı arası yüzeyler gibi fazların yüzeylerinde meydana gelir. Adsorpsiyon ise bir fazın moleküllerinin veya atomlarının, bir çözelti oluşturmak üzere bu fazla diğer fazlar arasına yaklaşık olarak üniform seviyede girdiği bir prosestir (Volesky, 2003).

Metal iyonlarının sulu ortamlarından, biyokütle tarafından alınarak uzaklaştırılmasına biyosorpsiyon(biosorption) denir. Metal iyonlarının biyosorpsiyonu genel olarak adsorpsiyon(adsorption) iyon değiştirme (ion exchange), mikroçökme(microprecipitation) olaylarını ihtiba etmekte olan, hızlı ve terisinin döndürebilen bir olaydır (Volesky,1987). Biyosorpsiyon metodunda , mikroorganizmaları canlı ve cansız; tutulmuş ve serbest olarak kullanmak mümkündür.

Toksik ağır metal kirliliklerinin giderimi için kullanılan konvansiyonel arıtma teknolojilerine bir alternatif olarak uygulanmaya ve araştırmaya başlanan biyosorpsiyon prosesleri bu teknolojiler üzerinde sağladığı avantajlardan dolayı son yıllarda giderek önem kazanmaya başlamıştır. Biyosorpsiyon prosesleri genel olarak proseste kullanılan biyomateriyalin tekrar kullanabilmesi, düşük işletim maliyeti., kısa işletim süresi, spesifik metaller açısından geliştirilmiş seçicilik, çıkış sularındaki zehirlik etkisine bakılmaksızın sağlayan giderim ve toksik olabilen ikincil kirleticilerin üretilmemesi yönüden avantajlar sağlamaktadır (Spinti vd., 1995; Srinath vd., 2002; Mungasavalli vd., 2007).

Biyosorpsiyon proseslerin optimizasyonu diğer tüm kriterlerin belirlenmesinden önce giderilecek kirliliğe özgü biyorbentin seçimi veya geliştirilmesi ile gerçekleştirilmelidir (Chubar vd., 2004).

5.1 Biyosorpsiyon Mekanizması

Genel olarak biyosorpsiyon çözelti ortamındaki kirletici iyonların cansız bir biyokütlenin metal bağlama bölgelerine fiziksel ya da kimyasal olarak gerçekleşen etkileşimler aracılığı ile pozitif şekilde bağlanarak giderildiği bir proses olarak tanımlanabilir. Biyosorpsiyon pasif olarak gerçekleşen, iyonlarının metabolik olarak taşınımına ve birikme aracılık eden ve aktif olarak gerçekleşen biyobirikimden ayırt etmemiz gerekir. Biyobirikim canlı bir hücrenin fonksiyonudur. Biyobirikim genel olarak belirlemek çok zordur çünkü kimyasal taşınım iki yolla gerçekleşmektedir: hücre içerisinde birikim, depolama bölgeleri olarak görev yapan bazı organelleri içeren hücre duvarı ve hücre membranlarından geçerek hücre dışında birikim. Bunun yanı sıra bazı hücreler ekstrasellüler kimyasal oluşturma eğilimindedir. Bu proses potansiyel metabolik aktivitelerinin düzeyi ve tipi ile değişir. Bu yüzden proses karışıktır ve biyobirikim böylece nicel olarak çalışmayacak kadar zor olmaktadır (Volesky., 2003).

Genellikle biyokütle ile ağır metallerin giderilmesi üç kategoride sınıflandırılır: hücre yüzeyine bağlanma, hücre içi birikim ve hücre dışı birikim. Metabolizmadan bağımsız olarak, hücre yüzeyine bağlanma olayı hem canlı hem cansız mikroorganizmalarda meydana gelebilirken, metallerin hücre içerisinde ve hücre dışında birikim olayı genellikle enerji getiren proseslerdir ve bu yüzden sadece canlı hücrelerde meydana gelebilir (Gadd, 1990). Cansız mikrobiyal biyoküteller canlı biyokütler ile karşılaştırdıklarında, muhtemelen canlı biyokütlerde metabolizma boyunca üretilen rekabetçi protonların cansız biyokütler için söz konusu olmamasından dolayı metal iyonlarının giderimi açısından canlı biyokütler daha iyi bir eğilim sergilemektedir (İlhan vd., 2004).

Kurutulmuş, cansız veya kimyasal olarak ön işleme maruz bırakılmış mikroorganizmaların atık sulardan ağır metal iyonlarının giderimini kapsayan endüstriyel uygulamalarda kullanımı, canlı mikroorganizmaların kullanımına kıyasla bir alternatif olarak görülmektedir. Proseslerde cansız hücrelerin kullanımı, canlı hücreler üzerinde metal giderim sisteminin toksisite kısıltmalarına maruz bırakılmaması, canlı hücreyi yetiştirmede olduğu gibi kültür ve nütriente gerek duyulmaması, biyosorbe edilen metal iyonlarının kolaylıkla desorbe edilebilmesi ve biyokütlerinin tekrar kullanılabilmesi, cansız biyokütlerle dayalı arıtma sistemlerin genel adsorpsiyon sistemlerine uygulanabilmesi gibi çeşitli avantajlar sunmaktadır (Yan ve Viraraghavan, 2000). Bunun yanı sıra canlı

hücreler, ağır metallerin hücre ölümlerine sebep olan toksik etkisine belli bir limite kadar dayanabilmektedir (Volesky, 2003).

Biyorsorpsiyon Mekanizmalarında fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonda izlenmektedir

Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon genelde Van der Waals kuvvetleri ve adsorbat molekülü ile adsorbent yüzeyinde birikecek atomlar arasında elektrostatik kuvvetler nedeniyle. Böylece adsorbentler öncelikli olarak yüzey özellikleri ve kutupsallık gibi özelliklerle karakterize edilmektedir.

Fiziksel adsorpsiyonda denge çok kolay kurulur ve düşük adsorpsiyon ısısı ile karakterize edilir. Atıksular da ve sularda bir çok kirleticiler ve gazların aktif karbon üzerine adsorpsiyonu fiziksel adsorpsiyonu denir. Fiziksel adsorpsiyonda etkin kuvvetler Van der Waals kuvvetleri olduğu için bağlar zayıf ve dönüşümlüdür. Bu nedenle fiziksel adsorpsiyonda adsorbant yüzeyine bağlanan molekül veya iyon yapısı değişmez ve bağlandığı yüzeyde nispeten hareketlidir. Bu tip adsorpsiyonda adsorplanmış tabaka irden fazla molekül kalınlığında olabilir. Adsorpsiyon sıcaklığın artmasıyla azalır. Fiziksel adsorpsiyon tersinir olduğundan konsantrasyonun düşmesi halinde adsorbe olan molekül yüzeyinden ayrılır.

Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon ise adsorbat ile adsorbent arasındaki iyonik ve kovalent bağların neden olduğu kimyasal ilişkiye dayanmaktadır. Adsorpsiyon, adsorbentin yüzeyinde moleküller arasında kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri gelir. Adsorpsiyon da rol oynayan kuvvetler, katı yüzeyi ile değer fazlar arasında adsorplanan maddenin konsantrasyon, basınç ve elektrostastik yüklerin farklı olmasından meydana gelen kuvvetlerdir. Katı yüzeyindeki atom veya moleküllerin denkleşmemiş kuvvetleri tarafından çözeltide çözünmüş maddeler katı yüzeyine doğru çekilirken, bu yüzey kuvvetleri dengelenmiş olur. Bunun sonucu olarak çözeltide çözünmüş maddelerin

adsorpsiyonu gerçekleşir.

Kimyasal adsorpsiyon, adsorbentin yüzey moleküller ile adsorplanan molekülleri ya da atomları arasında kimyasal bağların ve genelliklede kovalent bağların oluşmasıyla meydana gelmektedir. Kimyasal bağın uzunlukları düşebilir ve bilinen anlamda kimyasal bileşikler oluşmayabilir. Kimyasal adsorpsiyonu meydana getiren kuvvetler fiziksel adsorpsiyonu meydana getirenlerden daha büyüktür. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı kimyasal reaksiyon ısısı mertebesinde ve aktivasyon enerjisi yüksektir.

Bir çok hal kimyasal adsorpsiyon katının bir çok yüzeyinde değil, aktif merkezlerde kendini gösterir adsorpsiyon tek tabakalı ve geri dönüşümsüzdür. Kimyasal adsorpsiyona karbon monoksidin tungsten; oksijenin gümüş, altın, platin, ve karbon tarafından adsorplanması. Bazı sistemler düşük sıcaklıklarda fiziksel, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal adsorpsiyon gösterir.

Genel olarak adsorpsiyon 3 basamakta incelenmektedir. Bu basamaklar, makrotransport, mikrotransport ve sorpsiyon olarak tanımlanmaktadır (Thchobanoglous vd., 2003).

- Makrotransport difüzyon etkisiyle çözeltideki adsorbatın sıvı katı arasındaki kesişim yüzeyine taşınmasıdır.
- Mikrotransport adsorbatın makro boyuttaki yüzey boşluklardan daha küçük boyuttaki boşluklara difüzyonudur.
- Sorpsiyon ise adsorbatın adsorbent bünyesine yerleşmesi olarak tanımlanmaktadır.

5.2 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

- pH
- Sıcaklık
- Adsorbatın özellikleri
- Temas süresi
- Adsorbatın yapısı
- İyonik sertlik ve ortamdaki diğer maddeler

Adsorpsiyon, pH, adsorbentin yüzey özellikleri , sıcaklık ve adsorplanan ile çözücünün özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. pH ortamdaki hidronyum ve hidroksil iyonlarının fonksiyonudur. Adsorbentin yüzey yüklerine bağlı olarak hidronyum ve hidroksil iyonları adsorplanarak, çözeltideki diğer iyonların adsorpsiyonunu engellerler. Asidik pH’larda ise pozitif yüklü iyonların adsorpsiyonunun artması beklenir.

Adsorplanan madde miktarı adsorbentin spesifik yüzey alan ile orantılıdır. Gözenekli ve ince taneli adsorbentlerin daha geniş bir yüzey alanına sahip olaması adsorpsiyonu artırmaktadır. Adsorbentlerin yüzey yükleri de adsorpsiyonu büyük ölçüde etkilemektedir. Adsorbentlerin adsorplama kapasitelerinin artırılması, genellikle bunların kuvvetli bir asit veya fazla aktive edilmesiyle sağlanır. Aktifleştirme ile yüzey pozitif veya negatif yüklü iyonların adsorplanması için daha aktif hale getirilir.

5.3 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemini daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için bir çok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadırlar. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır

Adsorbsiyon süreçleri genellikle denge izotermi ile tanımlanırlar. Bu izotermi, birim kütle tutucu katıda biriken çözünmüş madde mol sayısı ve sabit sıcaklıkta dengede çözeltide kalan çözünmüş madde konsantrasyonu arasındaki ilişkidir. Diğer bir deyişle, Adsorplanabilen madde miktarı, bu maddenin eriyik içindeki konsantrasyonu ve sıcaklığının bir fonksiyonudur. Genel olarak adsorplanan madde miktarı, sabit sıcaklıkta

konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak tayin edilir ve ortaya çıkan fonksiyona '*adsorpsiyon izotermi*' adı verilir

Denge verileri günümüz tasarım evresinde en yaygın kullanılan üç modelden birisine uygulanır. Bunlar; Brunauer-Emmett-Teller (BET), Langmuir ve Freundlich izotermidir. BET ve Langmuir izotermilerinin her ikisi de teorik gelişmeler bazındadır. Freundlich izotermi bir amprik bağıntıdır. BET izotermi çok, Langmuir izotermi ise tek tabakalı adsorbsiyon bazındadır.

5.2.1 Freundlich İzotermi

Adsorpsiyon üzerinde tutunan madde arasındaki denge ilişkisi genel olarak Freundlich izotermi ile tanımlanmaktadır. Freundlich izotermi için fiziksel proses olması ve maleküllerde her hangi bir değişik olmaması gerekmektedir.

Freundlich modeli şu formda verilebilir

$$q = K \cdot C^{(1/n)}$$

burada;

q= Birim biyokütle üzerinde tutulan birimmadde ağırlığı.

C= Adsorplama olayı sonunda adsorplanan maddenin denge halindeki konsantrasyonu.

K= Freundlich adsorpsiyon katsayısı.

n= Karakteristik Freundlich izoterm sabiti.

Bir adsorbsiyon deneyinin freundlich denkleminde uyarlılığını göstermek için bu denklemin logaritmik şekilde yazılması gerekmektedir ;

$$\log a = \log A + \frac{1}{n} \log C$$

Deney sonucunda loga ile logC arasında çizilen grafiğin bir doğru vermesi adsorbsiyonun freundlich denkleminde uyarlılığını gösterir (Sawer ve McCarty, 1978).

5.2.2 Langmuir İzotermi

Langmuir adsorpsiyonunda kimyasal adsorpsiyonu göstermek amacıyla geliştirilmiştir.

Adsorpsiyon enerjisinin sabit olduğunu ve biyokütle üzerinde tutulan maddenin moleküllerinin yer değiştirmediğini kabul eder. Biyokütleyi tek tabaka olarak düşünüp, bunun doygunluğa ermesiyle maksimum adsorpsiyonun olacağını kabul eder.

Langmuir izotermi şu şekilde verilebilir:

$$q=(b.K.C.)/(1+K.C)$$

burada;

q =Birim biyokütle üzerinde tutulan birim madde ağırlığı.

C =Adsorplama olayı sonunda biyosorplanan maddenin denge halindeki konsantrasyonu.

b = Birim biyokütle üzerinde tutulan maksimum madde ağırlığı.

K =Enerji ile ilgili adsorpsiyon sabiti (Sawer ve McCarty, 1978).

5.2.3 BET İzotermi

BET adsorpsiyon izotermi Brunauer, Emet ve Teller tarafından geliştirilmiştir. BET izotermi genellikle Langmuir izoterminden daha uygulanabilir olup çift katmanlı adsorpsiyonu da ifade etmektedir. Bu model ile her bir katmanda biriken adsorbat dikkate alınır ve her bir katman için Langmuir izotermi uygulanır. Langmuir izoterminden daha komplekstir (Sawer ve McCarty, 1978).

6. MATERYAL VE METOD

Bu tez çalışmasında uygulama alanı olarak Küçükçekmece Gölüne kirlilik taşıyan Sazlıdere'nin göle etkisinin incelediği D1 istasyonu seçilmiştir. D1 nolu istasyonun harita üzerindeki yeri Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 D1 noktasının harita üzerindeki görünüşü (Üstün vd., 2005)

D1 noktasından alınan su örnekleri laboratuara getirilip, Gazi Üniversitesi'nde Biyoloji Bölümü, biyoteknoloji laboratuvarındaki uzmanlar^b tarafından sıvı besi yerinde (Rippka vd., 1979) 15-30 gün süresince geliştirilmiştir. Siyanobakteri izolatlarının izolasyonu iki şekilde yapılmıştır. Genelde saflaştırma yoğun halde üreyen karışık kültürden, ucu alevde

^b Prof. Dr Belma ASLIM, Arş.Gör. Şahlan ÖZTÜRK ve Arş.Gör. Ebru Şebnem YILMAZ

uzatılıp incelenmiş cam pastör pipeti ile tek hücre halinde alınıp yeni bir besi yerine aktarılacak suretiyle yapılırken; bazı izolatlar BG 11 agarplakalarında tek koloni yöntemi ile izole edilmişlerdir. Saf kültürün teşhisi, Gazi Üniversitesi Biyoteknoloji Laboratuvarında, morfolojik özelliklerine göre ve 16s rRNA'larından elde edilen dizi analizlerinin Gen bankası(NCB1) verileri ile mukayese edilmesiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2 Siyanobakterlere özel çalkalama etüv

Ön çalışmada kullanılan Siyanobakteriler için birçok besi ortamlarında denenmiş üremenin yoğun ve kısa sürede gözlemlendiği BG11 ortamında karar kılınmıştır. Teşhisi yapılan saf kültürler fotosentetik bakterilerle özel Minitron marka çalkalamalı etüvde, 100 rgm'de muamele edilmişlerdir (Şekil 6.2). Kültürler, 25°C ve 3000 lüks ışık şiddetinde, 12 saat gündüz 12 saat gece periyodunda üremeye bırakılmıştır.

Adsorpsiyon çalışmalarında gölde kirliliğe neden olan demir, bakır ve çinko metalleri, adsorbent olarak da gölde ötrofikasyona sebep olan Siyanobakteri *Synechocystis* sp.

kullanılmıştır. Siyanobakteri Gazi Üniversitesi Biyoloji bölümü Biyoteknoloji laboratuvarında sudan izole edilmiş, kurutulmuş ve toz haline getirilmiştir^c. Bu bölümde yapılan adsorpsiyon çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan çözeltilerin hazırlanışı detaylı olarak anlatılmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan metal çözeltileri standart metodlarda uygun olarak hazırlanan 100 mg/l'lik stok çözeltilerden hazırlanmıştır. Çözeltilerin hazırlanmasında ve gereçlerin yıkanması ve her türlü işlemde ultra saf su kullanılmıştır. Ultra saf su Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında bulunan TKA marka Gen- Pure adlı cihazdan sağlanmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan tüm plastik ve cam gereçler standart metodlara göre 1+1'lik HNO₃ çözeltisiyle yıkanmıştır (Standart Metods for The Examination of Water and Wastewater, 1995).

Araştırma kapsamında kullanılan materyallerin elde edilişi ve deneysel metotları aşağıda gösterilmektedir:

Siyanobakterilerin izolasyonu ve laboratuvar koşullarında alınan su örneklerinden çoğaltılması,

Fe Zn ve Cu metallerine karşı izole edilen siyanobakteri izolatları arasındaki en dirençli izolatın belirlenmesi,

Metalli ortamda 14 günlük klorofil ölçümü yapılarak dirençli izolatın, büyüme eğrilerinin oluşturulması,

En uygun ureme dirençli izolatın pH ve sıcaklığın belirlenmesi,

Dirençli izolatın, optimum pH ve sıcaklıktaki; tekli, ikili, üçlü Fe, Zn, ve Cu metal kombinasyonlarında ve doğal ortamdan alınmış su numunlerindeki adsorpsiyon davranışının belirlenmesi.

^c Siyanobakteri Gazi Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji laboratuvarında sudan izole edilmiş.

6.1. İzole edilen Siyanobakteri İzolatlarının Ağır Metal Dirençliliğinin Belirlenmesi

Bu çalışma aşamasında izole edilen Siyanobakteriler arasından en dirençli izolat kısa bir süre içerisinde tespit edilerek optik yoğunluk ile toksisitenin ilişkilendirildiği dirençlilik yöntemi kullanılmıştır.

Fe, Zn, ve Cu metallerinin adsorpsiyonunu incelemek amacıyla en dirençli *Synechocystis* sp izolatı kullanılmıştır. Optik yoğunlukları eşit ayarlanmış hücre kültürleri, farklı konsantrasyonlarda Fe, Zn, ve Cu metallerini içeren taze besiyeri içerisinde aşılanmıştır. Bu konsantrasyon değerleri, Küçükçekmece Gölü'ndeki metal konsantrasyonları dikkate alınarak seçilmiştir.

Kesikli reaktörlerde yürütülen metal giderim çalışmaları pH=7 ve T=23C koşullarında yapılmıştır. Kùltürler 144 saat boyunca (12 saat gündüz ve 12 saat gece periyodunda, 100gpm'de) siyanobakterilere özel çalkalamalı etüvde inkübasyona bırakılmıştır. En dirençli *Synechocystis* sp. (E35) izolatının doğal ortamda davranışını, laboratuvar ortamda incelemek amacıyla Küçükçekmece Gölü'nden alınmış su örnekleri ile adsorpsiyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri sırasında kullanılan siyanobakteri türünün ortamdaki davranışını belirleye bilmek için değer ortamda türlerin bulunmaması gerekmektedir.

6.2 Adsorpsiyon Çalışmaları

Deney çalışmalarında demir, bakır ve çinko metallerinin çözeltileri stok çözeltilerden üç farklı konsantrasyonda sentetik olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm konsantrasyonlarda ki çözeltilerin pH'ları 6,5 – 7,0 ve 7,5 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu pH aralığı gölde yapılan ölçümlerin sonucunda gölün karakterini laboratuvar ortamına yansıtmak amacıyla seçilmiştir. pH'lar WTW pH metre ile ölçülmüştür. Ayrıca deionize su içeren birde şahit seti eklenmiştir. Şahit setinin eklenmesinin nedeni temizlik ve pH ayarlamalarında kullanılan diğer çözeltilerden gelecek bir kontaminasyon olup olmadığını kontrol etmektir. Şahit setinin pH'ları da aynı aralıkta hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler kesikli reaktörlerle sıcaklığı 26 °C'ye, dönüş hızı ise 120 rpm'e sabitlenmiş olan çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiştir.

Çözeltilerin hazırlanması esnasında yapılan hataları tespit etmek amacıyla henüz reaktörlerin içine adsorbent yerleştirilmeden 0.dk.'da örnekler alınmıştır. Daha sonra kesikli reaktörlerin içlerine 0.1 gr toz halinde Siyanobakter adsorbent olarak eklenmiştir. Gösterilen zaman çizelgesine göre örnekler otomatik pipet yardımıyla alınmıştır. Alınan örnekler Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında Atomic Adsorption Spektrofotometre cihazı konsantrasyon limitleri arasına çekilebilmek için 1/50 seyreltilmiş, süzölmüş ve HNO_3 çözeltisi ile sabitlenerek pH'ları 1,5 – 2 arasına getirilmiştir. Herhangi bir kayıp olmaması için tüm örnekler plastik numune kutularında saklanmıştır.

6.2.1 Adsorpsiyon Çalışmaları İçin Hazırlanan Çözeltiler

Demir çözeltisi: Merck markalı demir tozu “Standart Methods”un 3111 Flame Atomic Absorption Spectrometry bölümü gereğince 3111 B 3j11 maddesine göre hazırlanmıştır. Bu metoda göre 0,100 g demir tozu ilk önce 10 ml. 1+1 HCl ve 3 ml konsantre HNO_3 ile muamele edilmiştir. Daha sonra 5 ml. konsantre HNO_3 daha ilave edilmiştir. Son olarak da ultra saf su ile 1000 ml. ye tamamlanmıştır.

Bakır çözeltisi: Merck markalı bakır tozu “Standart Methods”un 3120B 3111 Flame Atomic Absorption Spectrometry bölümü gereğince 3111 B 3j8 maddesine göre hazırlanmıştır. Bu metoda göre 0,100 g bakır t ilk önce 2 ml. HNO_3 ile muamele edilmiştir. Daha sonra 10 ml. konsantre HNO_3 daha ilave edilmiştir. Son olarak da ultra saf su ile 1000 ml. ye tamamlanmıştır.

Çinko çözeltisi: Merck markalı çinko tozu “Standart Methods”un 3111 Flame Atomic Absorption Spectrometry bölümü gereğince 3111 B 3j27 maddesine göre hazırlanmıştır. Bu metoda göre 0,100 g çinko 20 ml. 1+1 HCl ile muamele edilmiştir. Son olarak da ultra saf su ile 1000 ml. ye tamamlanmıştır.

7.3 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon denemeleri sırasında kullanılan *Synechocystis* sp(E35) izolatının, çalışmada kullanılan bakır, demir, çinko metallerle ilişkisini matematiksel olarak ifade edebilmek

amacıyla Freundlich ve Langmuir izotermi kullanılmıştır.

7.4 Çökme Etkisinin Belirlenmesi İçin Yapılan Çalışmalar

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan aynı stok çözeltiler çökme etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda da kullanılmıştır. Bu stok çözeltilerden üç farklı konsantrasyonda demir, bakır ve çinko çözeltileri hazırlanmıştır. Bu tez çalışması 144 saat sürmüştür. Tüm konsantrasyonlardaki çözeltilerin pH'ları 6.5–7.0 ve 7.5 olarak ayarlanmıştır. Tüm hazırlanan metal çözeltilere 0.1g bakteri koyulmuştur. Bakterileri koymadan önce her çözeltiden 0.1 ml numuneler alınmıştır daha sonra sıcaklığı 26⁰C'ye dönüş hızı ise 120 rpm'e sabitlenmiş olan çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiştir. Hazırlanan metal çözeltilerden 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120 dk ve 24, 48, 72, 96, 144 saat sonrasında aynı kesikli reaktörlerden tekrar 0.1 ml 2'şer numune alınmıştır. Numunele Atomic Adsorption Spektrofotometre ile ölçülmüştür.

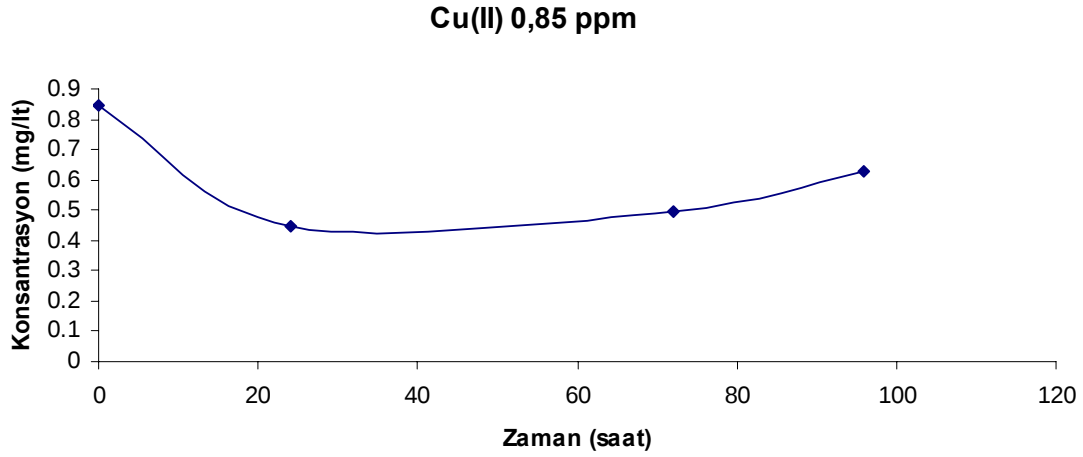
7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, uygulama alanı olarak seçilen, Küçükçekmece Gölü'nde kirliliğe neden olan metallerden demir, bakır ve çinkonun adsorpsiyonu araştırılmıştır. Adsorpsiyon denemelerinde gölden alınan Siyanobakter adsorbent olarak kullanılmıştır. Çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan çalışmada sıcaklık 27°C'de, çalkalama hızı 120 rpm'de, adsorbent olarak kullanılan Siyanobakteri miktarı 0.1 g'da sabit tutulmuştur. Değişen metal konsantrasyonlarında çalışmalar yürütülmüştür. Hazırlanan sistemden numuneler, 0, 5, 10, 20, 30, 60. dk'larda ve 24, 48, 72, 96, 120, 144. saat'lerde 2'şer adet (kontrol amaçlı) alınmıştır. İlk 2 saat içerisinde adsorpsiyonun karakterinin değişken olmasından dolayı 60.dk'ya kadar alınan numune sayısı fazladır. Ayrıca çökmenin etkisiyle konsantrasyonlarda bir değişikliğin olup olmadığı yapılan denemelerle gözlenmiş ve sonuçlar bu bölüm içerisinde şekillerle gösterilmiştir.

7.1 Bakır Adsorpsiyonu

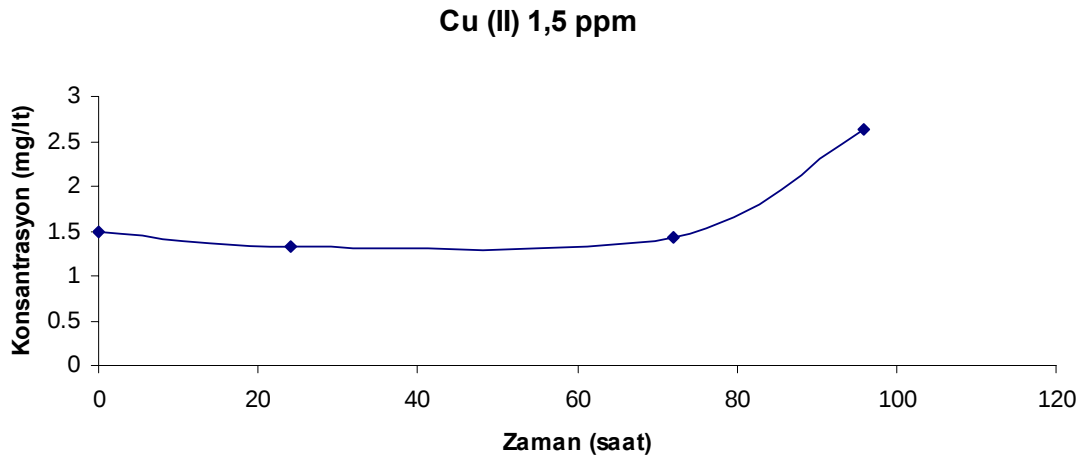
Bakır metalinin, *Synechocystis* sp.(E35) izolatı için yapılan denemeler sonucunda , çinko ve demire göre daha iyi adsorbe edilen bir element olduğu belirlenmiştir. Bakır metali, 0.85 ppm, 1.5 ppm, 2.5 ppm ve 6 ppm olarak 5 farklı konsantrasyonda denenmiştir. Hazırlanan her bir sistem 144 saat süresince işletilmiştir. Her örnekte, çözelti hacmi (sentetik metal çözeltisi) 40 ml olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan metal çözeltileri, pH=7'ye ayarlanmıştır ve 0,1g bakteri üzerine dozlanarak shaker da (100 rpm, 23°C) çalkalanmıştır.

Şekil 7.1'de 0.85 ppm olarak dozlanan Cu'nun adsorbsiyon sonuçları görülmektedir. pH 6,5'da yapılan adsorbsiyon denemelerinde, 24. saate kadar adsorbsiyonun hızlı bir şekilde gerçekleştiği, ancak 24. saatten 96.saate kadar ise, Cu'nun tekrar desorbe olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni, pH 6,5 da, yüksek konsantrasyonlarda olan bakırın daha kolay bağlanabilen ve kopabilen bir yapıda bulunması olarak yorumlanabilir. 0.85 ppm Cu dozajına ait adsorbsiyon çalışması sonuçları tablo halinde Ek 1.1'de verilmiştir.



Şekil 7.1 0,85 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

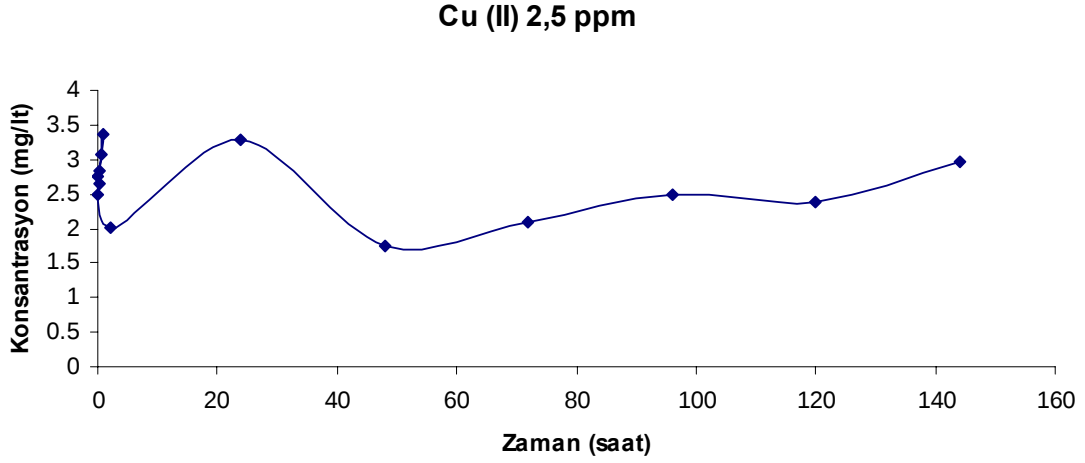
Cu konsantrasyonu 1,5 ppm'e çıkartıldığında da, Cu'nun ilk 24 saat içinde çok az miktarda adsorblandığı, 24.saatten 72. saate kadar kararlı bir durumda bulunduğu ancak 72. saatten sonra desorbe olarak suda ki miktarının, başlangıçta ki konsantrasyonuna kıyasla, neredeyse 2 katı arttığı görülmüştür.



Şekil 7.2 1,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

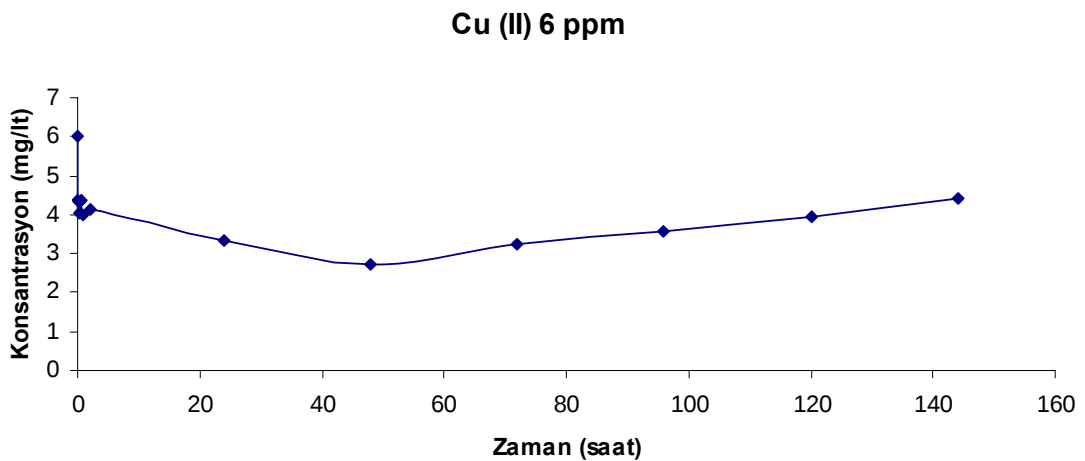
2,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Cu'nun ilk bir kaç saat içinde çok iyi adsorblandığı, ardından desorbe olarak, 24.saatte başlangıç konsantrasyonuna ulaştığı ve tekrar adsorblanarak 48. saattte suda ki minimum konsantrasyonuna ulaştığı görülmüştür.

48. saatten sonra suda ki Cu konsantrasyonu tekrar artışa geçmiştir ve 144. saatte 3ppm'e ulaşmıştır.



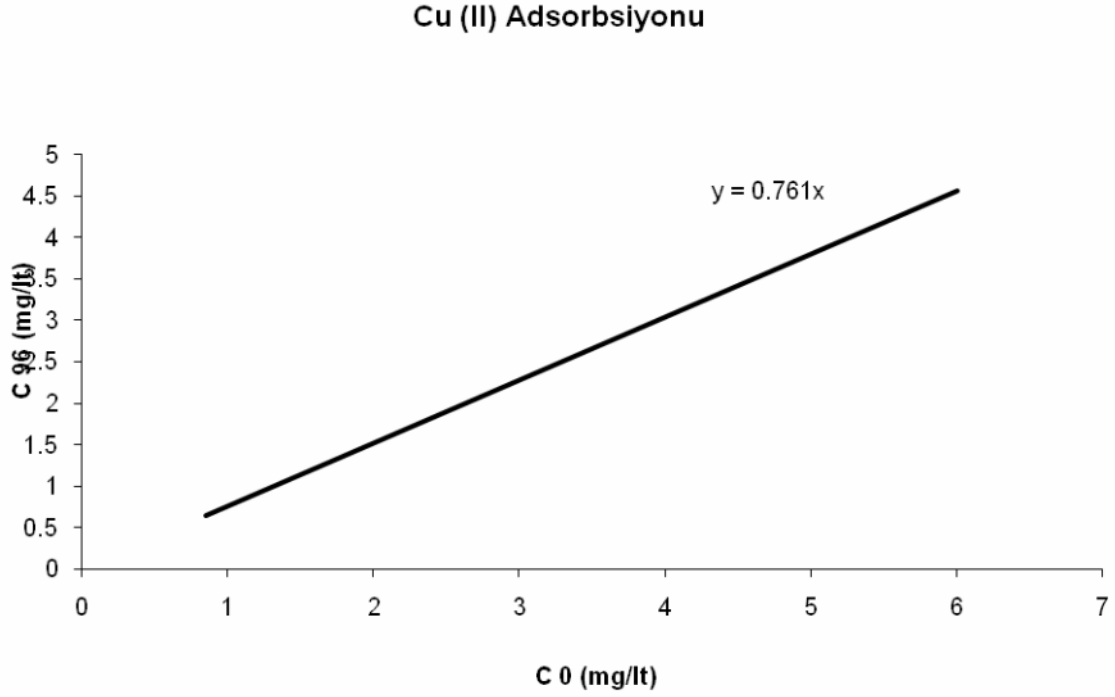
Şekil 7.3 2,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6 ppm Cu dozlaması yapıldığında, Şekil 7.4'dan da görüldüğü gibi, yüksek konsantrasyonda ki dozlama da, Cu'nun ilk 1-2 saatte çok hızlı bir şekilde adsorblandığı ve ardından adsorbsiyon hızında azalma gerçekleştiği ancak 48.saatte kadar adsorbsiyona devam ettiği görülmüştür. 48.saatten 144. saate kadar adsorblanan Cu'nun suda ki konsantrasyonunda artış görülmüştür.



Şekil 7.4 6 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

96. saatin sonunda Cu'nun adsorbsiyonu incelendiğinde, Cu'nun desorbe olma eğiliminde olduğu görülmektedir (Şekil 7.5). Yapılan adsorbsiyon denemeleri sonucunda, konsantrasyon artışıyla suda ki bakır miktarının arttığı gözlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için elde edilen sonuçlar tablo halinde Ek 4.1'de verilmiştir.



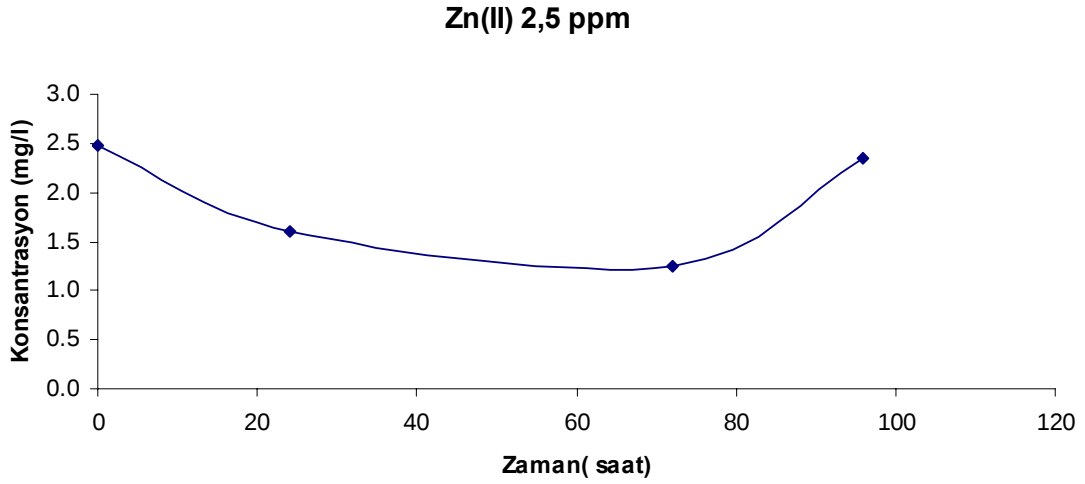
Şekil 7.5 Farklı konsantrasyonlarda Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

7.2 Çinko Adsorpsiyonu

Çinko metalinin, *Synechocystis* sp.(E35) izolatu ile yapılan dirençlilik denemeleri sonucunda , bakır ve demire göre daha hızlı bir şekilde adsorbe ve desorbe olduğu görülmüştür. Çinko metali için 5 farklı konsantrasyon (2.5 ppm, 3.5 ppm, 4,5 ppm, 6,5 ppm(dk), 6,5 ppm) denenmiştir.

Genel olarak, Zn metalinin adsorbsiyonu incelendiğinde, yüksek konsantrasyonlarda adsorbsiyonun daha kararlı bir hal izlediği görülmüştür.

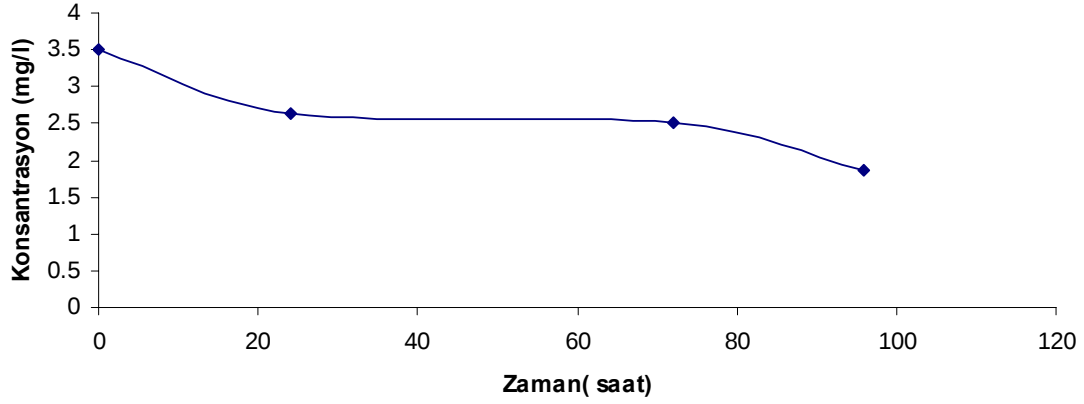
2,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Zn'nun hızlı bir şekilde adsorblandığı ve 48.saatten sonra ise adsorbsiyon hızında bir azalma olduğu ve 72.saatten sonra ise, desorbsiyonun gerçekleştiği ve suda ki Zn miktarında artış olduğu görülmüştür. 96. saatin sonunda, suda ki Zn konsantrasyonu, başlangıç konsantrasyonu ile hemen hemen aynıdır (Şekil7.6).



Şekil 7.6 2,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Dozlanan Zn konsantrasyonu 3,5 ppm'e çıkartıldığında, Zn 2,5 ppm dozlama ile hemen hemen aynı davranışı göstererek 24.saat'e kadar adsorbe olup 24.saatten sonra kararlı bir hale geçmiştir. Ancak 72. saatten sonra, 2,5 ppm dozlamının yapıldığı sisteme kıyasla, desorbsiyon olmadığı aksine, Zn adsorbsiyonunun devam ettiği görülmüştür (Şekil 7.7).

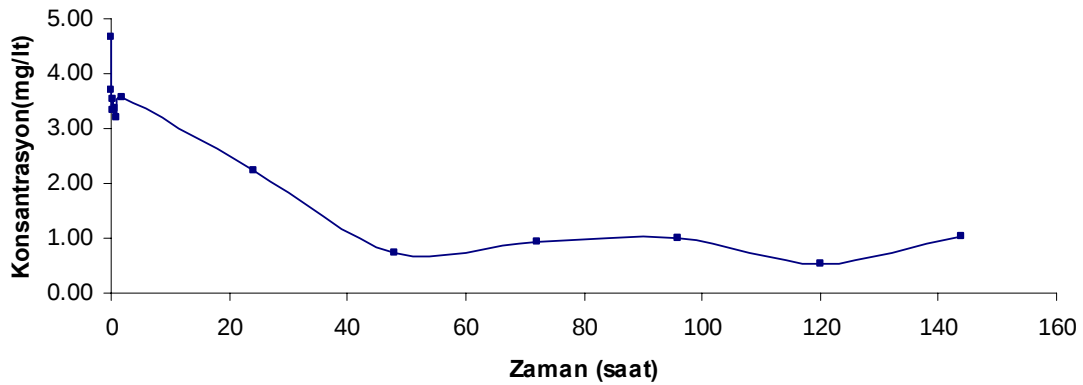
Zn(II) 3,5 ppm



Şekil 7.7 3,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Sisteme, 4,5 ppm Zn dozlaması yapıldığında, ilk 12 saat içinde adsorbsiyonun hızlı bir şekilde gerçekleştiği ardından desorbsiyonla suda ki Zn konsantrasyonunun arttığı görülmüştür (Şekil 7.8). Ancak genel olarak bakıldığında, Zn konsantrasyonunda ki artışla adsorbsiyon hızında bir artış olmuştur. 48. saate kadar hızlı bir şekilde adsorbe olan Zn 48. saatten sonra desorbe olmuş ve 144. saate kadar adsorbsiyon-desorbsiyon hareketliliğini göstererek 144. saatte başlangıç konsantrasyonunun yaklaşık %80'i kadar adsorblandığı görülmüştür.

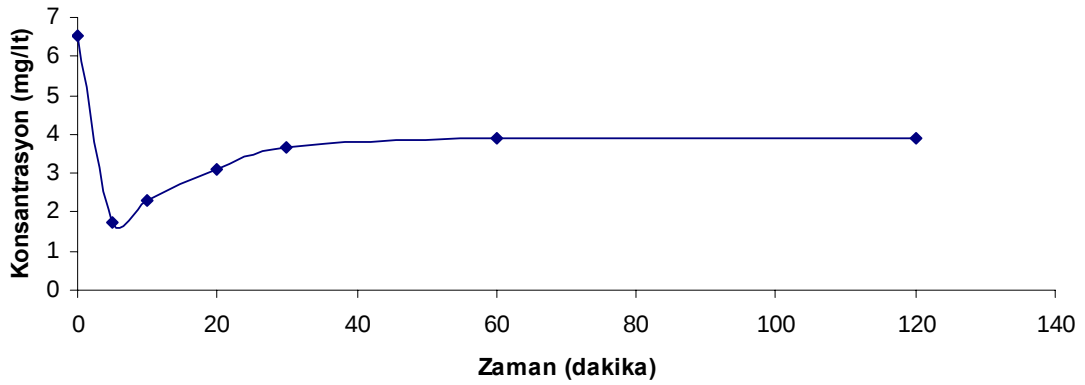
Zn (II) 4,5 ppm



Şekil 7.8 4,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

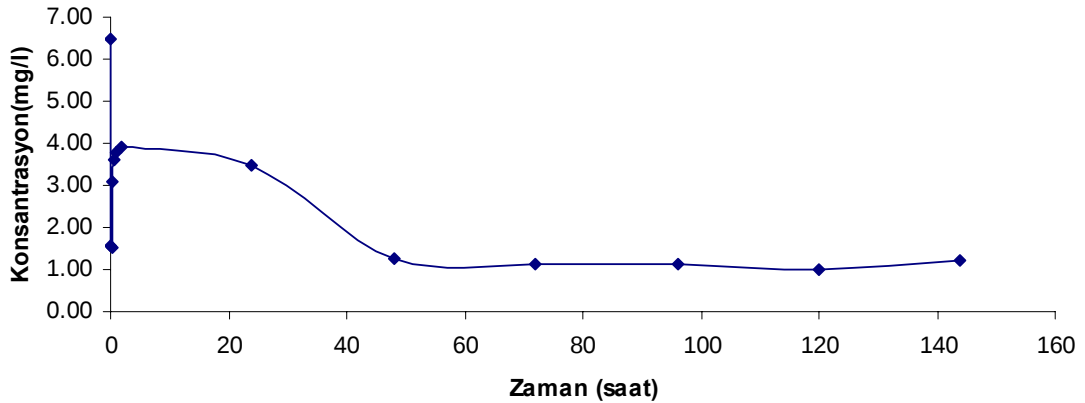
6.5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde (Şekil 7.9), Zn'nun 2 saat'lik adsorbsiyonu incelendiğinde, adsorbsiyonun ilk 10 dk içinde hızlı bir şekilde gerçekleştiği, ardından desorbsiyon nedeniyle suda ki Zn konsantrasyonunun arttığı ve 60.dk'dan itibaren denge konsantrasyonuna ulaştığı görülmektedir. Şekil 7.10'da Zn'nun saatlik adsorbsiyon değişimi incelendiğinde 48. saatten sonra Zn'nun adsorbsiyon hızında azalma olduğu ve kararlı bir hale geçtiği görülmüştür.

Zn (II) 6,5 ppm



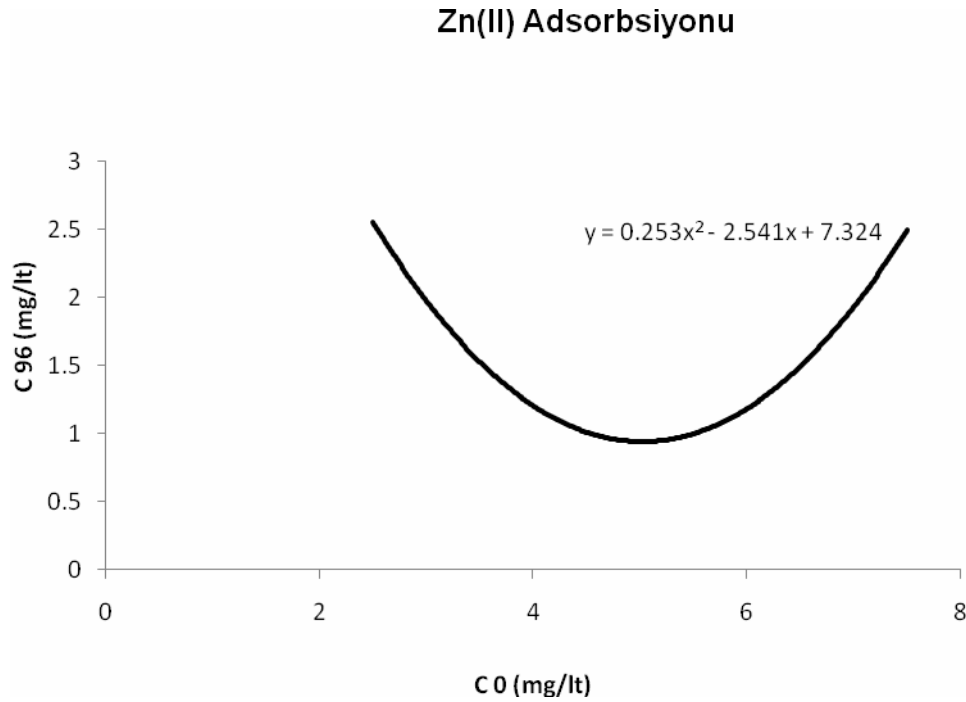
Şekil 7.9 6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Zn(II) 6,5ppm



Şekil 7.10 6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Genel olarak, çalışılan bütün konsantrasyonlarda, her Çinko metalin adsorbsiyon desorbsiyon davranışları incelendiğinde, Çinko'nun belirli bir konsantrasyona kadar sistemde adsorbe olma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 7.11'den de görüldüğü gibi 4,5 ppm Zn dozlamasında adsorbsiyon kararlı hale gelmiştir. Ancak Çinko konsantrasyonu 6,5 üzerine çıktığında desorbsiyon gözlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarda Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için elde edilen sonuçlar tablo halinde Ek 5.1'de verilmiştir.



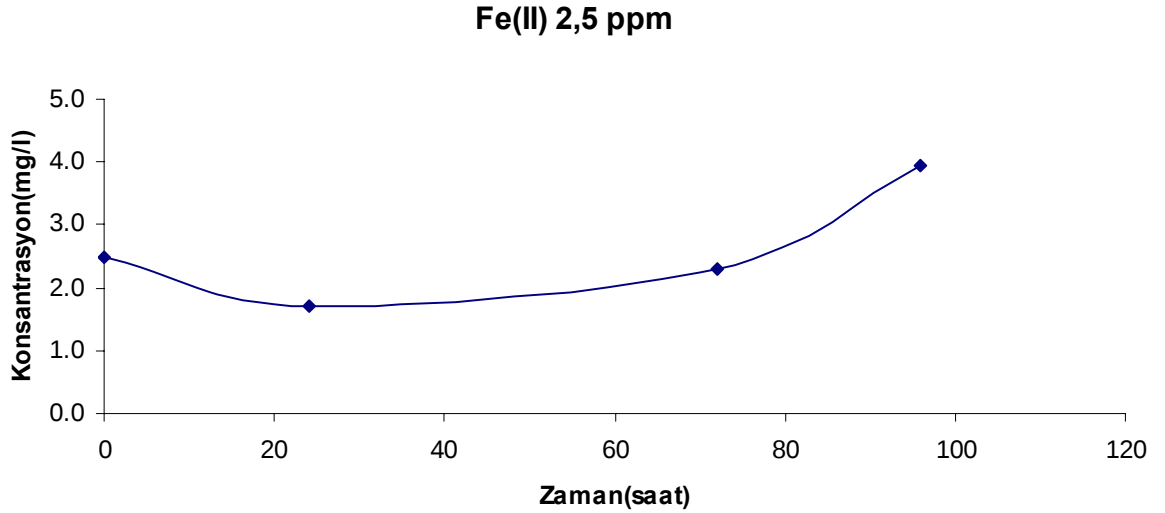
Şekil 7.11 Farklı konsantrasyonlarda Çinko dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

8.3 Demir Adsorpsiyonu

Demir metalinin, *Synechocystis* sp.(E35) izolatu ile yapılan dirençlilik denemeleri sonucunda , çinko ve bakıra göre konsantrasyonu arttıkça kararlı hale geldiği görülmüştür. Demir metali ile, 2.5, 3.5, 5,5, 6.5 ve 9.5 ppm olarak 5 farklı konsantrasyonda çalışılmıştır. Bütün konsantrasyonlar, pH 7,5 de denenmiştir.

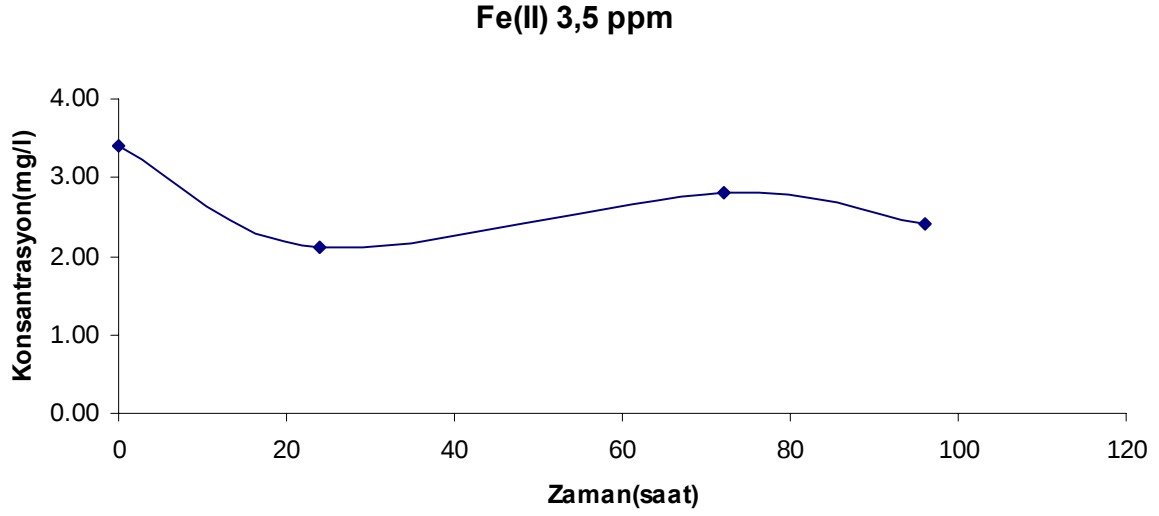
Yapılan adsorbsiyon çalışmalarında, Demir metalinin, dozlanan konsantrasyonlarda hem adsorbsiyon hem desorbsiyon davranışı gösterdiği gözlenmiştir. Fe konsantrasyonu arttırıldıkça, metalin çökelme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, Fe metalinin ilk 24 saat içinde adsorblanmasının gerçekleştiğı ve 24 ve 96. saatler arasında ise desorbsiyon eğiliminde olduğu görölmüştür.

Sisteme 2.5 ppm Fe dozlaması yapıldığında, Fe'in 24 saate kadar yavaş bir şekilde adsorblandığı ve 24.saatten sonra su da artışa geçtiğı ve 96.saatin sonunda, suda ki başlangıç konsantrasyonunun 1.5 katı kadar arttığı görölmüştür (Şekil 7.12). pH 7,5'de 2,5 ppm konsantrasyonda Fe metalinin desorbsiyon eğiliminin fazla olduğu söylenebilir.



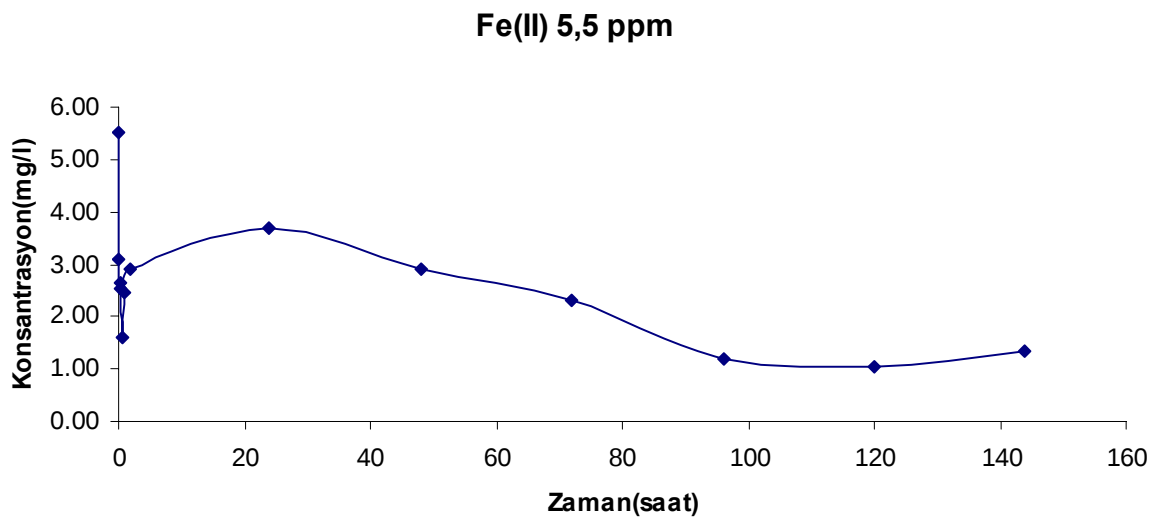
Şekil 7.12 2,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Fe konsantrasyonu 3,5'e çıkartıldığında, ilk 24 saat içinde adsorbsiyon gerçekleşmiştir. 24.saatten 72.saate kadar ise suda ki Fe miktarının arttığı ve 72. saatten sonra azalma göstererek 96.saate kadar tekrar adsorbsiyonun gerçekleştiğı gözlenmiştir.



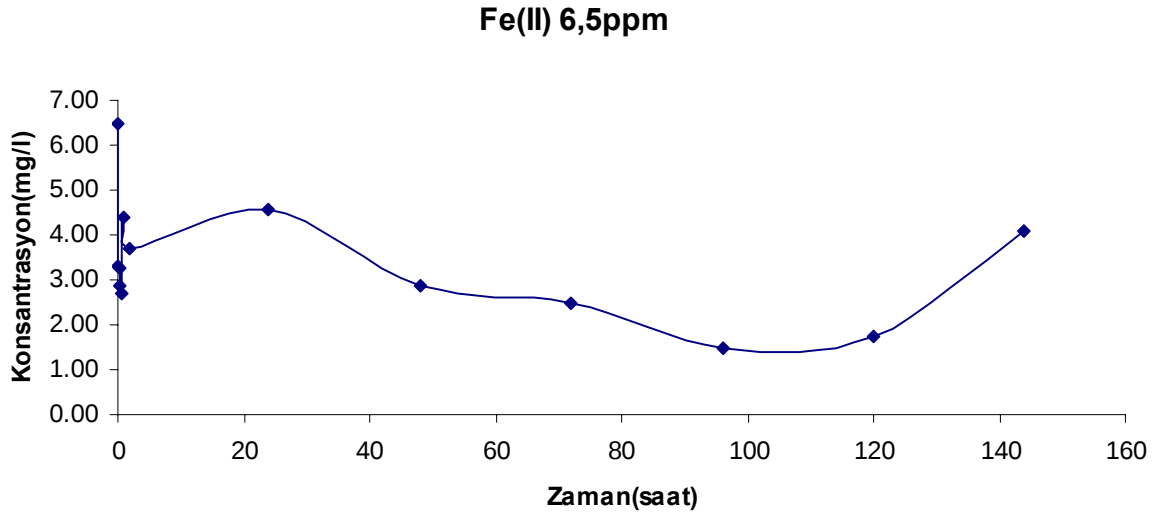
Şekil 7.13 3,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

5,5 ppm Fe dozlamasında ise, Fe adsorbsiyonunun ilk 2 saat içinde hızlı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 7.14). İlk 2 saatten sonra ise desorbsiyon gerçekleşmiş ve 24.saaate kadar suda ki Fe konsantrasyonunda artış gözlenmiştir. Ardından 96. saate kadar Fe sistemde tekrar adsorblanmıştır. 144. saatte kadar ise az da olsa bir desorbsiyon gözlenerek, suda ki Fe konsantrasyonu 1,5 ppm de sabitlenmiştir.



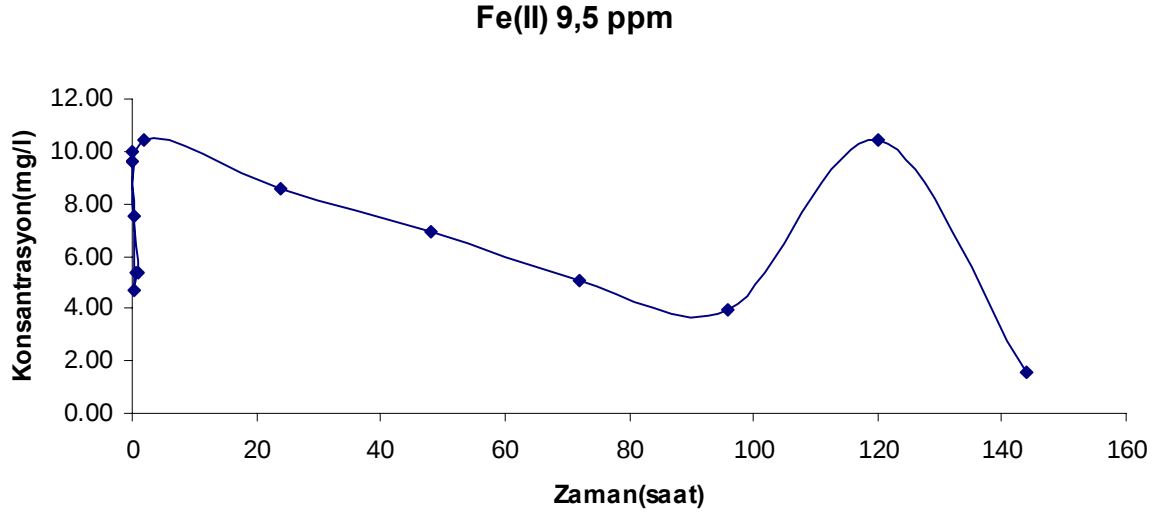
Şekil 7.14 5,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, 96.saate kadar, 5,5 ppm dozlamının yapıldığı sistem ile benzer bir davranış gözlenmiştir. 96. saatten sonra sistemde belirgin desorbsiyon görülmektedir (Şekil 7.15). 144. saatte, suda ki Fe konsantrasyonu başlangıçtaki konsantrasyonun, yaklaşık % 40' ı kadar bir azalma göstermiştir.



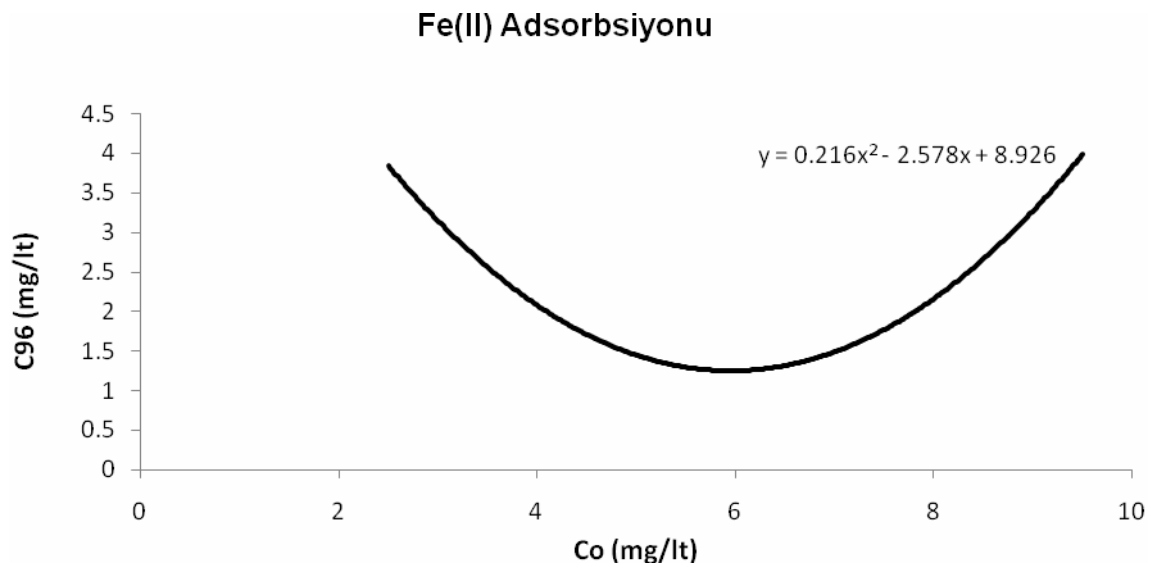
Şekil 7.15 6,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

9,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Şekil 7.16'dan da görüldüğü gibi, ilk 1-2 saat içinde Fe'in hızla adsorblandığı ve desorblandığı görülmektedir. Ardından tekrar adsorblanmaya başlayan Fe 96. saatten sonra tekrar desorblanarak başlangıç konsantrasyonuna ulaşmıştır. 144. saatin sonunda ise suda ki Fe konsantrasyonunda adsorblanmadan dolayı azalma olmuştur.



Şekil 7.16 9,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Çalışılan bütün konsantrasyonlarda, 96. saatin sonunda Fe metalinin adsorbsiyonun incelendiğinde, Fe'in Zn ile benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür. Şekil 8.17'ye bakıldığında düşük konsantrasyonlarda sistemde adsorblanma eğiliminde olan Fe'in konsantrasyon artışı ile desorbe olduğu görülmektedir. 6,5 ppm Fe konsantrasyonu desorbsiyonun başladığı konsantrasyondur. Farklı konsantrasyonlarda Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için elde edilen sonuçlar tablo halinde Ek 6.1'de verilmiştir.

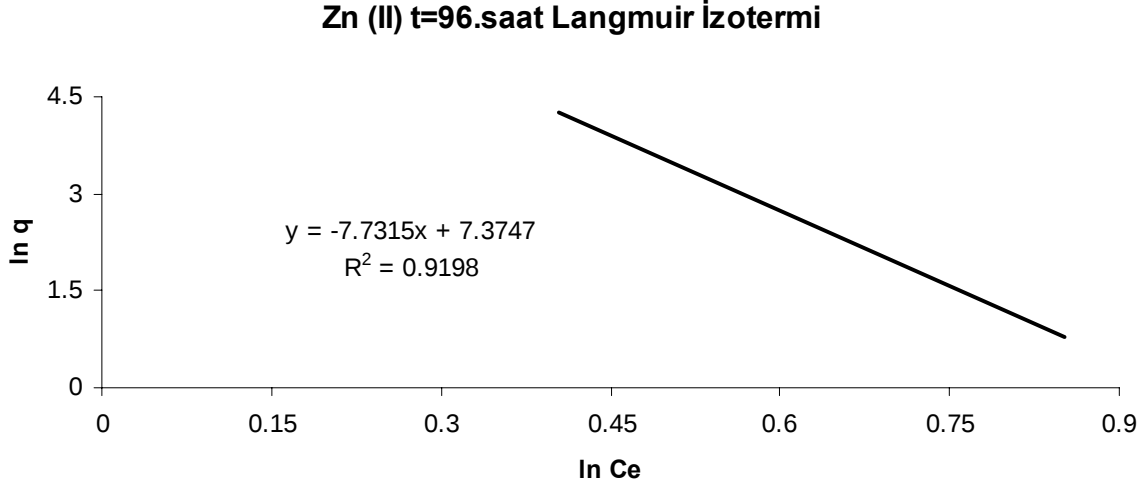


Şekil 7.17 Farklı konsantrasyonlarda Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için,

Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir
biyosorpsiyonu/biyobirikimi

7.3 Adsorbsiyon İzotermi

Çinko için izoterm çalışmaları yapıldığında, Çinkonun Langmuir İzotermine uygun olduğu görülmüştür (Şekil 7.18). Çinko için elde edilen Langmuir İzoterm Çalışması sonuçları Ek 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.18 Zn metali için Langmuir İzotermi Çalışması

9. DEĞERLENDİRMELER

Bu tez çalışmasında genel uygulama alanı olarak Küçükçekmece Gölü ve Havzası seçilmiştir. Küçükçekmece Göl ekosistemi içerisinde olan Synechocystis sp. E35) adsorbent olarak kullanılarak, yüksek kirlilik yükünde neden olan Cu(II), Zn(II), Fe(II) metallerinin laboratuvar koşullarında adsorbsiyonu çalışılmıştır.

Bakır metali ile yapılan adsorbsiyon çalışmalarında, Cu'ın genel olarak desorbe olduğu görülmüştür. Yüksek konsantrasyonlarındaki Bakır dozlamalarında, Cu'ın ilk 2 saatte hızlı bir şekilde adsorplandığı ve ardından adsorpsiyon hızında azalma gerçekleştiği, ancak 48 saatten 144 saate kadar ise adsorbsiyonda artış olduğu gözlenmiştir. Bakır metal konsantrasyonları ilk 24. saatte adsorplandığı, 24. saatten itibaren kararlı hale geldiği sonradan desorbe olduğu belirlenmiştir. 96. saatin sonunda Cu'ın adsorbsiyonu incelendiğinde, Cu'ın desorbe olma eğiliminde olduğu görülmektedir. Yapılan adsorbsiyon denemeleri sonucunda, konsantrasyon artışıyla suda ki bakır miktarının arttığı gözlenmiştir.

Çinko metalinin Synechocystis sp(E35) izolatu ile yapılan dirençlilik sonucunda, Çinkonun hızlı bir şekilde adsorpsiyonunun gerçekleştiği belirlenmiştir. Konsantrasyon değişimi, 24.saatten sonra kararlı bir hale gelmiştir. Ancak 72. saatten sonra, 2,5 ppm dozlanan yapıldığı sisteme kıyasla, desorbsiyon olmadığı, aksine, Zn adsorbsiyonunun devam ettiği görülmüştür. Genel olarak, çalışılan bütün konsantrasyonlarda, Çinko metalin adsorbsiyon desorbsiyon davranışları incelendiğinde, Çinko'nun belirli bir konsantrasyona kadar sistemde adsorbe olma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ancak, Çinko konsantrasyonu 6,5 üzerine çıktığında desorbsiyon gözlenmiştir.

Demir ile yapılan adsorbsiyon çalışmalarında, çalışılan her bir metal konsantrasyonunda hem adsorbsiyon hem desorbsiyon davranışı gözlenmiştir. Fe konsantrasyonu arttırıldıkça, metalin çökelme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında, Fe metalinin ilk 24 saat içinde adsorblanmasının gerçekleştiği ve 24 ve 96. saatler arasında ise desorbsiyon eğiliminde olduğu görülmüştür.

Çalışılan bütün konsantrasyonlarda, 96. saatin sonunda Fe metalinin adsorbsiyonun

incelendiğinde, Fe'in Zn ile benzer bir davranış gösterdiği görülmüştür. Şekil 8.17'ye bakıldığında düşük konsantrasyonlarda sistemde adsorblanma eğiliminde olan Fe'in konsantrasyon artışı ile desorbe olduğu görülmektedir. 6,5 ppm Fe konsantrasyonu desorbsiyonun başladığı konsantrasyondur.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilse, Küçükçekmece Gölünde izole edilen *Synechocystis* sp. ile Fe^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} metalleri kullanılarak yapılan adsorpsiyon denemeler sonucunda; Bakır metalinin, çalışılan konsantrasyonlarda, genel olarak desorbe olma eğiliminde olduğu gözlenmiştir. Demir metalinin ise, belirli bir konsantrasyona kadar sistemde karalı bir şekilde adsoplandığı, ancak konsantrasyon artışının 6ppm'e çıkarılması ile desorpsiyonunda artış olduğu belirlenmiştir. Çinko'nun da Demir ile benzer bir davranış göstererek, önce adsorplanıp, belirli bir konsantrasyondan sonra desorplandığı görülmüştür. Ayrıca, Çinko için yapılan izoterm çalışmalarında, Çinko'nun Langmuir İzotermine uygun olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Aslan, S., Bozkurt Z., Tekeli A.N., (2006) “Removel of Cu(II), Ni(II), Cd(II), and ions from aqueous solutions by biyosorption processes”Journal of Energineering and Natural Sciences

Akyapı, A., (2005) Küçükçekmece Gölü’nde Su ve Sediment Kalitesinin İzlenmesi ve Önemi, Bitirme Tezi, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Ağcıoğlu, B., (2004) Küçükçekmece Gölü ve Havzası’nın Çevre Sorunları ile Çevre Yönetim Biriminin Gerekliliği, Küçükçekmece Gölü ve Havzası için Çevre Yönetim Biriminin Oluşturulma Süreci ve Bölgeye Katkıları Çalıştay1, 20-22 Ekim, 2004 İstanbul

Batram, J., (1999) “ Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Teair Public Heath

Beşer, K., (2006) “Sazlıdere’nin Azot ve Fosfot Kirliliğinin İzlenmesi ve Etkilerinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Çevre Bilimler Enstitüsü İstanbul

Bayındır, Ü., (2003) “Zoogloea ramigera’nın Ağır Metalde Üreme Karakteristiği ve Ağır Metali Toplama Kapasitesinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul, Türkiye, 1-32.

Consequences, Monitoring and Managment” WHO, London, UK 27-48 Dixon J.B, S.B. Weed (eds). (1989), “*Minerals in Soil Environments.*” SSSA Book Series, Wisconsin.

Chegui, A., Bahti, M.Z.,(2007) “Simultaneous biosorption of Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cr^{6+} from aqueous solution by *Streptomyces rimosus* biomass”, Desalination 206 (2007) 179-184.

Chubar, N., Carvalho, J.R., Correira, M.J.N., (2004) “Heavy metals biyosorption on cork biomass: effect of the pre-treatment” Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 238, 51-58

Emery, T., (1982), “Iron metabolism in Human And Plants t” , Am. Sci. 70:626-632.

Elmacı, A., Yonar, T., Özengin, N., Türkoğlu, H.,(2005) “Zn(II), Cd(II), Co(II) ve Romezel Turkish Blue-G Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerine Kurutulmuş Chara sp., Cladohora sp, ve Chlorella sp. Türleri İle Biyorsorpsyonun Araştırılması” Eloloji 14,55, 24-55

Jan S.R., Bothwell, M.L., Rex L.L., (1996) “ Algal Ecology”, Academic Press

Fischerova, Z., Tlustos, P. v.d., (2005), “A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements”, Science Direct, 1-8

Göksel, A., (2001) “Ağır Metal İyonlarının Biyokütle ile Giderilmesi” YTÜ Analitik Kimya Bölümü, İstanbul

Herrero, R., Cordero, B. v.d., (2005), “Interactions of cadmium(2) and protons with dead biomass of marine algae *Fucus* sp.”, Science Direct, 106-116

Hsuan- Liang Lui , Bor-Yann Chen, (2004) “ Biosorption of Zn(II) and Cu(II), by the indigenous *Thiobacillus thiooxidans*”], *Chemical Engineering Journal* 195-201.

İleri, R., (2006) “Bakir İyonlarının(Cu+2)Sıvı Ortamdan Biyosorpsiyonla Gideriminin İzoterm Sabitlerinin Matlab Programı İle Belirlenmesi” *Ekoloji*

İlhan, S., Çabuk, A., Filik, C., Çalışkan F., (2004) “Effect of pretreatment on biosorption of heavy metals by fungal biomass” *Trakya Univetsity Journal of Science*, 5(1), 11-17

Khan, M., Yoshida, N., (2007) “Effect of l-glutamic acid on the growth and ammonium removal from ammonium solution and natural wastewater by *Chlorella vulgaris* NTM06”, Elsevier

Luz E. de-Bashan, Trejo, A., (2007) “*Chlorella sorokiniana* UTEX 2805, a heat and intense, sunlight-tolerant micro alga with potential for removing ammonium from wastewater”, Elsevier

Laulhere, JP., (1993), “ Iron Release and Uptake by Plant Ferritin: effects of pH, reduction and chelation t”. *Biochem. J.* 290:693-699.

Miller R.W., R.L. Donahue. (1990). *Soils*. Prentice Hall, New Jersey.

Mant, C., Costa, S. v.d., (2005), “Phytoremediation of chromium by model constructed wetland”, *Science Direct*, 1-6

Moreno-Jimenez, E., Gamarra, R. v.d., (2005), “Mercury bioaccumulation and phytotoxicity in two wild plant species of Almaden area”, *Science Direct*, 1-5

Munoz, R., Guieysse, B., (2006) “Algal-bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A reaview” Elsevier

Özer, A., Özer, D., (1998) “Nike(II) İyonlarının İki Kademli Kesikli Kaptı Cladophora crispata ile Giderilmesi”, *Tr. J. Engineering and Enviromental Science* 305-313.

Oehmen, A., Viegas, R., (2006)“Removal of heavy metals from drinking water supplies throuh the ion exchange membrane bioreactor”, *Desalination* 1 405-407.

Oehmen, A., Viegas, R., Velizarov, S., Maria, A.M., Joao, R., Crespo, G., (2006), “Removal of heavy metals from drinking water supplies through the ion Exchange membrane bioreactor”, *Desalination*,199, pp.405-407.

Ruiz, C.G., Radriguiz- Tirado, V., Gil, B.G., (2007) “Cadmium and zinc removal from queous solutions by *Bacillus jeotgali* pH, salinity tempereture effects” *Elisevier* 3864-3870

Rauret, G., (1997) “Extraction procedures fort he determination of heavy metals in contaminated soil and sediment” *Talanta* 46,449-4551

Standart Metods for The Examination of Water and Wastwater, (1995).

Srivastava, M., Ma, L.Q. v.d., (2005), "Three new arsenic hyperaccumulating ferns", Science Direct, 1-8

Sawyer, C, N., ve McCarty, P, L., (1978) "Chemistry for Environmental Engineering" Third Edition, McGraw-Hill, Inc.

Sadvakasova, A.K., "Poluchenie mutanyh shtammov Chlamydomonas reinhardtii, ustoychivih kadmyu dlya priminenie v ekobiyotekhnology", Kandidat tezi, Almaty (2006)

Silver, J., (1993), "*Chemistry of Iron*. Blackie Academic and Professional", Glasgow.

Stucki, J.W., Goodman, B.A., Schwermann, U., (eds). (1988), "Iron in Soils and Clay Minerals". D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Spinti, M., Zhuang, H., Trujillo, E.M., (1995) "Evaluation of immobilized biomass beads for removing heavy metals from waste waters" Water Environment Research, 67(6), 943-952

Srinath, T., Verma, T.P., Ramteke, W., Garg, S.K., (2002) "Chromium(VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria" Chemosphere, 48,42-435

Tunçer, M., (1999) "Doğal Çevre Koruma Öncelikli Bir Eylem Alanı: İstanbul Küçükçekmece Gölü", Türkiye'de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu III, 18-19 Kasım

Tchobanoglous, G., Burtaon F. L., Stensel, D, H., (1995) "Wastewater, American Public Health Association Washington, 19th Edition,

Tarlan, E., Filiz, B., Ulku, Y.D., (2002) "Effectiveness of algae in the treatment of wood-based pulp and paper industry wastewater", Elsevier

Üstün, B., İnce N., Cansever G., Ülger E., Ağcıoğlu B., Şapçı Z., Demirel S., Okumuş E., ve diğerleri, (2005) "The Development of Environmental Management Model in Küçükçekmece Basin" Joint Research and Development Project(GSRT-TUBUTAK 102A011)

Üstün, B., Pantis, J., (2005) "Development of an Environmental Management Model in the basin of Küçükçekmece" TÜBİTAKGSPT Final Report, 102Y011 İstanbul, Turkey 2-6

Zayadan, B.K., "Rol fototrofni mikroorganizmov v monitoringe, funkcionirovanii i redimiyacii vodnyh ekosistem", Doktora tezi, Almaty (2006)

Zaidi, S., Usmani, S. v.d., (2005), "Significance of Bacillus subtilis strain SJ-101 as a bioinoculant for concurrent plant growth promotion and nickel accumulation in Brassica juncea", Science Direct, 1-7

Veglio, F., Beolchini, F. v.d., (1996), "Biosorption of toxic metals: an equilibrium study using free cells of Arthrobacter sp.", Science Direct, 99-104

Volesky, B.,(2003), “Sorption and Biosorption” BV Sorbex, Inc., 316s. Montreal, Kanada
Wei, C.-Y. ve Chen, T.-B., (2005), “Arsenic accumulation by two brake ferns growing on an arsenic mine and their potential in phytoremediation”, Science Direct, 1048-1053

Watts, R, J., Hazardous Wastes: Sources, Pathways Receptors, John Wiley& Sons , Inc. United States of, America(1997)

White A.F., S.L. Brantley (eds). (1995), “*Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*”, Book Crafters, Michigan.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] <http://kimyaevi.org/elementler/bakir/bakir.asp>(Erişim Tarihi: Ağustos 2008)
- [2] <http://kimyaevi.org/elementler/bakir/alan.asp>(Erişim Tarihi: Eylül 2008)
- [3] <http://en.wikipedia.org/wiki/Copper> (Erişim Tarihi: Ağustos 2008)
- [4] <http://tr.wikipedia.org/wiki/demir>(Erişim Tarihi: Eylül 2008)
- [5] <http://kimyaevi.org/elementler/demir>(Erişim Tarihi: Eylül 2008)
- [6] <http://www.kimyaevi.org/elementler/bakir/fiziksel.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [7] <http://www.kimyaevi.org/elementler/bakir/kimyasal.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [8] <http://www.kimyaevi.org/elementler/demir/fiziksel.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [9] <http://www.kimyaevi.org/elementler/demir/kimyasal.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [10] <http://www.dmi.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ISTANBUL>
- [11] <http://www.kimyaevi.org/elementler/çinko/fiziksel.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [12] <http://www.kimyaevi.org/elementler/çinko/alan.asp> (Erişim Tarihi: Kasım 2008)
- [13] <http://www.rvt.com/~lucas/school/cyano.html> (Erişim Tarihi: Mart 2007)
- [14] <http://www.answers.com/topic/heavy-metals>
- [15] www.sci.sdsu.edu/classes/biology/bio514/edwards/cyanobacteria%20lecture.ppt

EKLER

Ek 1. Çeşitli Konsantrasyonlardaki Bakır Adsorbsiyonu

Ek 2. Çeşitli Konsantrasyonlardaki Çinko Adsorbsiyonu

Ek 3. Çeşitli Konsantrasyonlardaki Demir Adsorbsiyonu

Ek 4. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Cu Adsorbsiyonu

Ek 5. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Zn Adsorbsiyonu

Ek 6. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Fe Adsorbsiyonu

Ek 7. Çinko metali için Langmuir İzotermi

Ek 1. Çeşitli Konsantrasyonlarda ki Bakır Adsorbsiyonu

0.85 ppm Cu Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	0.845
24	0.445
72	0.495
96	0.63

Ek 1.1 0,85 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

1.5 ppm Cu Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	1.5
24	1.335
72	1.42
96	2.635

Ek 1.2 1,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

2.5 ppm Cu Dozajı	
T (saat)	C (mg/lt)
0	2.5
0.08	2.75
0.16	2.65
0.3	2.83
0.5	3.08
1	3.36
2	2.015
24	3.29
48	1.75
72	2.09
96	2.5
120	2.39
144	2.98

Ek 1.3 2,5 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6 ppm Cu Dozajı	
t (saat)	C (mg/l)
0	6
0.08	4.38
0.16	4.055
0.3	4.33
0.5	4.37
1	3.98
2	4.15
24	3.315
48	2.74
72	3.24
96	3.55
120	3.95
144	4.415

Ek 1.4 6 ppm Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 2. Çeşitli Konsantrasyonlarda ki Çinko Adsorpsiyonu

2.5 ppm Zn Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	2.480
24	1.595
72	1.240
96	2.345

Ek 2.1 2,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

3.5 ppm Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	3.5
24	2.625
72	2.505
96	1.87

Ek 2.2 3,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

4.5 ppm Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	4.50
5	3.70
10	3.35
20	3.52
30	3.37
60	3.20
120	3.58

Ek 2.3 4,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

5.5 ppm Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	5.5
24	4.220
72	4.010
96	3.025

Ek 2.4 5,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6.5 ppm Dozajı	
t (saat)	C (mg/l)
0	6.50
0.08	1.59
0.16	1.51
0.3	3.10
0.5	3.61
1	3.80
2	3.93
24	3.47
48	1.25
72	1.13
96	1.15
120	1.02
144	1.21

Ek 2.5 6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6.5 ppm Zn Dozajı	
t (dakika)	C (mg/l)
0	6.50
5	1.59
10	1.51
20	3.10
30	3.61
60	3.80
120	3.93

Ek 2.6 6,5 ppm Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 3. Çeşitli Konsantrasyonlarda ki Fe Adsorbsiyonu

2.5 ppm Fe Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	2.50
24	1.70
72	2.30
96	3.95

Ek 3.1 2,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

3.5 ppm Fe Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	3.41
24	2.10
72	2.80
96	2.40

Ek 3.2 3,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

5.5 ppm Fe Dozajı	
t (saat)	C (mg/l)
0	5.50
0.08	3.10
0.16	2.55
0.3	2.65
0.5	1.60
1	2.45
2	2.89
24	3.70
48	2.90
72	2.30
96	1.20
120	1.05
144	1.35

Ek 3.3 5,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

6.5 ppm Fe Dozajı	
t (saat)	C (mg/lt)
0	6.50
0.08	3.30
0.16	3.25
0.3	2.85
0.5	2.70
1	4.40
2	3.70
24	4.55
48	2.86
72	2.50
96	1.50
120	1.75
144	4.07

Ek 3.4 6,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatu üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

9.5 ppm Fe Dozajı	
t (saat)	C (mg/l)
0	9.50
0.08	9.65
0.16	7.55
0.3	4.70
0.5	5.35
1	5.35
2	10.40
24	8.55
48	6.95
72	5.10
96	3.95
120	10.40
144	1.55

Ek 3.5 9,5 ppm Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 4. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Cu Adsorbsiyonu

96. saat Cu Adsorbsiyonu	
Co (mg/lt)	C96 (mg/lt)
0.85	0.63
1.5	2.635
2.5	2.5
6	3.95

Ek 4.1 Farklı konsantrasyonlarda Cu dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Bakır biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 5. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Zn Adsorbsiyonu

96. saat Zn Adsorbsiyonu	
Co (mg/lt)	C96 (mg/lt)
2.5	2.345
3.5	1.87
4.5	1.01
6.5	1.15
7.5	2.7

Ek 5.1 Farklı konsantrasyonlarda Zn dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü’nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Çinko biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 6. Çalışılan Konsantrasyonlarda 96. Saatte Fe Adsorbsiyonu

96. saat Fe Adsorbsiyonu	
Co (mg/lt)	C96 (mg/lt)
2.5	3.95
3.5	2.4
5.5	1.2
6.5	1.5
9.5	3.95

Ek 6.1 Farklı konsantrasyonlarda Fe dozlamasının yapıldığı sistemde, t=96.saat için, Küçükçekmece Gölü'nden alınan *Synechocystis* sp(E35) izolatı üzerinde Demir biyosorpsiyonu/biyobirikimi

Ek 7. Çinko metali için Langmuir İzotermi

Zn 96.saat içim Langmuir İzotermi				
Ci	Ce	q	lnCe	lnq
2.5	2.345	1.55	0.852	0.438
3.5	1.87	16.3	0.626	3.058
4.5	1.01	34.9	0.54	3.55
6.5	1.15	53.5	0.405	3.912
7.5	2.7	48	0.44	3.78

Şekil 7.1 Zn metali için Langmuir İzotermi Çalışması

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	23.09.1983	
Doğum yeri	Kazakistan, Almaty	
Lise	1996-2000	Almaty, Aksay3 Lise123
Lisans	2000-2004	Al-Farabi Kazak Milli Üniversitesi Biyoloji Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2003-2004	Al-Farabi Kazak Milli Üniversitesi, Fakülte Biyoloji, Bölüm Ekoloji, Stajyer
2004-2005	Al-Farabi Kazak Milli Üniversitesi, Fakülte Biyoloji, Bölüm Ekoloji, Araştırma Görevlisi