

**T.C.  
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ  
FEN EDEBİYAT FAKÜLTESİ**

**KROM VE KURŞUN BİRİKİMİNİN  
*SPIRULINA* Sp.'DE BÜYÜME HIZI,  
PİGMENT VE ŞEKER MİKTARINA  
ETKİLERİ**

**BİYOLOJİ BÖLÜMÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PELİN OKKIRAN  
HAZİRAN- 2009**

**Krom ve Kurşun Birikiminin *Spirulina* sp.'de  
Büyüme Hızı, Pigment ve Şeker Miktarına Etkileri**

**Gaziantep Üniversitesi  
Biyoloji Bölümü  
M.Sc. Tezi**

**Danışman  
Prof. Dr. Saadet D. SAYGIDEĞER**

**Pelin OKKIRAN  
Haziran 2009**

T.C.  
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
BOTANİK ANA BİLİM DALI

Tezin Adı: Krom ve Kurşun Birikiminin *Spirulina* sp.'de Büyüme Hızı, Pigment ve Şeker Miktarına Etkileri  
Öğrencinin, Adı Soyadı: Pelin OKKIRAN  
Tez Savunma Tarihi: 30.06.2009

Prof. Dr. Ramazan KOÇ

FBE Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığımı onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZASLAN

Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda (tarafımızca) okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Saadet D. SAYGIDEĞER  
Tez Danışmanı

Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

(Ünvanı, Adı ve SOYADI)

İmzası

Prof.Dr.Saadet D. SAYGIDEĞER

\_\_\_\_\_

Doç.Dr.Canan CAN

\_\_\_\_\_

Yrd.Doç.Dr.Gülcihan GÜZELDAĞ

\_\_\_\_\_

Yrd.Doç.Dr.Berna BAŞ

\_\_\_\_\_

Öğr.Gör.Dr.MuhittinDOĞAN

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### **KROM VE KURŞUN BİRİKİMİNİN *SPIRULINA* Sp.'DE BÜYÜME HIZI, PİGMENT VE ŞEKER MİKTARINA ETKİLERİ**

OKKIRAN Pelin  
Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Bölümü  
Tez Yöneticisi: Prof.Dr. Saadet D. SAYGIDEĞER  
Haziran 2009, 46 sayfa

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda krom ve kurşun içeren ortama 7 gün süreyle bırakılan *Spirulina* sp. bünyesinde krom ve kurşun birikimi, büyüme hızı, pigment ve şeker miktarına etkileri incelenmiştir.

Çalışmada krom ve kurşun analizi 1., 3., 5. ve 7. gün, büyüme hızı her gün, pigment ve şeker analizi 7. gün yapılmıştır. Denenen tüm koşullarda *Spirulina* sp.'teki krom ve kurşun miktarı, süreye ve ortam derişimlerine bağılı olarak artmıştır. Krom ve kurşun etkisinde, *Spirulina* sp.'te büyüme hızı, klorofil a, karotenoid ve şeker miktarları azalmıştır. Bu parametreler üzerine krom ve kurşunun toksik etkisinin düşük derişimlere (1 mg/L ve 5 mg/L) oranla yüksek derişimlerde (10 mg/L ve 20 mg/L) daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Araştırmada, *Spirulina* sp.'nin fizyolojik ve biyokimyasal işlevler üzerine krom ve kurşunun toksik etkisinin algdeki krom ve kurşun birikimiyle doğrudan ilişkili olduğu, algdeki krom ve kurşun miktarı arttıkça bu parametrelerdeki inhibisyonun arttığı belirlenmiştir.

Araştırmada, *Spirulina* sp.'nin krom ve kurşuna hassas olduğu ve ortamdaki krom ve kurşunun toksik etkilerini değerlendirmek için uygun bir tür olarak kullanılabileceğı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Krom, kurşun, *Spirulina* sp., fizyolojik etki

## ABSTRACT

### EFFECTS OF THE CHROMIUM AND LEAD ACCUMULATION TO THE GROWTH RATE, PIGMENT AND SUGAR AMOUNT IN THE CONTENT OF *SPIRULINA* sp.

OKKIRAN Pelin  
M.Sc. Thesis, In Biology  
Supervisor: Prof.Dr. Saadet D. SAYGIDEĞER  
June 2009, page 46

In this study, accumulation of chromium and lead in *Spirulina* sp. and the effects of chromium and lead on growth rate, pigment and amount of sugar of *Spirulina* sp. were investigated over seven days period at different concentrations.

The analysis of chromium and lead accumulation were determined at 1, 3, 5 and 7 days, growth rate was determined each day, the analysis of pigment and sugar were determined at 7 days. Amount of the chromium and lead in *Spirulina* sp. has increased depending on time course and concentration for all treatments in the experiment. Under the chromium and lead effect, the growth rate, chlorophyll a, carotenoid and sugar amount in *Spirulina* sp. have decreased. The toxic effects were observed at medium including high concentrations of chromium and lead (10 and 20 mg/L) rather than at medium including low concentrations (1 and 5 mg/L). It was determined that chromium and lead effects on physiological and biochemical of *Spirulina* sp. were directly related with chromium and lead accumulation by the algae and inhibition in this parameters increased with increasing of chromium and lead accumulation in the algae.

It was determined that *Spirulina* sp. was rather sensitive to chromium and lead and it can be used as allowable to assess the effects chromium and lead toxic in medium.

**Key words:** chromium, lead, *Spirulina* sp., physiological effect

## TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezinin hazırlanması sırasında engin bilgi ve görüşlerinden yararlandığım tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Saadet D. SAYGIDEĞER'e;

Tez süresince karşılaştığım tüm sorunlarda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Öğr.Gör.Dr. Muhittin DOĞAN'a, Araştırma Görevlisi Feyza Nur İNCİK'e, Araştırma Görevlisi Zübeyde AKAN'a, istatistik analizlerde bilgi ve görüşlerinden yararlandığım, yardımlarını esirgemeyen ve paylaşmaktan kaçınmayan Endüstri Mühendisi Prof. Dr. Turkay DERELİ'ye, Prof. Dr. Adil BAYKASOĞLU'ya, Araştırma Görevlisi Alptekin DURMUŐOĐLU'na; çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen Önder YUMRUTAŐ'a, Uğur ÇOLAK'a ve aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	II
TEŞEKKÜR .....	III
İÇİNDEKİLER .....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	V
TABLolar LİSTESİ .....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	VII
BÖLÜM 1: GİRİŞ .....	1
1.1. Ağır Metaller .....	4
1.1.1. Krom .....	4
1.1.2. Kurşun .....	5
1.2. Ağır Metallerin Etkileri .....	6
1.3. Algler ve Ağır Metaller .....	8
1.3.1. Ağır Metal Stresinin Algler Üzerine Etkisi .....	10
1.4. Spirulina sp. ....	10
1.5. Çalışmanın Amacı .....	11
BÖLÜM 2: KAYNAK ÖZETLERİ .....	12
BÖLÜM 3: MATERYAL VE YÖNTEM .....	17
3.1. Materyal .....	17
3.1.1. Çalışma Materyali .....	17
3.1.1.1. <i>Spirulina</i> sp. ....	17
3.1.2. Stres Uygulama Çözeltileri .....	18
3.2. Yöntem .....	18
3.2.1. Kültür Ortamı .....	18
3.2.2. Deney Ortamı ve Düzenegi .....	19
3.2.3. Büyüme Hızının Belirlenmesi .....	19
3.2.4. Krom ve Kurşun Analizleri .....	20
3.2.5. Fotosentetik Pigment Analizi .....	20
3.2.6. Şeker Analizi .....	20
3.2.7. İstatistiksel Yöntem .....	20
BÖLÜM 4: ARAŞTIRMA BULGULARI .....	21
4.1. Büyüme Hızı .....	21
4.2. Krom ve Kurşun Miktarı .....	22
4.3. Fotosentetik Pigment Analizi .....	24
4.3.1. Klorofil-a Miktarları .....	24
4.3.2. Karotenoid Miktarları .....	25
4.4. Şeker Miktarı .....	27
TARTIŞMA VE SONUÇ .....	29
KAYNAKLAR .....	35

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. <i>Spirulina sp.</i> .....	17
Şekil 3.2. Farklı konsantrasyonlarda Cr uygulanan alg ortamları.....	19
Şekil 3.3. Farklı konsantrasyonlarda Pb uygulanan alg ortamları .....	19
Şekil 4.1. <i>Spirulina sp.</i> 'nin farklı Cr derişimlerine bağlı büyüme hızı değerleri.....	21
Şekil 4.2. <i>Spirulina sp.</i> 'nin farklı Pb derişimlerine bağlı büyüme hızı değerleri.....	22
Şekil 4.3. Farklı Cr konsantrasyonları ve günlere bağlı krom birikimi .....	23
Şekil 4.4. Farklı Pb konsantrasyonları ve günlere bağlı kurşun birikimi.....	23
Şekil 4.5. Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin klorofil-a miktarları.....	24
Şekil 4.6. Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin klorofil-a miktarları.....	25
Şekil 4.7. Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin karotenoid miktarları.....	26
Şekil 4.8. Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin karotenoid miktarları.....	26
Şekil 4.9. Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin şeker miktarları .....	27
Şekil 4.10. Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan <i>Spirulina sp.</i> 'nin şeker miktarları .....	28



## TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Cr'un bulunduğu yerler ve Cr miktarları .....	5
Tablo 1.2. Pb'nin bulunduğu yerler ve Pb miktarları .....	6
Tablo 3.1. <i>Spirulina sp.</i> 'nin sistematığı .....	17
Tablo 3.2. <i>Spirulina sp.</i> 'ye uygulanan Cr ve Pb derişimleri .....	18
Tablo 3.3. <i>Spirulina sp.</i> besi ortamı .....	18

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

g	: Gram
cm <sup>-3</sup>	: Santimetreküp
Cr	: Krom
Pb	: Kurşun
°C	: Celcius derece
g/mol	: Gram/mol
HCl	: Hidroklorik asit
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sülfirik asit
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik asit
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	: Fosforik asit
HClO <sub>4</sub>	: Perklorik asit
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	: Kromat
Cr(OH) <sub>3</sub>	: Krom-3-oksit hidrat
L	: Litre
mg	: Miligram
kg	: Kilogram
µg	: Mikrogram
ng	: Nanogram
m <sup>3</sup>	: Metreküp
ATP	: Adenozin trifosfat
ADP	: Adenozin difosfat
SH	: Tiol grubu
S	: Sülfür (Kükürt)
P	: Fosfor
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Hg	: Civa
FT-IR	: Fourier transform infra red
°K	: Kelvin derece
NH <sub>2</sub>	: Amino grubu
NaHCO <sub>3</sub>	: Sodyum bikarbonat
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	: Sodyum karbonat
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	: Dipotasyum hidrojen fosfat
NaNO <sub>3</sub>	: Sodyum nitrat
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Potasyum sülfat
NaCl	: Sodyum klorür
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	: Magnezyum sülfat
CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	: Kalsiyum klorid dihidrat
nm	: Nanometre
N	: Normalite
Cd	: Kadmiyum
mM	: Milimolar
Ni	: Nikel

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Çevre; insanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde buldukları fiziki, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortamdır. Bir başka ifade ile çevre, bir organizmanın var olduğu ortam ya da şartlardır ve yeryüzünde ilk canlı ile birlikte var olmuştur. Sağlıklı bir yaşamın sürdürülmesi ancak sağlıklı bir çevre ile mümkündür. Bir ilişkiler sistemi olan çevrenin bozulması ve çevre sorunlarının ortaya çıkması, genellikle insan kaynaklı etkenlerin doğal dengeleri bozmasıyla başlamıştır. İnsan yaşamı çeşitli dengeler üzerine kurulmuştur. İnsanın çevresiyle oluşturduğu doğal dengeyi meydana getiren zincirin halkalarında meydana gelen kopmalar, zincirin tümünü etkileyip, bu dengenin bozulmasına sebep olmakta ve çevre sorunlarını oluşturmaktadır (Çepel ve Ergün, 2008).

Çağımızda doğal dengeyi, insan, bitki ve hayvan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerin başında çevre sorunları gelmektedir. Hızla artan dünya nüfusunun beslenmesi, kentleşme, sanayileşme, bilinçsiz yapılanma, gelişen endüstrilerin ve daha uygar yaşama düzeyi sağlama amacı ile sürdürülen çabaların istenilmeyen bir sonucu olarak ortaya çıkan bu konu günümüzde de giderek artan boyutlarda önemini korumaktadır. Çevre kirliliği; bütün canlıların sağlığını olumsuz yönde etkileyen, cansız çevre öğeleri üzerinde yapısal zararlar meydana getiren ve niteliklerini bozan yabancı maddelerin; hava, su ve toprağa yoğun bir şekilde karışması olayıdır. Çeşitli kaynaklardan çıkan katı, sıvı ve gaz halindeki kirletici maddelerin hava, su ve toprakta yüksek oranda birikmesi ile çevre kirliliği meydana gelmektedir. Yine sanayi artıkları, spreylere, yakıtlarla ortaya çıkan gazlar, dumanlar, petrol ve ilaç atıkları, plastik ürünler, suni gübreler ve çöpler çevre kirlenmesine sebep olan en önemli etmenlerdir (Çepel ve Ergün, 2008).

Metaller ve diğer atıklardan oluşan kirleticiler çok çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilmeleri, yaygın kirlenme nedeni oluşturmaları, çevre koşullarına dayanıklı olmaları, daima biyolojik sistemlere yönelik etki göstermeleri ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda artan yoğunluklarda birikebilmeleri nedeniyle diğer kimyasal kirleticiler arasında ayrı bir önem taşırlar (Baş ve Demet, 1992). Antik çağlarda metallerin cevherleri işlenmeye başlandığından beri metaller insan faaliyetleri sonucu olarak doğal çevrimler dışında atmosfere, hidrosfere ve pedosfere yayılmaya başlamışlardır. Yüzyıllar boyunca insanlar ağır metalleri etkilerini bilmeden takı, silah, su borusu vb çeşitli amaçlar için kullanmışlardır. Sanayileşme ile birlikte ağır metal içeren kömürlerin yakılmaya başlanması ile endüstri bölgelerindeki ağır metal kirliliği aşırı boyutlara ulaşmış ve ağır metal kirliliğinden kaynaklanan ilk tanımlanan zehirlenmeler Japonya'da ortaya çıkmıştır (Kahvecioğlu vd., 2003). Nüfus artışı, sanayi ve teknolojinin hızla gelişimi bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Dünya'daki bu gelişmeler sonucunda çevre ve insanlar farklı yönlerden etkilenmektedir. Topraklara karışan ve buralarda birikme yapan ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, hatta besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerinin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Pierzynski ve Schwab, 1992). Etkili bir arıtım yapılmaması durumunda bu tür atıkların göl, nehir, deniz, okyanus gibi alıcı ortamlara deşarj edilmesi sonucunda, suda yaşayan ve bu suyu kullanan canlı sistemleri ve çevresi için oldukça toksik etkiler göstermektedir. Ayrıca, arıtım sistemlerinde hiçbir zaman parçalanamayan bu tür maddelerin, temel arıtımda etkin olan; özellikle biyolojik arıtım süreçlerinde önemli rolü bulunan mikroorganizmalar (aktif çamur vb) için de çok küçük miktarlarında bile toksik etki yaptığı ortaya çıkmaktadır (Sağlam ve Cihangir, 1995).

Özet olarak; evsel ve sanayi kaynaklı atıkların arıtılmadan ya da gerektiği gibi arıtım yapılmadan su kaynaklarına karışması ve birikmesi çeşitli su standartlarına göre istenmeyen oranlarda ağır metal iyonları içeriğinden dolayı zararlı olabilmektedir. Ağır metaller endüstriyel aktiviteler ve teknolojik gelişmeler ile çevre ve toplumsal sağlığı, içerdiği toksik etkiden dolayı tehdit altında bırakmaktadır (Bahadır vd., 2007; Perez-Marin vd., 2007; Reddad vd., 2003). Ağır metaller; atomik yoğunluğu  $6 \text{ g cm}^{-3}$  den büyük metallsilere (metallerin fiziksel özelliklerini, metal olmayan öğelerin ise

kimyasal özelliklerini taşıyan element) ve metal gruplarına verilen genel ortak bir terimdir (O'Connell vd., 2008).

Ağır metaller, su kaynaklarına, endüstriyel atıklar veya asit yağmurlarının toprağı ve dolayısı ile bileşimde bulunan ağır metalleri çözmesi ve çözünen ağır metallerin ırmak, göl ve yeraltı sularına ulaşmasıyla geçerler. Sulara taşınan ağır metaller aşırı derecede seyrelirler ve kısmen karbonat, sülfat, sülfür olarak katı bileşik oluşturarak su tabanına çöker ve bu bölgede zenginleşirler. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesi sınırlı olduğundan dolayı da suların ağır metal konsantrasyonu sürekli olarak yükselir. Yeterli çevresel önlem alınmadığı durumlarda ve kontrolsüz sanayileşmenin artmasından dolayı ağır metal konsantrasyonu sürekli yükselmektedir (Kahvecioğlu vd., 2003).

Doğal ya da antropojenik kaynaklarla su ekosistemlerine giren ağır metaller, suda serbest iyon şeklinde veya inorganik ve organik anyonların çözünmüş kompleksleri şeklinde bulunmaktadır. Buna ek olarak çözünmemiş kompleks ya da organik partiküller şeklinde de bulunabilmektedirler. Bunun sonucu olarak organizmaların, ağır metallerin serbest iyon şeklinde olanlarını sudan doğrudan alırken ağır metallerin bazılarını besin zinciri yoluyla bazılarını da sedimentten doğrudan aldıkları belirlenmiştir (Hodson, 1988; Klerks ve Fraleigh, 1997).

Ağır metaller aşırı derecede toksiktir ve yakın çevremizde mevcuttur. Bunlar toprakta, su ve bitkilerin yüzeyinde oluşur ve doğal ekosistemdeki (ormanlar, nehirler, göller, okyanuslar dahil olmak üzere) çevreye atılan atıklar gibi insan aktiveleri yoluyla harekete geçirilirler (Larison vd., 2000). Ayrıca çevresel kirliliğin ana kaynakları arasında yer alırlar (Solisio vd., 2008). Örnek olarak; Cr (krom), Pb (kurşun), Co (kobalt), Ni (nikel), Cu (bakır), Zn (çinko), Hg (civa) ve As (arsenik) bu metaller arasında verilebilir. Metallerin toksik etkileri; metalin kimyasal formuna, biyolojik bulunurluğuna, alınımlı yoluna, metalin aksiyon etkisine ve metabolizmasına, diğer metallerle etkileşimine, metalin akut ve kronik etkisine, toksik etkisini göstereceği hedef bölgeye, hücre içi fizyolojik süreçlere (solunum, fotosentez gibi) ve genetik adaptasyonlara bağlıdır (Patra vd., 2004).

Büyüme ve metabolizma için gerekli olan besleyici metaller de dahil tüm metaller, yüksek konsantrasyonlarda alglerin metabolik sistemlerinin üzerine toksik etki yapmaktadırlar (Rai vd., 1981). Ağır metallerin bu toksisite mekanizmaları; örneğin enzimler, polinükleotidler, gerekli besin ve iyonların transport sistemleri gibi önemli moleküllerin fonksiyonel gruplarını bloklayarak, hücresel bölgelerdeki gerekli iyonları çıkartarak ve / veya onlarla yer değiştirerek, enzimleri denatüre ya da inaktive ederek, hücre ve organellerin membran bütünlüğünü bozarak toksik etkilerini göstermektedirler. Ayrıca metaller, serbest radikal oluşumuna neden olarak da toksik etkilerini göstermektedir (Mallick, 2004).

Ağır metaller bitkilerde 3 grup altında toplanabilir; bitki gelişimi için mutlak gerekli olanlar: [Fe (demir), Cu (bakır), Zn (çinko), Mn (manganez) ve Mo (molibden)], bitki gelişimini teşvik edici olanlar: [V (vanadyum), Co (kobalt), ve Ni (nikel)], bitkiye direkt toksik etki yapanlar: [As (arsenik), Pb (kurşun), Cd (kadmiyum), Cr (krom) ve Hg (civa)]. Ağır metallerin çevreye yayılımının da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleri, maden eritme ve işleme tesislerinin katı atıkları, maden ya da maden işletme tesisinin yakınındaki bir su gövdesine çevrilen sıvı atıklar, otoyollarda araçlardan salınan benzin, balata ve lastik kökenli atıklardır (Kürkçü, 2001).

## **1.1. Ağır Metaller**

Bu kısımda, çalışma da seçilen iki ağır metal hakkında bilgi verilecektir.

### **1.1.1. Krom**

Krom, gümüş gibi parlak, mavimsi beyaz, periyodik tablonun VI-B grubunda yer alan bir geçiş elementidir. Metalik bir element olup, atom numarası 24, atom ağırlığı 51,996 g/mol dur. Erime noktasının 1857 °C oluşu nedeniyle, metallere sertlik sağlamaktadır (ansiklopedi.turkcebilgi.com). Kadmiyum, 1761 yılında Johann Gottlob Lehmann'ın Ural dağlarında portakal-kırmızı renkli minerallere rastlamasıyla keşfedilmiştir. Bu bileşik krokoid olarak bilinen kurşun kromattır (PbCrO<sub>4</sub>). 1770 yılında Peter Simon Pallas bu bileşiğin boyacılıkta pigment (renk veren madde) olarak kullanılabileceğini keşfetti. 1797 yılında Nicolas-Louis

Vauquelin kurşunlu kromat cevherinin HCl ile reaksiyonu sonucunda krom oksit ( $\text{CrO}_3$ ) elde etti. 1798 yılında ise kömür fırınında krom oksidin ısıtılması ile saf krom metalini izole etti (www.kimyaevi.org).

Krom doğada +3 değerlikli bulunur, indirgenme reaksiyonuyla +6 değerlik alır. Kromun stabil olmayan ve biyolojik sistemlerdeki kısa ömre sahip diğer değerlikteki durumlarına rağmen stabil formları Cr(III) ve Cr(VI)'dır (McGrath ve Smith, 1990). Krom, HCl ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 'de çözünür halde bulunur,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ve  $\text{HClO}_4$ 'de koruyucu katman formundan dolayı çözünür halde bulunmaz. Sudaki kimyasal türleri;  $\text{CrO}_4^{2-}$  ya da  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 'dür. Krom doğada genellikle sülfür, oksit, karbonat ve silikat mineralleri şeklinde bulunmaktadır (Pais ve Jones, 2000). Krom ana kaynakları; deri, boya, mürekkep, kumaş boyası, alüminyum, kağıt sanayi vb. endüstrilerdir. Yine krom metali, başta metalurji ve kimya sektörü olmak üzere metal üretim, kaplama, imalat, deri, boya, mürekkep, kumaş boyası, alüminyum vb. endüstrilerde en yaygın olarak kullanılan elementlerden birisidir (Nakiboğlu ve Sevindir, 2005).

**Tablo.1.1.** Kromun bulunduğu yerler ve krom miktarları (Pais ve Jones, 2000)

Krom	Miktar
Litosfer	200 mg/kg
Toprak	5-1000 mg/kg, çözülebilir içeriği 10 $\mu\text{g/L}$
Deniz suyu	0,16 10 $\mu\text{g/L}$ ; 1-5 mg/L algde fotosentezi indirger.
Taze su	0,18 $\mu\text{g/L}$ ; kaynak değer 1.0 $\mu\text{g/L}$ ; her litre için 0,03-65 mg $\text{Cr}^{+6}$ algleri inhibe eder.
Bitki	0,02-0.2 mg/kg; 1,5 mg/kg; fitotoksik >10mg/kg
Hava	0,001-1,0 $\text{ng/m}^3$ , endüstriyel alanlarda 30-50 $\text{ng/m}^3$

### 1.1.2. Kurşun

Kurşun, periyodik olarak IV B grubunda yer alır. Mavimsi gri renkte yumuşak, ağır ve zehirleyici bir metaldir. Atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 g/mol dur (Kürkçü 2001). Günümüzden 4000–5000 yıl öncesinde, antik uygarlıklar tarafından gümüş üretimi esnasında yan ürün olarak keşfedilmiş ve tarih boyunca kurşun üretimi ve kullanımı giderek artış göstermiştir. Kurşun, Roma imparatorluğunda su borularında

ve su saklama haznelerinde kullanılmıştır. Günümüz bilim adamları ve tarihçiler bu kullanım şeklinin Roma imparatorluğu'nun sonunu hazırladığı görüşünü ortaya atmaktadırlar. Kurşun zehirlenmesi sonucu, yönetici sınıfın düşünme kapasitesinin düşmesi, doğum oranlarındaki azalış ve kısalan yaşam süresinin bu çöküşün temelini oluşturduğu iddia edilmektedir (Baykan, 2007). Kurşunun yaygın olarak bulunduğu mineral form  $Pb^{+2}$  dir (Pais ve Jones, 2000).

Yine kurşun, çevreyi etkileyen en toksik ağır metal iyonları arasındadır [Gupta ve Rastogi, 2008 (b)]. Hava, su ve toprak yoluyla, solunumla ve besinlere karışarak biyolojik sistemlere girer. Yüzbinlerce ton kurşun, kurşunlu petrolden elde edilen ve kurşun tetraetil  $[(CH_3CH_2)_4Pb]$  eklenerek oktan sayısı arttırılan yakıtlarla çalışan içten yanmalı motorlardan çıkan gazlarla dünya atmosferine yayılmaktadır. Atmosferden kurşun (büyük oranda metal oksitleri ve tuzları şeklinde) yağmurla tekrar yeryüzüne inerek çevremize her geçen gün daha fazla yayılmaktadır. Kurşun madenleri ve metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları, petrol rafinerileri, boya endüstrisi ve patlayıcı sanayi atık sularında da istenmeyen konsantrasyonlarda kurşun kirliliğine rastlanır (tr.wikipedia.org).

**Tablo.1.2.** Kurşunun bulunduğu yerler ve kurşun miktarları (Pais ve Jones, 2000)

Kurşun	Miktar
Litosfer	14 mg/kg
Toprak	3-189 mg/kg, 100-400 mg/kg'da toprakta fitotoksik etki gösterdiği düşünülmektedir. Toprakta çözünür halde; 5,0 µg/L
Deniz suyu	$30 \times 10^{-6}$ mg/L (yüzeyde), $4,0 \times 10^{-6}$ mg/L (derinde)
Taze su	0,01-5,6 mg/L; kaynak değer 3,0 µg/L
Bitkide	1,0 mg/kg

## 1.2. Ağır Metallerin Etkileri

Biyokimyasal düzeyde ağır metallerin aşırı konsantrasyonlarının neden olduğu olumsuz etkiler ATP ve ADP'nin fosfat gruplarıyla olan reaksiyonları, hücre membranlarının zarar görmesi, SH gruplarıyla olan reaksiyonları, esas iyonların yerine geçmesi ve esas metabolitlerle rekabet etmesidir. Organizmalar sahip



oldukları homeostatik mekanizmalarıyla çoğu elementin alınmasında ortaya çıkan bu düzensizlikleri tolere edebilirler (Alloway ve Ayres, 1993). Toksik etkili ağır metallere dayanıklı olan bir bitki ya hücreye giren ağır metalleri derhal detoksifiye etmeli ya da hücreye alınımını sınırlı tutmalıdır (Cumming ve Taylor, 1990). Ağır metallere kirlenmiş topraklardaki bazı endemik bitkilerin asit fosfatazlar gibi ağır metale dayanıklı enzimler içerdiği görülmüştür (Thurman, 1981). Ağır metaller hücre içinde biriktirildiklerinde detoksifiye edilmeleri gerekir. Bu da metale bağlı olan şelatlanma, alınımın sınırlanması ve çöktürme şeklinde olur (Brooks vd., 1981).

Birçok biyokimyasal işleyiş Pb'nin aşırı hareketli olmasından etkilenir. Bu metal, önemli fonksiyonel grup olarak hareket ettiğinden birçok enzimin (bunların bazıları fotosentez ve azot için önemlidir) aktivitesini etkiler. Pb ile muamele edilen bitkilerde hidrolitik enzimlerin ve peroksidazların aktivitesinin bozulduğu, senesenste bir artış olduğu görülmüştür. Pb muamelelerinde çözünebilir protein ve serbest aminoasit içeriğinde de artış gözlenmiştir (Lee vd., 1976). Bitkiler tarafından ortamdan alınan kurşun çok düşük derişimlerde hücre bölünmesini azaltabilir (Cannon ve Bowles, 1962). Pb toksisitesinin büyüklüğü metalin absorpsiyonuna, hareketliliğine ve hücredeki bölgesel birikime bağlıdır. Pb yönünden zengin ortamlarda büyüyen hassas bitki türleri organlarında çok fazla kurşun biriktirebilirler (Singh vd., 1997). Pb toksisitesi diğer metallere olduğu gibi bitki türlerine göre değişir (Oberlander ve Roth, 1978).

Pb toprak tarafından oldukça kuvvetli bir şekilde absorbe edildiğinden toprakta kurşun içeriği fazla olsa bile bitkideki kurşun içeriği daha azdır (Heilenz, 1970). Sonuç olarak, havadaki kurşun miktarına, dağılım kaynağına yakınlığın artmasına, bitki vejetasyon döneminin uzamasına bağlı olarak bitkilerin kurşun içeriği artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı ağaçların yaprak ve iğnelerindeki Pb miktarı sebze ve çayır bitkilerine oranla yüksektir. Özellikle yosun ve liken gibi yavaş büyüyen bitkiler yüksek bitkilere göre kuru gram madde başına 100-1000 kez daha fazla ağır metal biriktirme özelliğine sahiptir ve bu nedenle toksik madde birikimi için biyoindikatör olarak tanımlanırlar (Özbek vd., 1995).

Hem prokaryot (Dreyfuss, 1964) hem de ökaryotlarda (Wiegand vd., 1985; Alexander ve Aashet, 1995) Cr, biyolojik membranı aktif taşıma ile geçmektedir.

Bitkilerde krom ile organizma arasındaki ilk etkileşim kromun alınım süreci esnasında olmaktadır. Cr bitkiler için gerekli olmayan ve toksik bir metal olduğu için bitkilerce alınımı için spesifik mekanizma prosesi yoktur. Cr'un toksik etkileri esas olarak metalin alınımı, translokasyonu ve birikimi gibi faktörlere bağlıdır. Cr(VI)'nın alınım yolu sülfat gibi gerekli anyonların taşınmasına katılan aktif bir mekanizmayla olmaktadır. Fe, S ve P'nin taşıyıcılara bağlanmak için Cr ile rekabet ettiği bilinmektedir (Wallace vd., 1976). Kimyasal özelliklerindeki (oksianyon yükü gibi) benzerliklerinden dolayı Cr alınımı sülfat ve fosfat analogları olarak anyonik kanallar yoluyla olmaktadır (Simkiss ve Taylor, 1995). Metabolik inhibitörler Cr(VI)'nın alınımını azaltırken Cr(III) bu durumdan etkilenmemektedir. Bu da iki kromdan Cr(VI)'nın metabolik enerjiye bağlı olarak alındığını göstermektedir (Skeffington vd., 1976).

### **1.3. Algler ve Ağır Metaller**

Algler su ortamında primer üretici canlılardır. Yapılarındaki pigmentleri sayesinde karbondioksit ve suyu ışığın etkisi ile karbonhidratlara çevirirler, böylece su ortamındaki besin değerinin ve çözülmüş oksijen oranının artmasını sağlarlar. Sonuçta kendi gelişimlerini sağlayarak besin zincirinin ilk halkasını oluştururlar. Bu şekilde üretime olan katkıları ve üst basamaktaki canlılarla olan ilişkileri açısından önem taşımaktadırlar (Round, 1973). Su kirliliği; kullanılacak bir su kaynağının, doğal yapısının herhangi bir olumsuz fiziksel veya kimyasal etmene bağlı olarak bozulmasıdır. Kirlilik; besin zincirine katılan ve çevresel değişikliklere duyarlı birçok organizmayı olumsuz yönde etkilemektedir. Su kirliliğinin boyutları sadece fiziko-kimyasal özelliklere bakılarak değil aynı zamanda su içinde yaşayan organizmaların incelenmesi ile belirlenebilir. Algler bu organizmalar arasında en önemli olanıdır (Atıcı ve Ahıska, 2005).

Ağır metallerin uzaklaştırılması için çökelme, iyon değişimi, filtrasyon, çözücü ekstraksiyon ve membran yoluyla ayırma gibi geleneksel teknolojiler ve ağır metal iyonlarını düşük konsantrasyonlara indirgeme gibi birçok metot kullanılmaktadır. Ancak bu metotlar çoğu kez etkisiz ve çok pahalı olmaktadır (Hammami vd., 2003; Volesky, 1990). Ayrıca bu işlemler metallerin tam olarak uzaklaştırılamaması, pahalı donanım ve gözlem sistemleri, yüksek enerji gereksinimi ve diğer atık ürünler gibi

önemli dezavantajlara sahiptirler. Bütün bu işlemlerin aksine, doğal yollarla atık sularından ağır metallerin uzaklaştırılması hem daha ucuz hem de doğaya en az zarar veren bir yöntem haline almıştır. Yeni araştırmalar ve gelişmeler, yüksek absorpsiyon kapasiteleri ve hemen hemen sınırsız miktarlarda emme gücüne sahip olmalarından dolayı alglere odaklanmıştır (Klimmek vd., 2001).

Algler tarafından metal iyonlarının alınımı, metal solüsyonunun kimyasal kompozisyonuna, alg türüne, metalin iyonik yüküne ve metal türlerine bağlı olarak değişmektedir (Holan ve Volesky, 1994; Aksu, 1998; Gupta vd., 2001; Sing vd., 2001). Ayrıca ışık, pH, sıcaklık ve şelatlayıcı ajanlar gibi fizikokimyasal faktörler de alglerdeki ağır metal alınımını etkilemektedirler (Depledge vd., 1995; Phillips, 1995).

Ağır metallerin biyolojik moleküllerle alınımı bazı aşamalar içermektedir. Yapılan bilimsel araştırmalar ağır metallerin metal bağlama verimliliğinin ilk aşama da çok hızlı bir şekilde olduğunu ve bu olayda metal iyonlarının hücre duvarlarına temas eder etmez yüzey adsorpsiyonu ile mikroorganizmaların hücre yüzeyine bağlandığını göstermektedir. Yüzey adsorpsiyonunun fiziko-kimyasal bir olay olduğu, birçok biyolojik moleküllerin; örneğin hücre duvarı bileşenleri olan polisakkaritlerin, proteinlerin ve lipidlerin sahip olduğu fonksiyonel gruplar ile gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu fonksiyonel gruplar amino, karboksilik, sülfidril, fosfat ve tiol grupları olup metalleri bağlamada farklı affinite ve özgülüğe sahiptirler. Diğer yandan hücre duvarı içeriği olan proteinler, metalleri bağlamak için aktif bölgeler oluşturmakta ve metale karşı affinitelerini artırmaktadırlar. Yüzey alımında bazı mikroorganizmalar, yüzeylerinde yüksek moleküler ağırlıklı polifosfatlara benzeyen grupları ile metallerle kompleks oluşturarak metali bağlayabilmektedirler Yüzey alınımını takiben ikinci metal bağlama aşaması gerçekleşmektedir. Bu aşama yavaş gerçekleşmekte ve metaller hücre membranının transport özelliğine bağlı olarak sitoplazmaya geçmektedirler. Sitoplazmadaki metaller ise çözünmez formda (mikrodepositler şeklinde) tutulmaktadır (Sağlam ve Cihangir, 1995).

### **1.3.1. Ağır Metal Stresinin Algler Üzerine Etkisi**

Algler, hücre yüzeyindeki metallerin bağlanma bölgelerinin azalması, metabolizmaya bağımlı alınının inhibisyonu, genetik adaptasyon, morfolojik değişiklikler ve hücre içi detoksifiye edici mekanizmalar ya da hücre içi depolama bölgeleriyle hücresel düzeyde ağır metal stresini tolere edebilmektedirler (Rai vd., 1981).

Algler, adsorpsiyon, presipitasyon ve metabolizmaya-bağlı işlemler ile fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalarla dış ortamdakinden çok daha yüksek miktarlarda ağır metal iyonlarını biriktirmektedirler (Gadd, 1988). Ağır metaller canlı hücreler, ölü hücreler ve hücre yüzeyinin yapısal elemanları, hücreden dışarı verilen metabolitler ve polisakkaritler gibi biyokimyasal ürünler tarafından konsantre edilebilmektedirler (Wong vd., 1984).

Mikroalgler, negatif yüzey yüküne sahip olduklarından ağır metal iyonlarına karşı yüksek bir affiniteye sahiptirler (Ramani, 1974). Mikroalgler diğer mikrobiyal canlılar gibi adsorpsiyon ya da absorpsiyon mekanizmalarıyla ağır metal iyonlarını akümüle edebilmektedirler. Bu nedenle algler atık sulardaki ağır metallerin uzaklaştırılması çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadırlar (Dönmez vd., 1999).

### **1.4. *Spirulina* sp.**

*Spirulina* sp. ticari olarak önem taşıyan, büyük ölçekte yetiştirilen ve endüstride işleme tabi tutulan önemli ipliksi bir cyanobakteridir (Dillon vd., 1995). Günümüzde birçok şirket tarafından üretimi yapılmakta ve Dünya’da sağlık-yemek sektöründe satılmaktadır. Balıklar, kümes hayvanları ve çiftlik hayvanları için besin olarak kullanılmakta ve insanlarda diyetlerde ilave olarak kullanılmaktadır (Belay vd., 1993). *Spirulina* hızlı büyüeyebilen, sıcak, sıg ve tuzlu göllerde yüksek filament yoğunluğuna ulaşabilen bir algdir. Afrika ve Amerika’da bazı alkalın tuzlu göllerde bol bulunan yaygın bir algdir (Rich, 1931). *Spirulina* klorofilin sadece tek formuna, klorofil-a’ya sahiptir. Ayrıca hepsinde karakteristik biliprotein pigmentleri olan, fotosentezde yakalayıcı pigment olarak fonksiyon gösteren fikobilinler mevcuttur.

Fikobilinlerin bir sınıfı olan fikosiyeninler, mavi renklidir ve klorofil-a ile birlikte alge mavi-yeşil rengini verirler (Manav, 2004).

*Spirulina*'da hücre duvarı bakterilerde olduğu gibi 4 katlı tabakadan oluşur. Müsilaj yapıdaki hücre duvarı çok ince olup yaklaşık 40-60 nm kalınlığındadır. Hücre duvarını oluşturan tabakaların başlıca yapısını peptidoglikan (müreïn) tabakası oluşturur. Hücre duvarının en dış tarafı lipopolissakarit tabakadan oluşur. Hücre duvarının altında sitoplazmayı çevreleyen plazma membranı (plasmalemma) yer almaktadır. Hücrenin kenar bölgeleri çoğunlukla poliglukan ve gaz vakuollerinin yer aldığı, düşük elektron yoğunluğuna sahip sitoplazma ile karakteristiktir. Sitoplazmada glikojen granülleri, siyanofisin granülleri, fibriller ve yağ damlacıkları da bulunmaktadır. Tilakoidler sitoplazma merkezi ile kenarı arasında paralel dizilmiş ve fikobilizomlarla birleşmiştir. Üzerlerinde fotosentetik aparatları içerirler. Düşük elektron yoğunluğuna sahip olan tilakoidlerin boş olanlarında ribozom, DNA fibrilleri ve küçük lipid damlacıkları yer almaktadır. Düz ve spiral haldeki iplikçikler dallanmamış, silindirik hücrelerden oluşmuştur. Flamentler birbirinden bağımsız, serbest olarak bulunurlar ve kayma hareketi gösterirler (Vonshak, 1997).

### **1.5. Çalışmanın Amacı**

Ağır metallerin güncel bir konu olması çalışma konusunun seçiminde önemli bir faktör olmuştur. Türkiye krom madeni bakımından en zengin ülkelerden biridir. Kurşun ise güncel sektörlerde; metal endüstrileri, akü ve pil fabrikaları ve petrol rafineleri v.b yer almaktadır. Ağır metallerin algler üzerinde etkilerinin incelenmesi; yeni araştırma ve gelişmelerin absorpsiyon kapasitelerinden dolayı alglere odaklanmasının bir sonucudur. Günümüzde çevre kirliliği önemli bir sorun oluşturmakta ve insan sağlığını tehdit altına almaktadır. Bu kirlilikte ağır metallerin payı büyüktür. Yapılan çalışmada da; krom ve kurşun birikiminin *Spirulina* sp.'de büyüme hızı, pigment ve şeker miktarına etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir.

## BÖLÜM II

### KAYNAK ÖZETLERİ

Kurşun toksisitesine toleransı olmayan bitkilerde, Pb toksisitesinin mitoz hasarı (Levan, 1945; Ramel, 1973), çekirdek hasarı (Liu vd., 1994), kök büyümesinin inhibisyonu (Lane ve Martin, 1980), klorozisin ortaya çıkması (Johnson ve Proctor, 1977), enzim aktivitelerinin inhibisyonu (Hampp vd., 1973) ve fotosentezin azalması (Bazzaz vd., 1974) ile ilişkili olduğunu gösteren birçok çalışma vardır.

Wong ve Chang (1991), *Chlorella pyrenoidosa* yeşil algi üzerine Cu (bakır), Cr (krom), Ni (nikel) uygulamış ve bu ağır metallerin büyüme, fotosentez ve klorofil-a sentezi üzerine etkilerini ayrı ayrı ve kombine şekilde incelemiştir. Metal konsantrasyonu 0,1-1,0 mg/L değer aralığında uygulanmıştır. Sonuçta bu ağır metallerin toksik etkilerini şu şekilde gözlemlemiştir; Cu>Cr>Ni.

Dönmez vd. (1999), laboratuvar koşulları altında (pH'ın etkisi, başlangıçtaki metal iyonları ve biyokütle konsantrasyonları) sulu solüsyonlardan bakır (II), nikel (II) ve krom (VI) metallerinin *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* ve *Synechocystis* sp. algleri üzerine absorpsiyonlarını test etmişlerdir. Sonuç olarak; bu üç alg türünün de metal alınımı üzerine etkisi farklılıklar göstermiştir.

Muse vd. (1999), Güney Atlantik kıyılarındaki *Ulva lactuca*, *Enteromorpha* ve *Porphyra Columbina*'da Cd, Pb, Cr, Zn ve Cu miktarını atomik absorpsiyon spektrometresiyle belirlemişlerdir. *U. lactuca* ve *E. Prolifera*'nın bölgedeki ağır metal değerlendirilmelerinde kullanımlarının uygun olabileceği, *P.columbina*'nın ise uygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Gupta vd. (2001), sulu solüsyonlardan, yeşil alglerden *Spirogyra* türleri kullanılarak Cr(VI)'nın absorpsiyonunu gözlemlemiştir.

Sonuçlar atık sulardan Cr(VI)'yı uzaklaştırmak için *Spirogyra* türlerinin uygun bir biyolojik materyal olduğunu göstermektedir.

Tien (2002) yaptığı çalışmada, farklı yüzey karakteristikliğine sahip dört farklı tatlı su algindeki (*Oscillatoria limnetica*, *Anabaena spiroides*, *Eudorina elegans* ve *Chlorella vulgaris*) metal iyonlarının (Cu, Cd, Pb) biyosorpsiyonunu incelemiş ve tüm alglerin üç metal arasında en çok Pb'yi aldıklarını gözlemlemiştir. Metal iyonlarının alınımı alg ve metal türüne bağlı olarak farklılıklar göstermiştir.

Davis vd. (2003), Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, ve Hg<sup>2+</sup> ağır metallerini kahverengi alge uygulamışlar, sonuçta algin absorpsiyon davranışlarını (kapasite, eğilim v.b) özetlemişler ve onların doğal performanslarını değerlendirmişlerdir.

Nakiboğlu ve Sevindir (2005) yaptıkları çalışma kapsamında, deri endüstrisi atık sularında bulunan Cr(VI) ağır metal iyonlarının, *Scenedesmus obliquus* ve *Chlorella* sp. ile maksimum biyosorpsiyon kapasitelerini araştırmış ve maksimum biyosorpsiyon kapasiteyi sağlayacak reaktör işletme koşullarını (optimum karıştırma süresi, optimum karıştırma hızı, optimum pH, optimum sıcaklık, optimum alg dozajı) belirlemişlerdir.

Nalimova vd. (2005), bakır ve çinko metallerinin *Spirulina platensis*'in gelişimi ve akümülyasyon yeteneği üzerine etkilerini araştırmışlardır. Sonuçta; *Spirulina platensis*'in ağır metallerle toleransının kültür gelişim fazına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Gecikme fazı süresince bakır eklendiği zaman *Spirulina platensis*'in letal konsantrasyonu 5 mg/L, doğrusal gelişim fazında ise letal doz 4 mg/L'dir. Doğrusal gelişim fazında çinkonun letal dozu 8,8 mg/L'dir. Bu sonuçlar doğrultusunda, *S. platensis*'in ağır metallerle tolerans mekanizması hem hücre duvarının absorpsiyonu hem de metallerin kültür ortamına sekresyonu ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Özdiş (2005), krom (VI) birikiminin *Chlorella vulgaris*'taki hücre sayısı, klorofil, büyüme hızı, protein ve şeker miktarlarına etkilerini araştırmıştır. Sonuçta krom (VI)'nın etkisinin, bu parametreleri düşürdüğünü ortaya koymuştur.

Yılmaz vd. (2006), farklı sodyum selenit ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) içeren ortamlarda (10 mg/L, 20 mg/L, 50 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ) kültüre alınan *Spirulina platensis*'in gelişimini belirlemeye çalışmışlardır. *S. platensis* 'in gelişimini takip etmek için belirlenen parametrelerden pH, klorofil-a ve yaş madde miktarları, kontrol grubu ile farklı miktarlarda selenyumun içeren ortamlar karşılaştırıldığında aralarındaki farkın önemli olmadığını belirlemişlerdir ( $p>0.05$ ).

Apiratikul ve Pavasant (2007), Cu (II), Cd (II) ve Pb (II)'nin *Caulerpa lentillifera* üzerine biyosorpsiyonunu incelemişlerdir. Biyosorbentin bu maddeler için maksimum adsorpsiyon kapasitesi; Pb (II) > Cu (II) > Cd (II) olarak tespit edilmiştir. Adsorpsiyonun metal iyonları ile alg yüzeyindeki fonksiyonel gruplar arasında oluşan fiziksel etkileşimlerle gerçekleştiği, alg yapısında yer alan iyonlarla çözültide yer alan iyonlar arasında oluşan iyon değişim mekanizmasının bu işlemde temel mekanizma olduğunun düşünüldüğü rapor edilmiştir.

Choudhary vd. (2007), *Spirulina platensis* üzerine yaptıkları bir çalışmada; bakırın algde oksidatif strese ve antioksidan savunma sisteminde değişikliklere yol açtığını ortaya koymuşlardır.

Deng vd. (2007) yaptıkları çalışmada, *Cladophora fascicularis*'in absorpsiyon özellikleri zaman, başlangıçtaki pH, başlangıçtaki Pb(II) konsantrasyonu, sıcaklık ve iyonları araştırmışlardır. Maksimum absorpsiyon kapasiteleri pH 5'de 298°K 198,5 mg/g, absorpsiyon prosesi endotermik, absorpsiyon sıcaklığı 29,6 kJ/mol'dür. İnfrared (IR) spektrum analizi, tek değerli bir radikal ( $\text{NH}_2$ ) ya da hidroksil'i öne sürmektedir. C= O ve C–O yoğun olarak Pb(II) ile kombine edilebilir.

Freitas vd. (2007), Portekiz sahillerinde bulunan spesifik makroalg türlerinin sulu solüsyonlardan toksik metalleri [Cd(II), Zn(II) and Pb(II)] uzaklaştırmada etkili olduğunu belirlemişlerdir. Kinetik çalışmalar metal alınımının oldukça hızlı (bütün alg türleri için ilk 10 dk. içinde toplam miktarın %75'i) olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar, çalışılan bütün makroalg türlerinin endüstriyel atıklardan ağır metallerin giderilmesi için etkin ve uygun maliyetli teknolojiler olduğunu göstermektedir.



Romera vd. (2007), sulu solüsyonlardan 6 farklı algin (yeşil, kırmızı ve kahverengi) kadmiyum, nikel, çinko, bakır ve kurşun absorpsiyon kapasitelerini değerlendirmişlerdir. En iyi sonuçlar en düşük kütle konsantrasyonunda ortaya çıkmıştır (0,5 g/L). Solüsyon içindeki en düşük metal konsantrasyon değeri, kahverengi algden *Fucus spiralis*'den elde edilmiştir.

Singh vd. (2007), sulu solüsyonlardan *Spirogyra neglecta* kullanılarak bakır (II) ve kurşun (II)'nin absorpsiyonunu gözlemlemişlerdir. Pb(II) [116,1 mg/g] ve Cu(II) [115,3 mg/g]'nin maksimum absorpsiyonu 0,1 g/L biyokütlede, 100 mg/L metal konsantrasyonu içeren bir solüsyonda ortaya çıkmaktadır. Sonuçta *Spirogyra*'nın etkili bir absorbe etme yeteneğinin olduğu gözlemlenmiştir.

Gokhale vd. (2008), Cr (VI)'nin absorpsiyonunu, *Spirulina platensis* ve *Chlorella vulgaris* materyallerini kullanarak gözlemlemişlerdir. Sonuçta bu iki alg türünün absorpsiyon kapasiteleri ve alglerde gösterdiği etkiler karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Gupta ve Rastogi [2008 (a)] yaptıkları çalışmada, atık sulardan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için absorpsiyon yöntemini yeşil alg *Spirogyra* türlerini kullanarak uygulamışlardır. Araştırma sonuçları Pb(II)'nin maksimum absorpsiyonunun pH 5'de 100.dk. da başlangıçtaki 200 mg/L konsantrasyonda yaklaşık 140 mg metal/g olduğunu ortaya koymuştur.

Kamala-Kannan vd. (2008), endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu Kuzey Chennai bölgesinde Pulicat gölünde 6 farklı istasyondan elde edilen su, sediment ve yeşil alg (*Ulva lactuca*) örneklerinde krom, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarını değerlendirmişlerdir, sedimentte krom (28,51 µg/g) ve kadmiyum (64,21 µg/g) konsantrasyonları yüksek, *U. lactuca*'da ise kurşun (8,32 µg/g) konsantrasyonu su ve sediment örneklerinden yüksek olarak elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı çalışmaları; *U. lactuca*, su ve sediment örneklerinde metallerin konsantrasyonlarında belirgin bir farklılığın olmadığını göstermiştir.

Lodi vd. (2008), sudan krom (III)'ün uzaklaştırılması testlerinde *Spirulina platensis*'i kullanmışlardır. Çeşitli konsantrasyonlardaki biyokütle (1-3 g/L) ve krom (25 -200

mg/L) test edilmiştir. Sonuç olarak *Spirulina platensis*'in kromu uzaklaştırması her konsantrasyon değeri için farklılık göstermiştir.

Onyanca vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, atık sudan krom metalinin uzaklaştırılması için *Spirogyra condensata* ve *Rhizoclonium hieroglyphicum* alglerini kullanmışlardır. Sonuçta, pH ve krom konsantrasyonları *S. condensata*'nin pH 5'de maksimum krom alımının yaklaşık 14 mg Cr(III)/g, *R. hieroglyphicum*'nin pH 4'de krom alımının 11,81 mg Cr(III)/g olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Fourier transform infra red (FT-IR) analizleri, bu iki algin karboksil gruplarının bağlanma bölgelerinin farklı olduğunu ortaya koymuştur.

Raungsomboon vd. (2008), *Gloeocapsa* sp. üzerine 0–20 mg/L aralıklarında  $Pb^{2+}$  uygulamışlardır. Sonuçta bu konsantrasyon aralıklarının *Gloeocapsa* sp. gelişimi üzerine sınırlandırıcı bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır.

Solisio vd. (2008) yaptıkları çalışmada, *Spirulina platensis* üzerine farklı konsantrasyonlarda kadmiyum (100-800 mg/L) uygulamışlardır. Sonuçta bu değer aralıklarında kadmiyum absorpsiyonunun, biyokütle miktarına göre değişiklik gösterdiği saptanmıştır.

Şeker vd. (2008) araştırmaları kapsamında, *Spirulina platensis*'in kurşun (II), kadmiyum (II) ve nikel (II) iyonlarının sulu solüsyonlardan biyosorpsiyonunu zaman, konsantrasyon, sıcaklık ve reaktivite olarak çalışmışlardır. Ölçümler *S. platensis*'in bu üç metale karşı büyük bir absorban kapasitesinin olduğunu göstermiştir.

## BÖLÜM III

### MATERYAL VE YÖNTEM

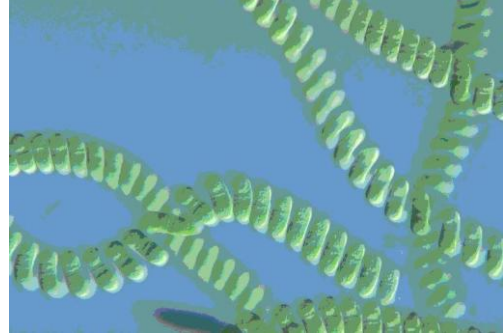
#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1. Çalışma Materyali

Çalışmada kullanılan *Spirulina* sp. Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesinden temin edilmiş, Gaziantep Üniversitesi Biyoloji Bölümünde çoğaltılmıştır.

**Tablo 3.1.** *Spirulina* sp. 'nin sistematigi (Güner ve Aysel,1999)

<b>Alem</b>	Bitkiler
<b>Şube</b>	<i>Cyanophyta</i>
<b>Sınıf</b>	<i>Cyanophyceae</i>
<b>Takım</b>	<i>Nostocales</i>
<b>Familiya</b>	<i>Oscillatoriaceae</i>
<b>Cins</b>	<i>Spirulina</i>
<b>Tür</b>	<i>Spirulina</i> sp.



**Şekil.3.1.** *Spirulina* sp. (×40)

##### 3.1.1.1. *Spirulina* sp.

*Spirulina* en fazla kültürü yapılan, kozmetikte, tıpta, insan ve hayvan gıdası olarak çeşitli sanayi alanlarında yaygın olarak kullanılan *Cyanophyceae* (Mavi-yeşil algler) sınıfından ipliksi, spiral şekilli bir prokaryotik organizmadır (Borowitzka ve Borowitzka, 1992; Cohen, 1997). Protein, mineral, vitamin B12,  $\beta$ -karoten ve  $\gamma$ -linoleik asit gibi zorunlu yağ asitleri bakımından oldukça zengindir (Belay vd., 1993). Trikomların heliks şekli *Spirulina* cinsinin karakteristik özelliğidir. Heliks şekli sadece sıvı ortamda korunur, filamentler katı ortamda sarmal hareket ederler. (Ciferri, 1983).

### 3.1.2. Stres Uygulama Çözeltileri

Çalışmada kurşun ve krom çözeltileri belirli derişimlerde kullanılmıştır. Bu derişimler Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo.3.2.** *Spirulina* sp.’ye uygulanan krom ve kurşun derişimleri

$K_2Cr_2O_7$	$Pb(CH_3COO)_2$
0,0	0,0
1,0 mg/L	5,0 mg/L
5,0 mg/L	10 mg/L
10 mg/L	20 mg/L

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Kültür Ortamı

*Spirulina* sp.’nin gelişmesi amacıyla çalışmada kullanılan besi ortamı içeriği Tablo 3.3’de verilmiştir.

**Tablo.3.3.** *Spirulina* sp. besi ortamı (Schlösser, 1982)

Solüsyon A	g/L	Solüsyon B	g/L
NaHCO <sub>3</sub>	27,22	NaNO <sub>3</sub>	5,00
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8,06	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,00
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1,00	NaCl	2,00
		MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,40
		CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,08
		PIV (mL)	12,00
		Chu (mL)	2,00

Solüsyon A ve solüsyon B için gerekli kimyasal maddeler tartım yapıldıktan sonra 500 ml’lik cam bir şişeye konup distile su içinde çözünmesi sağlanmış ve 121<sup>0</sup>C’de 15 dk. otoklavlanarak sterilizasyon gerçekleştirilmiştir.

### 3.2.2. Deney Ortamı ve Düzenegi

Stres çözeltileri uygulanmadan önce *Spirulina* sp. için besi ortamı hazırlanmış ve bir hafta ortama adaptasyon için beklenmiştir. Besi ortamının hazırlanması sırasında 500 mL ve 1000 mL'lik erlenler kullanılmıştır. Erlenler otoklavlanarak sterilizasyon sağlanmıştır.

Belirlenen derişimlerde krom ve kurşun çözeltileri hazırlanmış ve ortama uygulanmıştır. *Spirulina* sp. ortamı pH'sı 9 olarak ayarlanmıştır. Deney üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Deney süresi bir hafta olup; her gün büyüme hızı, birer gün arayla krom ve kurşun analizleri, 7.günde pigment ve şeker analizleri yapılmıştır.



Şekil.3.2. Farklı konsantrasyonlarda Cr uygulanan alg ortamları



Şekil.3.3. Farklı konsantrasyonlarda Pb uygulanan alg ortamları

### 3.2.3. Büyüme Hızının Belirlenmesi

*Spirulina* sp.'nin bir haftalık büyüme hızı 560 nm (Chen ve Pan, 2004) Cintra 202 marka spektrometrede ölçüm yapılarak hesaplanmıştır.

### 3.2.4. Krom ve Kurşun Analizleri

*Spirulina* sp.'nin krom ve kurşun analizleri yaş yakma metoduyla belirlenmiştir (Kaçar ve İnal, 2008). Örnekler kurutma işleminden sonra tartılmıştır. Tartılan örnekler 100 mL'lik erlenlere konulmuş üzerine 10 mL konsantre HNO<sub>3</sub> ilave edilmiştir. Bu işlemlerden sonra manyetik karıştırıcının ısı bölümü kullanılarak ısıtma işlemi gerçekleştirilmiştir. Erlenlere 10 mL HCl ilave edilerek ısıtma işlemi tekrarlanmıştır. Son olarak, erlenler 1N'lik 10 mL HCl ile sulandırılmış ve atomik absorpsiyon spektrometresinde (AA400, Perkin Elmer) ölçüm yapılmıştır.

### 3.2.5. Fotosentetik Pigment Analizi

Farklı konsantrasyonlarda metal içeren çözeltilerde bulunan *Spirulina* sp. örnekleri milipor kullanılarak süzülmüştür. Örnekler porselen havanda 1-2 mL %80'lik aseton ile homojenize edilmiştir. Ekstraktın son hacmi 10 mL'ye %80'lik aseton ile tamamlanmıştır. Örnekler 3000 rpm'de 5 dk. santrifüj edilmiştir. Klorofil-a için 662 nm ve karotenoid için 470 nm'lerde spektrofotometrede asetona karşı okunmuştur. Hesaplamalar Lichtenhaler ve Wellburn (1985)'e göre yapılmıştır.

### 3.2.6. Şeker Analizi

*Spirulina* sp.'nin şeker analizi Fenol-Sülfürik asit yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Kochert, 1978). Bu yöntemde göre; örnekler kuartz kum ve saf su ile homojenize edilmiştir. Homojenat 5000 devirde 5 dk. santrifüj edilmiş ve süpernatant kısım ayrılmıştır. Süpernatant kısmından 0,4 mL alınıp üzerine 0,4 mL fenol ve 2 mL sülfürik asit eklenmiştir. Bu karışım 10 dk. oda sıcaklığında daha sonra 20 dk. 30 °C'lik su banyosunda tutulmuştur. Örnekler 490 nm dalga boyunda okunarak sonuçlar standart eğriden değerlendirilmiştir.

### 3.2.7. İstatistiksel Yöntem

Bu araştırmada elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde tek yönlü ANOVA LSD testi kullanılmıştır. İstatistiki yöntemle bağlı sonuçlar, SPSS 13.0 programı kullanılarak elde edilmiştir.

## BÖLÜM IV

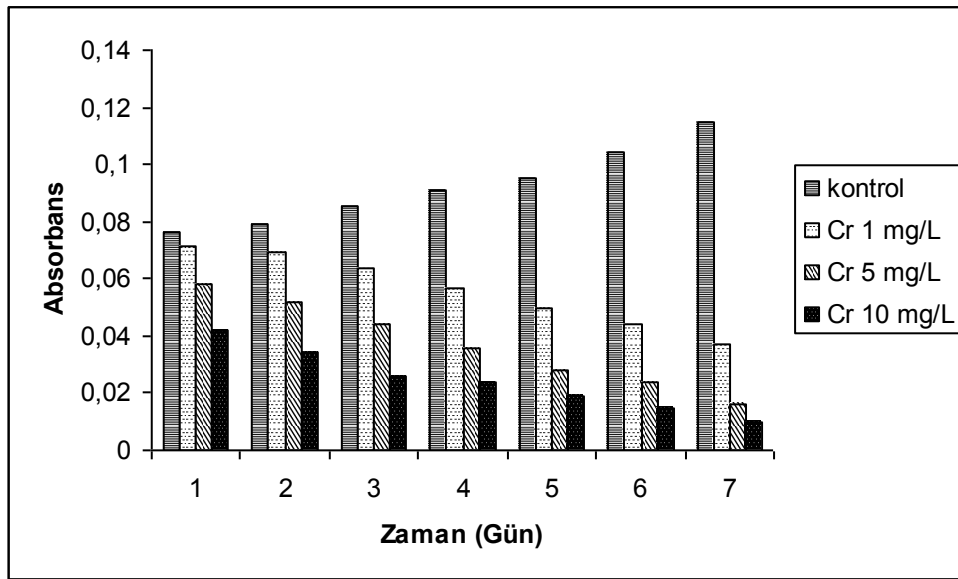
### ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 4.1. Büyüme Hızı

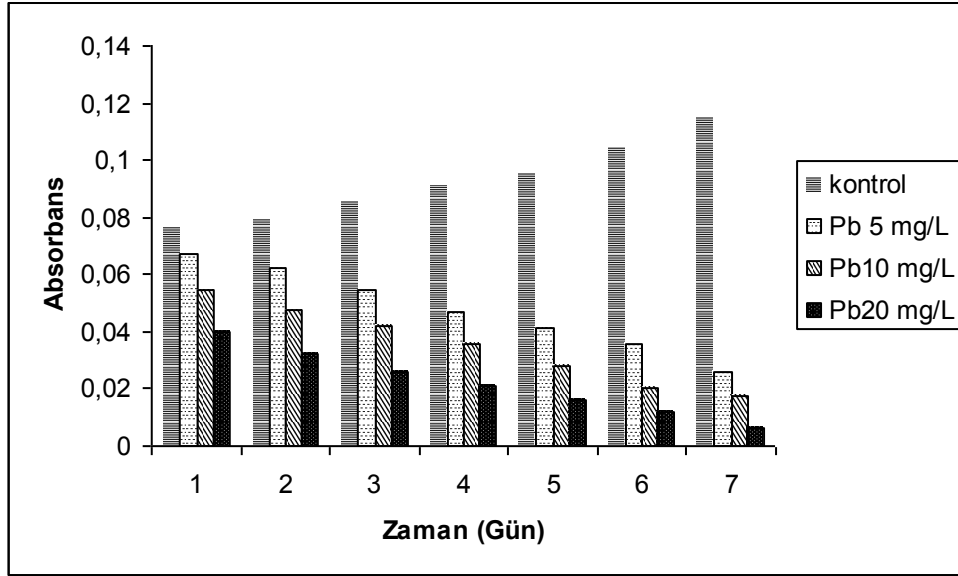
*Spirulina* sp.'ye uygulanan farklı konsantrasyonlardaki krom ve kurşun metallerinin büyüme hızına olan etkisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Krom etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin krom derişimlerdeki artışlara bağılı olarak büyüme oranlarında azalışlar tespit edilmiştir. 1 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L derişimlerinde büyüme oranları 7. gün ve kontrol grubuna göre sırasıyla %67, %85 ve %90 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin kurşun derişimlerdeki artışlara bağılı olarak büyüme oranlarında azalışlar tespit edilmiştir. 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L derişimlerinde büyüme oranları 7. gün ve kontrol grubuna göre sırasıyla %76, %84 ve %93 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).



Şekil.4.1. *Spirulina* sp.'nin farklı krom derişimlerine bağılı büyüme hızı değerleri



Şekil.4.2. *Spirulina* sp.'nin farklı kurşun derişimlerine bağlı büyüme hızı değerleri

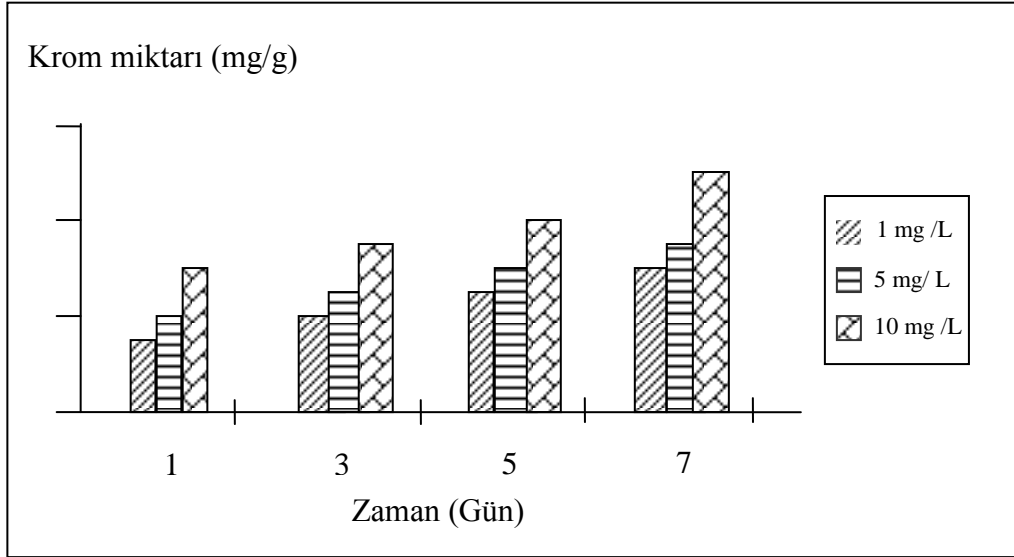
#### 4.2. Krom ve Kurşun Miktarı

Krom ve kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin krom ve kurşun miktarları Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te kuru ağırlık üzerinden verilmiştir.

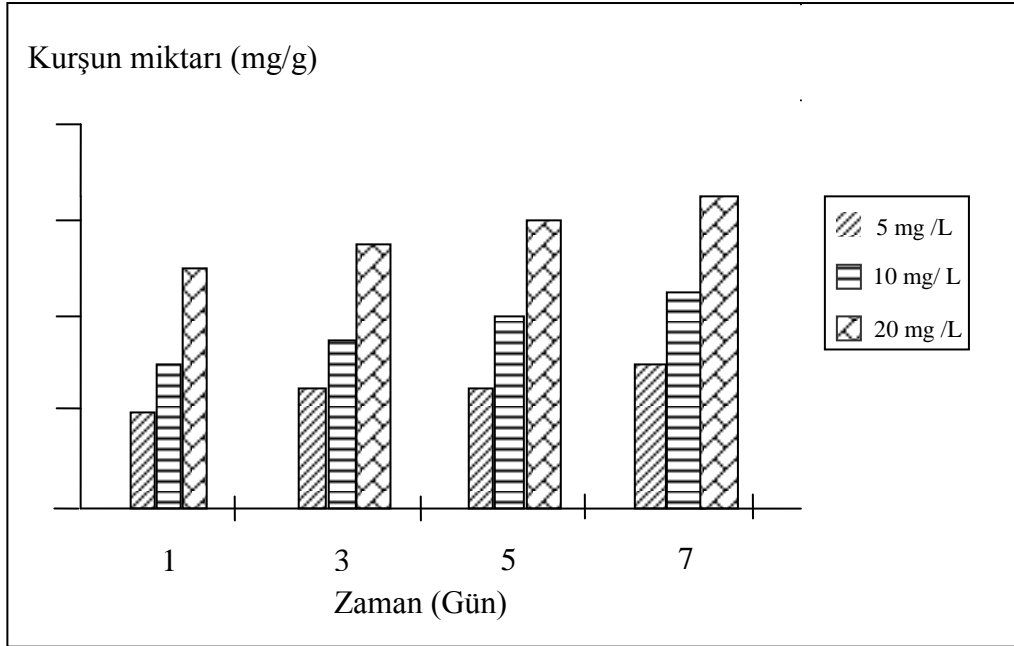
Krom etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin krom miktarında artışlar belirlenmiştir. 1 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L derişimlerinde krom miktarı 1. güne göre sırasıyla %45, %66 ve %150 düzeylerinde artmıştır ( $p<0,05$ ).

Kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin kurşun miktarında artışlar belirlenmiştir. 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L derişimlerinde kurşun miktarı 1. güne göre sırasıyla %50, %120 ve %220 düzeylerinde artmıştır ( $p<0,05$ ).





Şekil.4.3. Farklı krom konsantrasyonları ve günlere bağlı krom miktarı



Şekil.4.4. Farklı kurşun konsantrasyonları ve günlere bağlı kurşun miktarı

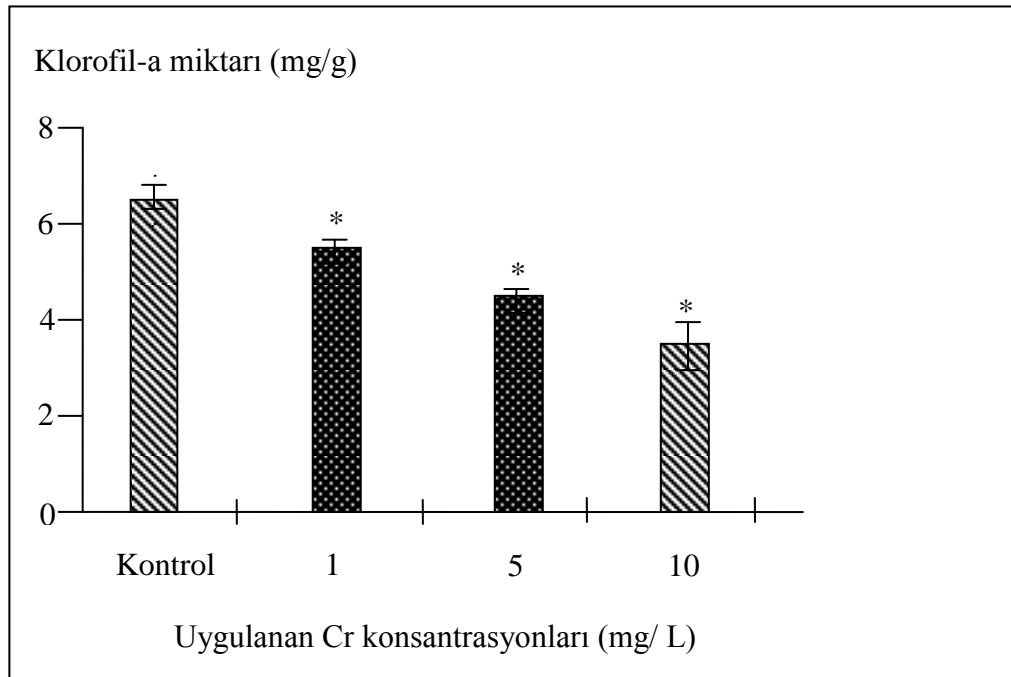
### 4.3. Fotosentetik Pigment Analizi

#### 4.3.1. Klorofil-a Miktarları

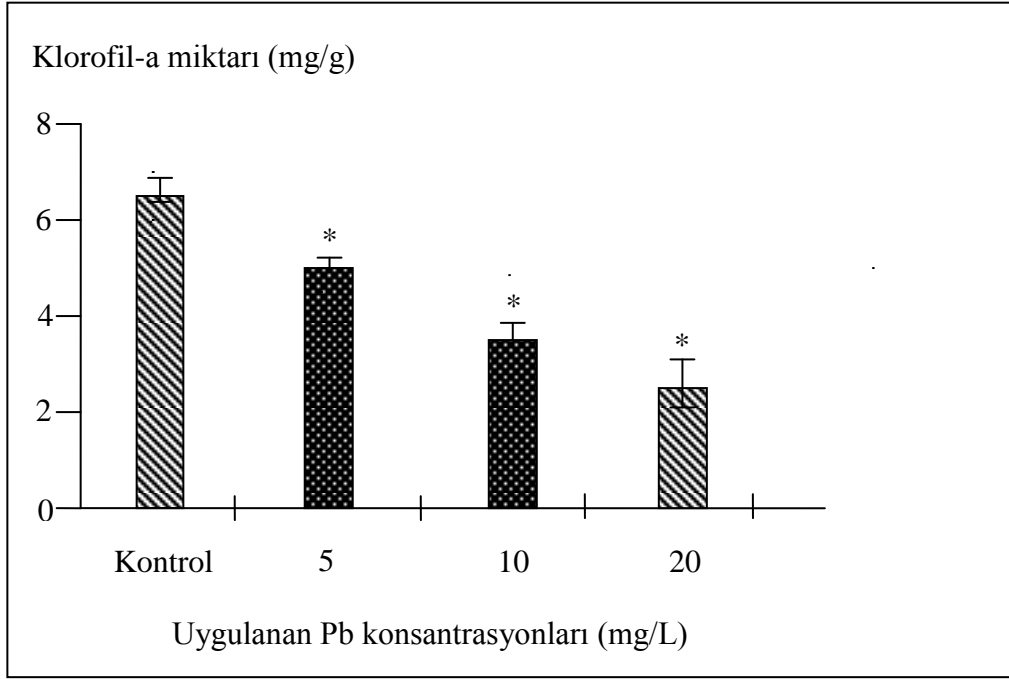
Farklı konsantrasyonlarda krom ve kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin klorofil-a miktarlarındaki değişim Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

Krom etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin klorofil-a miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 1 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L Cr derişimlerinde klorofil-a miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %10, %32 ve %40 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin klorofil-a miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L Pb derişimlerinde klorofil-a miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %21, %41 ve %64 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).



**Şekil.4.5.** Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin klorofil-a miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p<0,05$ ).



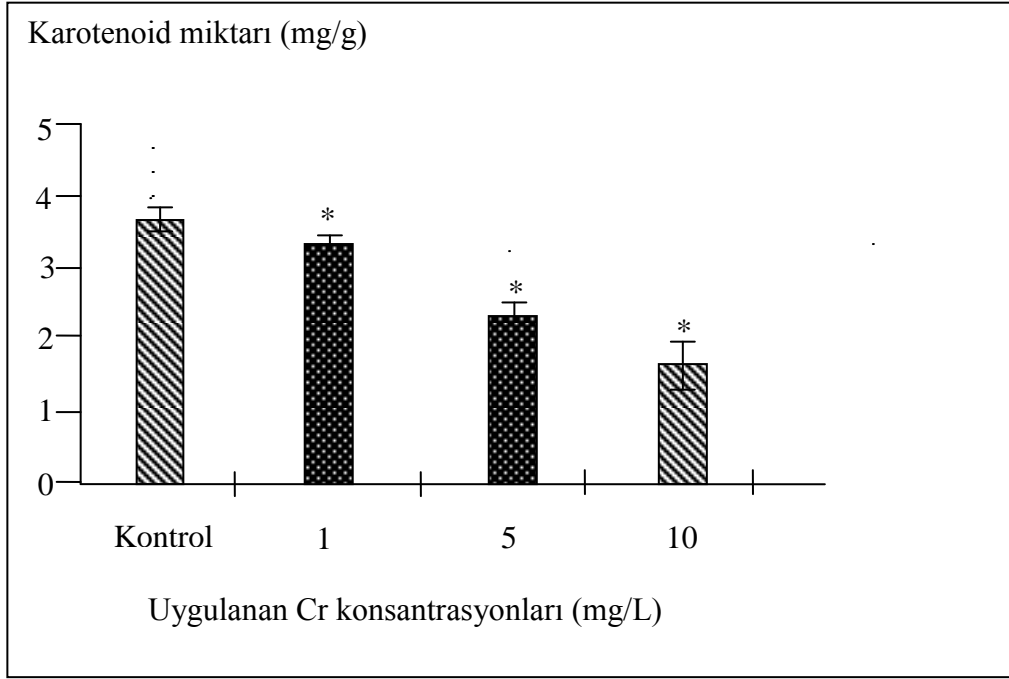
**Şekil.4.6.** Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin klorofil-a miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p < 0,05$ ).

#### 4.3.2. Karotenoid Miktarları

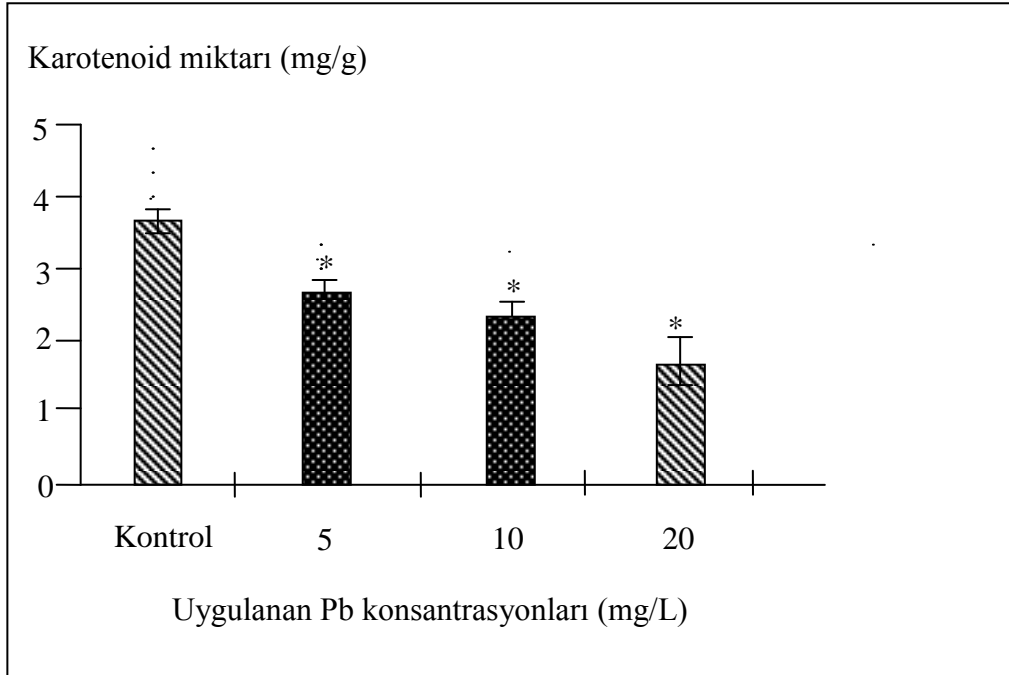
Farklı konsantrasyonlarda krom ve kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin karotenoid miktarlarındaki değişim Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'da verilmiştir.

Krom etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin karotenoid miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 1 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L Cr derişimlerinde karotenoid miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %8, %35 ve %54 düzeylerinde azalmıştır ( $p < 0,05$ ).

Kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin karotenoid miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L Pb derişimlerinde karotenoid miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %24, %41 ve %56 düzeylerinde azalmıştır ( $p < 0,05$ ).



**Şekil.4.7.** Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin karotenoid miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p < 0,05$ ).



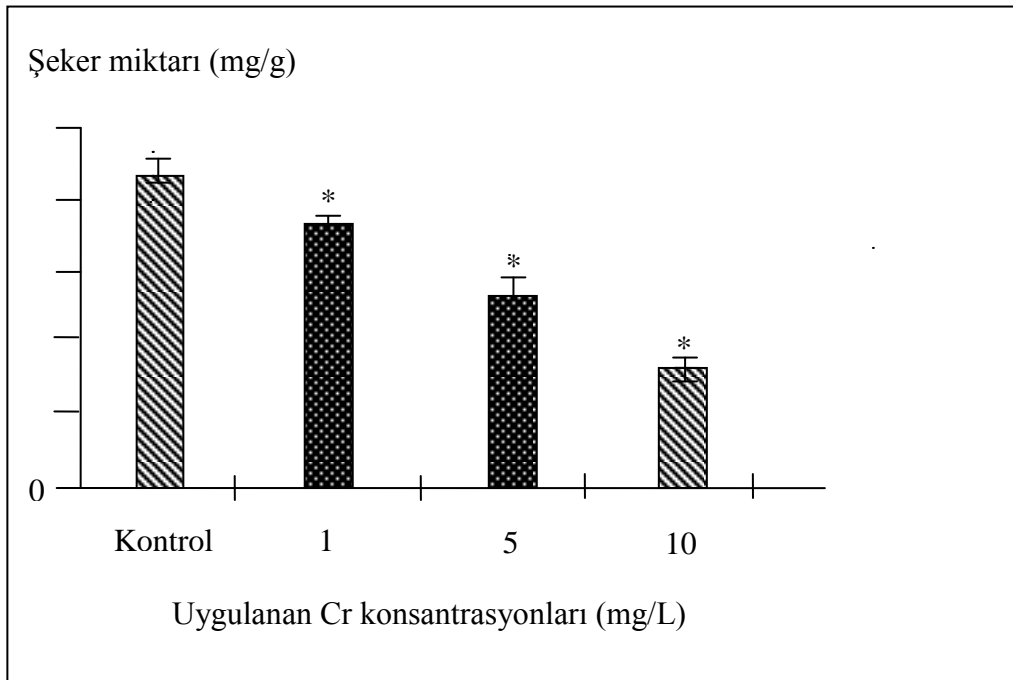
**Şekil.4.8.** Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin karotenoid miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p < 0,05$ ).

#### 4.4. Şeker Miktarı

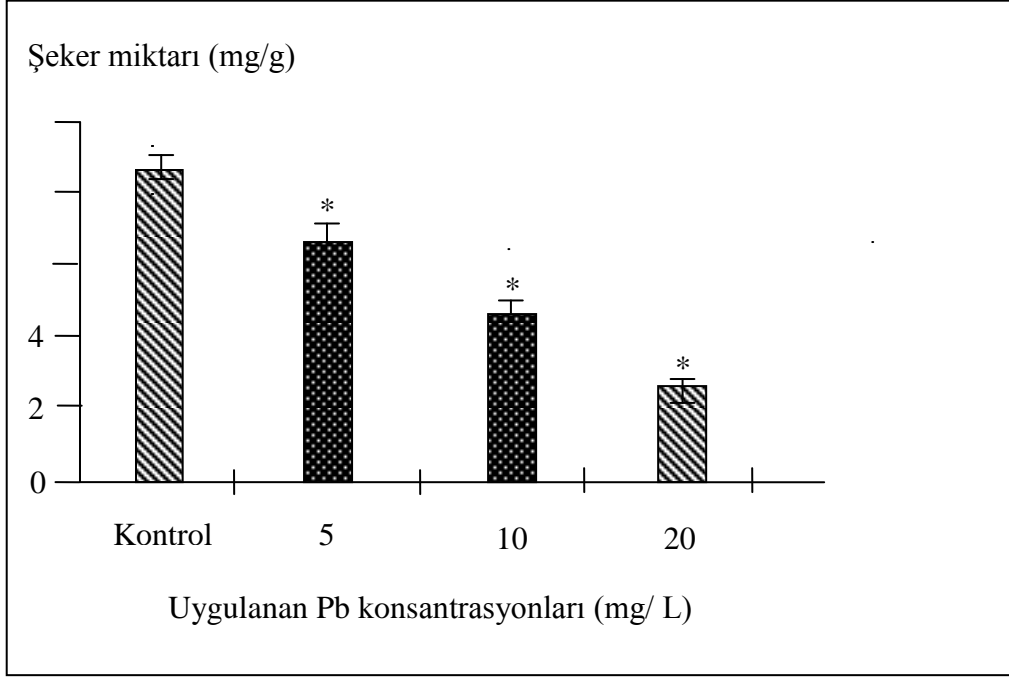
Farklı konsantrasyonlarda krom ve kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin şeker miktarlarındaki değişim Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Krom etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin şeker miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 1 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L Cr derişimlerinde şeker miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %15, %38 ve %62 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).

Kurşun etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin şeker miktarlarında azalmalar olduğu bulunmuştur. 5 mg/L, 10 mg/L ve 20 mg/L Pb derişimlerinde şeker miktarları kontrol grubuna göre sırasıyla %24, %48 ve %72 düzeylerinde azalmıştır ( $p<0,05$ ).



**Şekil.4.9.** Farklı krom konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin şeker miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p<0,05$ ).



**Şekil.4.10.** Farklı kurşun konsantrasyonlarının etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin şeker miktarları. Barlar ortalama  $\pm$  standart sapmayı gösterir (\*  $p < 0,05$ ).

## BÖLÜM V

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Metaller hızla gelişen teknolojik faaliyetler sayesinde topraktan üretime taşınarak insanoğlunun yaşamına önemli katkıda bulunmaktadır. Ayrıca ekolojik sistemdeki döngülerde bir denge unsuru olarak kendilerine yer bulan metaller, yeryüzünde var olan canlıların metabolik faaliyetleri açısından da önem arz etmektedirler. Endüstriyel üretim işlemleri sonrasında yeni ürün haline dönüşen ağır metallerin işlenmesi sırasında veya sonrasında yapılan işlemlerin türüne bağlı olarak farklı karakteristik özelliklere sahip atık sular oluşmaktadır. Ağır metal kirlilikleri içeren bu atık sular, eğer yeniden kullanılmaları mümkün değilse doğaya veya alıcı su ortamına (dere, ırmak, nehir, göl, gölet vs.) bırakılarak uzaklaştırılmaktadır. Ağır metallerin kullanımı ya da işlenerek yeni ürün haline getirilmesi sırasında atık su oluşturan birçok endüstri bulunmaktadır (Yazıcı, 2007). Ağır metaller; atomik yoğunluğu  $6 \text{ g/cm}^{-3}$  den büyük metalsilere (metallerin fiziksel özelliklerini, metal olmayan öğelerin ise kimyasal özelliklerini taşıyan element) ve metal gruplarına verilen genel ortak bir terimdir (O'Connell vd., 2008). Bazı ağır metaller bitki beslenmesi için önemli oldukları halde yüksek konsantrasyonlarda fitotoksiktirler. Bunlar Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co ve Ni'dir. Bununla birlikte Cd, Cr, Hg ve Pb gibi ağır metaller de çeşitli yollardan tarımsal ekosisteme girerler. Bunların bitki bünyesinde bulunmaları derişimlerine ve çözünebilirliklerine bağlıdır (Bergmann, 1992).

Bitkiler tarafından ortamdan alınan kurşun çok düşük derişimlerde hücre bölünmesini azaltabilir (Cannon ve Bowles, 1962). Uygulanan  $\text{Pb}^{+2}$  derişimine bağlı olarak, Pb'nin plazma zarlarını tamamen alt üst ederek bitkiye toksik bir etki yaptığı araştırılmıştır (Srivastava ve Gupta, 1996). Kacabova ve Natr (1986) kurşun

toksitesinin klorofil oluşumu ve normal Fe metabolizmasını bozduğunu rapor etmiştir.

Çeşitli ağır metallere (Cd, Pb, Cu ve Zn) maruz bırakılan *Sorghum bicolor*'da çimlenmenin azaldığı, kök ve gövde gelişiminin engellendiği tespit edilmiştir (Pandit ve Prasannakumar, 1999).

Kurşun toksisitesi bitkilerde enzim aktivitesini ve nükleik asit yapısını olumsuz şekilde etkilemektedir (Kennedy ve Gonsalves, 1987). Pb'nin *Lens culinaris* tohumlarının çimlenmesi, kök büyümesi ve kök ucu hücrelerinin mitoz bölünmeleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Denemelerde Pb<sup>+2</sup>'un farklı konsantrasyonları (0,125, 0,250, 0,500 ve 1,000 mM) kullanılmıştır. Düşük Pb<sup>+2</sup> konsantrasyonları ile muamele edilen tohumların çimlenmesinde kontrole göre belirgin bir farkın olmadığı, ancak yüksek konsantrasyonlarda çimlenmenin azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca uygulanan tüm konsantrasyonlarda, kök büyümesi kontrole göre engellenmiştir. Kurşunun konsantrasyon artışına paralel olarak, hücre bölünmesinin azaldığı, c-mitoz, multipolar anafaz ve köprü gibi çeşitli mitotik anormalliklerin arttığı tespit edilmiştir (Kıran ve Şahin, 2005).

*Chlorella vulgaris* ve *Daphnia magna* üzerine Cr(VI)'nın toksik etkilerinin incelendiği çalışmada krom birikimi, ATP inhibisyonu ve alg büyümesini inhibe etmiştir (Jouany vd., 1982). Yapılan bir çalışmada fasulye fidelerinin kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine nikel (NiCl<sub>2</sub>.6H<sub>2</sub>O) ve krom (CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O)'un etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki ağır metalin de fidelerin kök, gövde ve yaprak büyümesini önemli oranlarda engellediği tespit edilmiştir. Bu ağır metallerin konsantrasyonlarındaki artış ile kök, gövde ve yaprak büyümesinin inhibisyon oranı arasında bir paralellik görülmüştür (Zengin, 2006). Wang vd., (2009) yaptığı çalışmada sulu solüsyonlardan *Spirogyra sp.* kullanarak Cr (VI)'yı uzaklaştırmaya çalışmıştır. Çalışmada en verimli sonuç (%97,3), yani Cr (VI)'nın uzaklaştırılmasının sağlanması, pH 1,0'de gerçekleşmiştir. Literatürlerde yer alan diğer absorbentlere (emicilere) baktığımızda, bu çalışmada yer alan *Spirogyra sp.* iyi bir uygulama örneği olmuştur. Corradi ve Gorbi (1993), 1,5 ve 10 mg/L Cr(VI) etkisi altında *Scenedesmus acutus*'daki morfofizyolojiksel etkileri incelemiştir. Çalışma



sonucunda Cr(VI)'nin hücre çoğalmasını inhibe ettiğini gözlemlenmiştir. Bishnoi vd., 2007, sulu solüsyonlardan Cr(III)'ün uzaklaştırılması için pahalı olmayan ve etkili bir yöntem olan yeşil alg *Spirogyra* spp.'yi kullanarak yaptıkları çalışmada çeşitli fiziko-kimyasal parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Maksimum Cr(III) absorpsiyonu 81,02% ile pH 5'de, 70%'den fazla Cr(III)'ün uzaklaştırılması ise ilk 45 dakikada gözlemlenmiştir.

Plansız şehirleşmenin en büyük problemlerinden biri de endüstriyel faaliyetlerin yerleşim alanları içinde kalmasıdır. Bu faaliyetlerden kaynaklanan çok değişken kirleticilerin, endüstriyel atık suların arıtıldıktan sonra veya direk olarak atık su kanallarına verilmektedir. Atık sulardaki elementler bu ortamda yaşayan canlılar açısından ve besin zincirine geçişi nedeniyle insan sağlığı açısından da önem taşımaktadır (Pagano, 2002 ). Su ekosistemlerinde, kirletici parametrelerin verdiği zararı ortaya koymak amacıyla canlılar üzerinde pek çok araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar sırasında çeşitli biyolojik indikatörler saptanmakta ve birçok çalışmada bu canlılardan yararlanılmaktadır (Camusso vd., 1994; Chu vd., 1996). Normal koşullarda ağır metallerin doğadaki düzeyi düşüktür. Canlılarda enzimatik aktivite için bazı ağır metallerin gerekliliği sadece belli konsantrasyonlardadır. Doğal konsantrasyon düzeylerinin arttığı durumlarda, ağır metaller özellikle toksik etki yapmakta ve enzimleri inhibe etmektedir (DeConto vd., 1999).

Chen ve Pan (2004)'de yaptıkları çalışmada Pb toksisitesinin (2 mg/L, 4 mg/L ve 6 mg/L) *Spirulina* sp.'nin büyüme hızına etkisini araştırmışlardır. Sonuçta farklı konsantrasyonlardaki Pb'nin *Spirulina* sp. büyüme hızına olan etkisinin kontrol grubuna göre azaldığı gözlemlenmiştir. İki farklı *Spirulina platensis* suşunun büyüme özelliklerinin karşılaştırıldığı 19 günlük çalışmada, büyüme hızının 9.günden sonra düşmeye başladığı gözlemlenmiştir (Kılıç vd., 2006). Doshi vd., (2008)'de yapmış olduğu çalışmada ağır metal absorpsiyonunun *Cladophora* sp.'nin büyüme hızına etkisini araştırmıştır. Sonuçta ağır metallerin (Cr, Cu ve Ni) büyüme hızını düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada; Cr ve Pb'nin etkisine bırakılan *Spirulina* sp.'nin büyüme hızı ilk günden başlayarak düşüş göstermektedir. Farklı konsantrasyonlardaki Cr ve Pb'nin büyüme hızına etkisi farklı olduğu gibi, kontrol grubuna göre etkisi de farklılıklar göstermiştir. *Spirulina* sp.'nin büyüme hızındaki

düşüşün derişime ve zamana bağlı olarak artan Cr ve Pb birikimiyle yakından ilişkili olduğu bulunmuştur.

Gupta ve Rastogi [2008 (b)] sulu solüsyonlardan *Oedogonium* sp. ve *Nostoc* sp.'yi kullanarak kurşun (II)'nin uzaklaştırılması üzerine yaptıkları çalışmada, bu iki algin gün geçtikçe bünyesindeki kurşun (II)'nin birikiminde artışın olduğunu gözlelemişlerdir. Singh vd., (2007) sulu solüsyonlardan *Spirogyra neglecta* kullanılarak bakır (II) ve kurşun (II)'nin absorpsiyonu çalışılmıştır. Sonuçta *Spirogyra*'nın etkili bir absorbe etme yeteneğinin olduğu gözlemlenmiş olup, *S. neglecta*'nın bünyesinde bakır (II) ve kurşun (II)'nin birikimi sürekli artış göstermiştir. Sarı ve Tuzen (2008) Sulu solüsyonlardan *Ceramium virgatum*'u kullanarak kromun absorpsiyonu üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada; *Ceramium virgatum*'un iyi bir absorbent olduğu ve krom birikiminin sürekli artış gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Lopez-Suarez vd., (2000), yaptıkları bir çalışmada, *Chlorella vulgaris*'in Mn, Cr, Ni, Zn ve Cu gibi ağır metalleri biriktirme yeteneğini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda en çok birikim Cr ve Cu'da gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada da *Spirulina* sp.'teki krom ve kurşun birikiminin derişime ve süreye bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. *Spirulina* sp.'teki krom ve kurşun birikimi artışının ortamda bulunan düşük krom ve kurşun derişimlerine oranla yüksek krom ve kurşun derişimlerinde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yine *Spirulina* sp.'teki krom ve kurşun birikimi her derişim ve sürede bir düşüş göstermemiş sürekli olarak artmıştır. Bu sonuç, devamlı olarak ortamda bulunan krom ve kurşunun alg tarafından alındığını ve bu metallerin hücre bileşenlerinde ya da spesifik metal bağlayıcı proteinlerde depo edildiğini düşündürmektedir.

Kromun fotosentetik pigmentlere etki ettiği, büyümeyi inhibe ettiği ve sonuç olarak bitkinin ölümüne neden olduğu belirtilmektedir (Gaur vd., 1994; Sharma vd., 1995). Klorofil miktarı ağır metal toksisitesine hassas olan parametrelerden biridir. Ağır metallerin klorofil sentezini inhibe ettiği ve sonuç olarak klorofil miktarlarında azalmalara neden olduğu birçok araştırıcı tarafından rapor edilmiştir (Miranda ve Ilangovan, 1996; Mohan ve Hosetti, 1997). Kurşun toksisitesine toleransı olmayan bitkilerde, klorozisin ortaya çıkması (Johnson ve Proctor, 1977) ve fotosentezin azaltılması (Bazzaz vd., 1974) gibi sonuçlar gözlemlenmiştir. Rodríguez vd., (2007) kromun *Chlamydomonas reinhardtii*'de fotosentetik kompozisyonlarına etkilerinin

araştırıldığı bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda kromun fotosentetik kompozisyonlarına olan etkisinin zamana bağlı olarak azaldığı ortaya konmuştur. Yapılan fotosentetik pigment analizinde; *Spirulina sp.*'ye farklı konsantrasyonlarda uygulanan Cr ve Pb'nin etkileri araştırılmıştır. Sonuçta klorofil-a ve karotenoid miktarında azalmalar gözlemlenmiştir. Bu azalma konsantrasyona bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu parametrelere ek olarak kontrol grubuyla kıyaslandığında, Cr ve Pb uygulanan örneklerde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. *Spirulina sp.*'te Cr ve Pb etkisinde klorofil-a ve karotenoid miktarlarındaki azalışlar klorofil biyosentezinin bozulmasının, klorofil-a ve karotenoid biyosentezinde görevli enzimlerin inhibe edilmesinin ya da klorofil parçalanmasının sonucu olabilir. Ağır metallerin fotosentetik pigment biyosentezini ve bu süreçte görev yapan enzimleri inhibe ettiği rapor edilmiştir (De Fillippis ve Pallaghy, 1992). Kontrol grubunda *Spirulina sp.*'teki klorofil a ve karotenoid miktarları önemli olacak bir şekilde artarken krom ve kurşun etkisinde bu miktarların azalması, *Spirulina sp.*'teki krom ve kurşun birikiminin bir sonucu olarak yorumlanabilir.

Corradi ve Gorbi (1993), kroma duyarlı türlerde şeker miktarında azalmaların gözlemlendiğini çalışmalarında belirtmişlerdir. Xylander ve Braune (1994), *Haematococcus*'da yüksek kurşun derişimlerinin karbonhidrat içeriğini düşürdüğünü gözlemlenmişlerdir. Ağır metaller hücrelerdeki biyolojik makromoleküllerin göreceli miktarlarında değişikliğe neden olabilmektedirler (Stevenson vd., 1996). Yüksek metal konsantrasyonları, fotosentez, solunum ve biyolojik moleküllerin sentezi gibi biyokimyasal ve fizyolojik prosesleri kontrol eden enzim sistemleri üzerine önemli toksik etkilere neden olmaktadır (Rai vd., 1981). Sheng vd., (2004), deniz algleri *Sargassum sp.*, *Padina sp.*, *Ulva sp.* ve *Gracilloria sp.*'nin ortamdaki Pb, Cu, Cd, Zn ve Ni'nin uzaklaştırılması üzerine biyosorpsiyon performanslarını incelemişlerdir. Biyosorpsiyon ile bünyeye alınan ağır metallerin çeşitli parametrelerin yanı sıra şeker miktarındaki etkilerini de gözlemlenmişlerdir. Çalışma sonucunda bu ağır metallerin şeker miktarında düşümlere sebep olduğu ortaya konmuştur.

Yapılan çalışmada *Spirulina sp.*'teki şeker miktarlarının Cr ve Pb etkisi altında azaldığı belirlenmiştir. *Spirulina sp.*'te Cr ve Pb etkisi altında şeker miktarındaki azalışların kontrol grubuyla karşılaştırıldığında denenen tüm konsantrasyonlarda önemli olduğu ve bu biyolojik moleküllerdeki azalışların düşük derişimlere oranla

yüksek derişimlerde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu durum, Cr ve Pb metalllerinin yüksek miktarlarının şeker biyosentezi üzerine daha yüksek toksisitesinden kaynaklanabilir.

Araştırma sonucunda; *Spirulina* sp.'nin fizyolojik ve biyokimyasal işlevler üzerine krom ve kurşunun toksik etkisinin algdeki krom ve kurşun birikimiyle doğrudan ilişkili olduğu, algdeki krom ve kurşun miktarı arttıkça bu parametrelerdeki inhibisyonun arttığı belirlenmiştir. *Spirulina* sp.'nin krom ve kurşuna hassas olduğu ve ortamdaki krom ve kurşunun toksik etkilerini değerlendirmek için uygun bir tür olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aksu, Z., (1998). Biosorption of Heavy Metals by Microalgae in Batch and Continuous Systems *Bioscience.*, 37-53.
- Alexander, J. and Aashet, J., (1995). Uptake of chromate in human red blood cells and isolated rat liver cells: *The Role of the Anion Carrier. Analyst.*, **120**, 931-933.
- Alloway, B.J. and Ayres, D.C., (1993). *Chemical Principles of Environmental Pollution. Chapman and Hall, U.K.*, s. 291.
- Apiratikul, R. and Pavasant, P., (2007). Batch and column studies of biosorption of heavy metals by *Caulerpa lentillifera*. *Bioresource Technology*, **191**, 265-275.
- Atıcı, T. ve Ahıska, S., (2005). Pollution and algae of Ankara stream, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* **18(1)**, 51-59, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Bölümü.
- Bahadır, T., Bakan, G., Altas, L. and Buykgungar, H., (2007). The Investigation of lead removal by biosorption. An application at storage battery industry wastewaters. *Enzyme Microbiol. Technol.* **41 (1-2)**, 98-102.
- Baş, A.L. ve Demet, Ö., (1992). Çevresel toksikoloji yönünden bazı ağır metaller, *Ekoloji ve Çevre Dergisi sayı: 5*, 43-46.
- Baykan, Ö., (2007). Kurşun nitrat ( $Pb(NO_3)_2$ ) metal tuzunun *Daphnia magna* (Straus 1820) (*Cladocera, Crustacea*) üzerindeki akut toksik etkisinin araştırılması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şubat, Ankara.
- Bazzaz, F.A., Rolfe, G.L. and Windle, P., (1974). Differing sensitivity of corn and soybean photosynthesis to lead contamination. *J. Environ. Qual.* **3**, 156-158.

- Belay, A., Ota, Y., Miyakawa, K. and Shimamatsu, H.,(1993). Current knowledge on potential health benefits of *Spirulina*. *J.appl. Phycol.* **5**, 235-241.
- Bergmann, W., (1992). *Nutritional Disorders of Plants: Development, Visual and Analytical Diagnosis*. New York, s. 695.
- Bishnoi, N.R., Kumar, R., Kumar, S. and Rani, S., (2007). Biosorption of Cr(III) from aqueous solution using algal biomass *Spirogyra spp.* *Journal of Hazardous Materials* **145**, 142-147.
- Borowitzka, M.A., (1986). *Vitamins and fine chemicals from micro-algae*, In: *Borowitzka, M.A and Borowitzka, L.J.(Eds), Micro-Algal Biotechnology*, Cambridge University Pres, UK, 153-196 p.
- Borowitzka, M.A. and Borowitzka, L.J., (1992). *Microalgal Biotechnology*, Cambridge University Press, s. 477.
- Brooks, A., Collins, C.J. and Thurman, D.A., (1981). The mechanism of zinc tolerance in grasses. *Journal of Plant Nutrition*, **3**, 695-705.
- Camusso, M., Muriano, F. and Mariani, M., (1994). Use of freshwater mussel *Dreissena polymorpha* to assess trace metal pollution in the lower river Po (Italy). *Chemosphere*, **29**, **4**, 729-745.
- Cannon, H. and Bowles, J., (1962). Contamination by tetraethyl lead. *Science* **137**, 765-766.
- Chen, H. and Pan, S., (2004). Bioremediation potential of *spirulina*: toxicity and biosorption studies of lead, Department of Environmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310013, China, *Journal of Zhejiang University Science B*. p, 97-98.
- Choudhary, M., Jetley, U.K., Khan, M.A., Zutshi, S. and Fatma, T., (2007). Effect of heavy metal stres on proline, malondialdehyde, and superoxide dismutase activity in the cyanobacterium *Spirulina platensis*-S5, *Ecotox. Environ. Safe.*, **66**, 204-209.
- Chu, S., Xi, Z., Xu, X., Zhang, Y. and Xu, Y., (1996). Induction of micronuclei in peripheral erythrocytes of *Misgurnus anguillicaudatus* by polychlorinated biphenyls. *Bull-Env. Cont-Toxicology*, **57**, 179-182.

- Ciferri, O., (1983). *Spirulina, the edible microorganism. Microbiological Reviews*, 47, 551-78.
- Cohen, Z., (1997). *The Chemicals of Spirulina, In: Vonshak, A (Ed.) Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-biology and Biotechnology, Taylor & Francis Ltd., p.175-204.*
- Corradi, M.G. and Gorbí, G., (1993). Chromium toxicity on two linked trophic levels. II. Morphophysiological effects on *Scenedesmus acutus*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **25**, 72- 78.
- Cumming, J.R. and Taylor, G.J., (1990). Mechanism of metal tolerances in plants: Physiological adaptation for exclusion of metal ions from the cytoplasm. in: Stres responses in plants: Adaptation and acclimation mechanisms, Alscher, R.G. and Cumming, J.R. (Eds.) *Wiley-Liss, Inc.*, 329-359.
- Çepel, N. Ergün, C., (2008) [www.kuresel-isinma.org](http://www.kuresel-isinma.org), [www.tema.org.tr](http://www.tema.org.tr)
- Davis, A.T., Volesky, B. and Mucci, A., (2003). A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae, *Water Research* **37**, 4311-4330.
- De Conto Cinier, C., M.P. Ramel., R. Faure., D. Garin. and Y. Bouvet., (1999). Kinetics of Cd accumulation and elimination in Carp *Cyprinus carpio* tissues. *Comp. Biochem. Physiol. Part C*, **122**, 345-352.
- De Filippis, L. and Pallaghy, C., (1992). Heavy metals: sources and biological effects. in Rai, L. C. Gaur, J. P. (Eds.). *Phycological perspectives of water pollution*. E. Schweizerbart Verlag, Stuttgart. p, 242-245.
- Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X. and Zhu, X., (2007). Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*, *Journal of Hazardous Materials* **143**, 220-225.
- Depledge, M.H., Weeks, J.M. and Bjerregaard, P., (1995). Heavy metals in: *Handbook of Ecotoxicology. Blackwell Science.*, **2**, 79-105.
- Dillon, J.C. Phan, P.A. and Dubacq, J.P., (1995). Nutritional value of the alga *Spirulina*. *World Rev. Nutr. Diet.* **77**, 32-46.
- Doshi, H., Seth,C., Ray, A. and Kothari, L.L., (2008). Bioaccumulation of heavy metals by green algae, *Curr Microbiol* **56**, 246-255.

- Dönmez, G.Ç., Aksu, Z., Öztürk, A. and Kutsal, T., (1999). A comparative study on heavy metal biosorption characteristics of some algae. *Process Biochemistry.*, **34**, 885-892.
- Dreyfuss, J., (1964). *Characterization of a sulfate and thiosulfate transporting system in Salmonella typhimurium. J. Biol. Chem.*, **239**, 2292-2297.
- Freitas, M.M.O., Martins, J.E.R., Delerue-Matos, M.C. and Boaventura, A.R.R., (2007). Removal of Cd(II), Zn(II) and Pb(II) from aqueous solutions by brown marine macro algae: Kinetic modelling, *Journal of Hazardous Materials* **153**, 493-501.
- Gadd, G. M., (1988). Accumulation of metals by microorganisms and algae. In *Biotechnology* **6b**, 401-433.
- Gaur, J.P., Noraho, N. and Chauhan, Y.S., (1994). Relationship between heavy metal accumulation and toxicity in *Spirodela polyrrhiza* and *Azolla pinnata*, *R. Aquat. Bot.* **49**, 183-192.
- Gokhale, S.V., Jyoti, K.K. and Lele, S.S., (2008). Kinetic and equilibrium modeling of chromium (VI) biosorption on fresh and spent *Spirulina platensis/Chlorella vulgaris* biomass, *Bioresource Technology* **99**, 3600-3608.
- Gupta, V., Shrivastava, A. and Jain, N., (2001). Biosorption of chromium (VI) from aqueous solution by green algae *Spirogyra species*. *Water research.*, **35**, 4079-4085.
- Gupta, V.K. and Rastogi, A., (2008). (a) Biosorption of lead from aqueous solutions by green algae *Spirogyra* Species: Kinetics and equilibrium studies, *Journal of Hazardous Materials* **152**, 407-414.
- Gupta, V.K. and Rastogi, A., (2008). (b) Biosorption of lead from aqueous solutions by non-living algal biomass *Oedogonium sp.* and *Nostoc sp.* A comparative study *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **64**, 170-178.
- Güner, H. ve Aysel, V., (1999). *Tohumusuz Bitkiler Sistematigi, I. Cilt no:108*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü Botanik Anabilim Dalı, s. 45-58.
- Hammaini, A., Gonzalez, F., Ballester, A., Blazquez, M.L. and Munoz, J.A., (2003). Simultaneous uptake of metals by activated sludge. *Miner. Eng.* **16**, 723-729.



- Hampp, R., Ziegler, H. and Ziegler, I., (1973). Influence of lead ions on the activity of enzymes of the reductive pentose phosphate pathway. *Biochem. Physiol. Pflanz.* **164**, 588-595.
- Heilenz, S., (1970). Untersuchungen über den Bleigehalt von Pflanzen an Verkehrsreichen Standorten. *Landw. Forsch.* 25/I. Sonderh., 73-78.
- Hodson, P.V., (1988). The effect of metal metabolism on uptake, disposal and toxicity in fish. *Aquatic Toxicology.*, **11**, 3-18.
- Holan, Z.R. and Volesky, B., (1994). Biosorption of lead and nickel by biomass of marine algae, *Biotechnol. Bioeng.*, **43**, 1001-1009.
- Johnson, W.R. and Proctor, J., (1977). A comparative study of metal levels in plants from two contrasting lead mine sites. *Plant Soil.* **46**, 251-257.
- Jouany, J.M., Vasseur, P. and Ferard, J.F., (1982). Exotoxicite directe et integree du chrome hexavalent sur deux niveaux trophiques associes: *Chlorella vulgaris* et *Daphnia magna*. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological.*, **27**, 207-221.
- Kacabova, P. and Natr, L., (1986). Effect of Pb on growth characteristics and chlorophyll content in Barley Seedlings. *Photosynthetica*, **20**, 411-417.
- Kaçar, B. ve İnal, A., (2008). Bitki Analizleri, *Nobel Yayın no: 1241*, Fen Bilimleri: 63, ISBN 978-605-395-036-3.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., (2003). Metallerin çevresel etkileri, *Metalurji Dergisi.*, **136**, 47-53.
- Kamala-Kannan, S., Batvari, B.P.D., Lee, K.J., Kannan, N., Krishnamoorthy, R., Shanthi, K. and Jayaprakash, M., (2008). Assessment of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in water, sediment and seaweed (*Ulva lactuca*) in the Pulicat Lake, South east India, *Chemosphere* **71**, 1233-1240.
- Kennedy, C. D. and Gonsalves, F. A. N., (1987). The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the transroot potential and efflux of excised roots, *J. Exp. Bot.*, **38**, 800-817.

- Kılıç, C., Göksan, T., Ak, İ. and Gökpinar, Ş., (2006). İki farklı *Spirulina platensis* suşunun büyüme özelliklerinin karşılaştırılması, *E.U. Journal of Fisheries&Aquatic Sciences*, Cilt/Volume **23**, Sayı **1-2**, 189-192.
- Kıran, Y. ve Şahin, A., (2005). Kurşunun *Lens culinaris* medik. tohumlarının çimlenmesi, kök gelişimi ve kök ucu hücreleri üzerindeki mitotik etkileri, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* **18(1)**, 17-25.
- Klerks, P. L. and Fraleigh, P. C., (1997). Uptake of nickel and zink by the Zebra Mussel *Dreissenia polymorpha*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **32**, s, 16-17.
- Klimmek, S., Stan, H.J., Wilke, A., Bunke, G. and Buchholz, R., (2001). Comparative analysis of the biosorption of cadmium, lead, nickel and zinc by algae. *Environ. Sci. Technol.* **35**, 4283-4288.
- Kochert, G., (1978). *Carbohydrate determination by the phenol-sulfuric method*. In: J. A. Hellebust and J.S. Craigie (Editors), *handbook of physiological methods, physiological and biochemical methods*. Cambridge university press, London, pp. 189-195.
- Kürkçü, Y., (2001). *Kurşun nitrat (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) metal tuzunun Lepistes (Poecilia reticulata) üzerindeki akut toksik etkisinin araştırılması ve davranış değişimlerinin incelenmesi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül, Ankara .s, 5-6.
- Lane, S. D. and Martin, E. S., (1980). Further Observations on The Distribution of Lead in Juvenile Roots of *Raphanus sativus*. *Z. Pflanzen- Physiol.* **97**, 145-152.
- Larison, J.R., Likens, E., Fitzpatrick, J.W. and Crock, J.G., (2000). Cadmium Toxicity Among Wildlife In The Colorado Rocky Mountains. *Nature* **406**, 181-183.
- Lee, K.C., Cunningham, B.A., Chung, K.H., Paulson, G.M. and Laing, G.H., (1976). Lead Effect on Several Enzymes and Nitrogenous Compounds in Soybean Leaf. *J. Environ. Qual.*, 357-359.
- Levan, A., (1945). *Cytological reaction induced by inorganic salt solutions*. *Nature (London)* 751s.

- Lichtenthaler, H. K. and Wellburn, A.R. (1985). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.* **603**, 591-592.
- Liu, D.H., Jiang, W.S., Wang, W., Zhao, F.M. and Lu, C., (1994). Effects of lead on root growth cell division and nucleolus of *Allium cepa*. *Environ. Pollut.* **86**, 1-4.
- Lodi, A., Soletto, D., Solisio, C. and Converti, A., (2008). Chromium(III) removal by *Spirulina platensis* biomass, *Chemical Engineering Journal* **136**, 151-155.
- Lopez- Suarez, C.E., Castro- Romero, J.M., Gonzalezrodriguez, M.V., Gonzalez-Soto, E., Perez- Iglesias, J., Seco- Lago, H.M. and Fernandez- Solis, J.M., (2000). Study of the parameters affecting the binding of metals in solution by *Chlorella vulgaris*., *Talanta*., **50**, 1313-1318.
- Mallick, N., (2004). Copper- Induced oxidative stress in the chlorophycean microalga *Chlorella vulgaris*: Response of the antioxidant system. *J. Plant Physiol.*, **161**, 591-597.
- Manav, E., (2004). *Laboratuvar çaplı fotobiyoreaktörlerde siyonabakteri/mikroalglerin biyokütle ve metabolit üretimine etki eden parametrelerin incelenmesi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Biyomühendislik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, s. 2,36.
- Mcgrath, S. P. and Smith, S., (1990). Chromium and nickel In: Heavy metals in soils (Alloway, B.J., Ed). Wiley, New York. 125-150.
- Miranda, M.G. and Ilangovan, K., (1996). Uptake of lead by *Lemna gibba* L. influence on specific growth rate and basic biochemical changes. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **56**, 1000-1007.
- Mohan, B.S. and Hosetti, B.B., (1997). Potential phytotoxicity of lead and cadmium to *Lemna minor* grown in sewage stabilization ponds. *Environ. Pollution*, **9**, 233-238.
- Muse, J.O., Stripeikis, J.D., Fernandez, F.M., D'Huicque, L., Tudino, M.B., Carducci, C.N. and Troccoli, O.E., (1999). Seaweeds in the assessment of heavy metal pollution in the Gulf San Jorge, Argentina. *Environmental Pollution*., **104**, 315-322.

- Nakiboğlu, T. ve Sevindir, H.C., (2005). Deri endüstrisi atık sularından Cr(VI)'nin *Chlorella sp.* ve *Scenedesmus obliquus* ile biyosorpsiyonu, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi.
- Nalimova, A.A., Popova, V.V., Tsoglin, L.N. and Pronina, N.A., (2005). The Effects of copper and zinc on *Spirulina platensis* growth and heavy metal accumulation in its cells, *Russian Journal Of Plant Physiology Vol. 52 No. 2*.
- Oberlander, H. E., and Roth, K., (1978). The effect of heavy metal chromium, nickel, copper, zinc, cadmium, mercury and lead on the intake and deposition of calcium and phosphate in young barley plants. *J. Plant Nutr. Manure, Soil Sci. 141*, 107-116.
- O'connell, D.W., Birkinshaw, C. and O'dwyer, T.F., (2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A Review, *Bioresource Technology 99*, 6709-6724.
- Onyancha, D., Mavura, W., Ngila, J.C., Ongoma, P. and Chacha, J., (2008). Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algae biosorbents, *Spirogyra condensata* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Journal of Hazardous Materials: 158*, p, 605-614,
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaplan, H. (1995). *Toprak Bilimi Genel Yayın No: 73*, Ziraat Fakültesi Adana, s, 816.
- Özdiş, Ö., (2005). Krom (VI) birikiminin *Chlorella vulgaris*'te hücre sayısı, klorofil, büyüme hızı, protein ve şeker miktarlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi.
- Pagano, S.M., (2002). *Evsel Atıksularda Daphnia magna (Su Pireleri) İle Zehirlilik İzleme, Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi Cilt no 12, Sayı 1, Sayfa 7-16*.
- Pais, I. and Jones, J.B., (2000). *The Handbook Of Trace Elements*, published by St.Lucie Press Corporate Blud., N.W. Boca Raton FL 33431-9868, s. 97-98, 115-116.
- Pandit, B.R. and Prasannakumar, P.G., (1999). "Effect of metals on jowar (*Sorghum bicolor*) seedling growth-I germination, seedling growth and absorption of elements", *Pollut. Researc.*, **18**, 459-466.
- Patra, M., Bhowmik, N. and Bandopadhyay, A., (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the

- development of genetic tolerance. *Environmental And Experimental Botany.*, **52**, 199-223.
- Perez-Marin, A.B., Meseguer Zapata, V., Ortuno, J.F., Aguilar, M., Saez, J. and Llorens, M., (2007). Removal of cadmium from aqueous solutions by adsorption onto orange waste. *J. Hazard. Mater.* **136** (1), 122-131.
- Phillips, D.I.H., (1995). Bioaccumulation. In: *Handbook of Ecotoxicology. Blackwell Science, Oxford.*, **1**, 378-396.
- Pierzynski, G. M. and A. P. Schwab., (1992). Reducing heavy metal availability to soybeans grown on a metal contaminated soil. pp. 543-553. In L. E. Erickson, S. C. Grant, and J. P. McDonald (eds.), Proceedings of the conference on hazardous waste research, June 1-2, 1992, Boulder, CO. Engineering Extension, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Rai, L.C., Gaur, J.P. and Kumar, H.D., (1981). Phycology and heavy- metal pollution. *Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc.*, **56**, 99-151.
- Ramani, A. R., (1974). *Factors influencing separation of algal cells from waste pond effluents by chemical flocculation and dissolved air flotation. PhD Thesis, University of California, Berkeley.* p, 112-117.
- Ramel, C., (1973). The Effect of Metal Compounds on Chromosome Segregation. *Mut. Res.* **21**, 45-46.
- Raungsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, W.N., (2008). Removal of lead (Pb<sup>2+</sup>) by the Cyanobacterium *Gloeocapsa sp.* *Bioresource Technology* **99**, 5650-5658.
- Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., Thibault, J.F. and Le Cloirec, P., (2003). Cadmium And Lead Adsorption By A Natural Polysaccharide In MF Membrane Reactor: *Experimental Analysis And Modelling. Water Res.* **335** (13), 959-967.
- Rich, F., (1931). Notes on *Arthrospira platensis*. *Revue Agologique*, **6**, 75-9.
- Rodriguez, M. C., Barsanti, L., Passarelli, V., Evangelista, V., Conforti, V., and Gualtieri, P., (2007). Effects of chromium on photosynthetic and photoreceptive apparatus of the alga *Chlamydomonas reinhardtii*, *Environmental Research*, Volume **105**, **2**, p, 234-239.

- Romera, E., Gonza'Lez, F., Ballester, A., Bla'Zquez, M.L. and Munoz, J.A., (2007). Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae, *Bioresource Technology* **98**, 3344-3353.
- Round, F. E., (1973). *The Biology of Algae, 2nd. Ed., Edward Arnold, London.* p, 9-10.
- Sağlam, N. ve Cihangir, N., (1995). Ağır metallerin biyolojik süreçlerle biyosorbisyon çalışmaları, *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi* **11**, 157-161.
- Sarı, A., and Tuzen, M., (2008). Biosorption of total chromium from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*), *Journal of Hazardous Materials* **160**, 349-355.
- Schlösser, U.G., (1982). Sammlung von Algenkulturen. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, **95**, 181-276.
- Sharma, D.C., Chatterjee, C. and Sharma, C.P., (1995). Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Sci.*, **111**, 145-151.
- Sheng, P.X., Ting, Y-P., Chen, J.P. and Liang, H., (2004). Sorption of lead, copper, cadmium, zinc and nickel by marine algal biomass: Characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms. *Journal of Colloid and Interface Science.*, **275**, 131-141.
- Simkiss, K. and Taylor, G., (1995). Transport of metal across membranes. In: Tessier, A., Turner, D.R.(Eds.). *Metal speciation and bioavailability in aquatic systems.* , John, Wiley and Sons, Sussex, West. 1-44.
- Sing, S., Rai, B. and Rai, L., (2001). Ni (II) and Cr (VI) Sorption Kinetics by *microcystis in single and multimetallic system process Biochem.* **36**, 1205-1213.
- Singh, R.P., Tripathi, R.D., Sinha, S.K., Maheshwari, R. and Srivastava, H.S., (1997). Response of higher plants to lead contaminated environment. *Chemosphere*, **34**, 2467-2493.
- Singh, A., Kumar, D. and Gaur, J.P. (2007). Copper(II) and lead(II) sorption from aqueous solution by non-living *Spirogyra neglecta*, *Bioresource Technology* **98**, 3622-3629.

- Skeffington, R.A., Shewry, P.R. and Peterson, P.J., (1976). Chromium uptake and transport in barley seedlings (*Hordeum vulgare* L.). *Planta.*, **132**, 209-214.
- Srivastava, P. C. and Gupta, U, C., (1996). Trace elements in crop production. Science publishers, Inc., Lebanon, NH. p, 87-88.
- Solisio, C., Lodi, A., Soletto, D. and Converti, A., (2008). Cadmium biosorption on *Spirulina platensis* biomass, *Bioresource Technology* **99**, 5933-5937.
- Stevenson, R., Bothwell, L. and Lowe, L., (1996). Algal ecology. Freshwater benthic ecosystems, p, 241-243.
- Şeker, A., Shahwan, T., Eroğlu, E.A., Yılmaz, S., Demirel, Z. and Dalay, M.C., (2008). Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies for the biosorption of aqueous lead(II), cadmium(II) and nickel(II) ions on *Spirulina platensis*, *Journal of Hazardous Materials* **154**, 973-980.
- Thurman, D.A., (1981). *Mechanism of metal tolerance in higher plants. In: Effect of heavy metal pollution on plants. LEPP, N:V: (Ed.) Applied science publishers, London, England, 239-249.*
- Tien, C. J., (2002). Biosorption of metal ions by freshwater algae with different surface characteristics. *Process biochemistry*, **38**, 605-613.
- Xylander, M. and Braune, W., (1994). Influence of lead on the green algae *Haematococcus lacustris* rostafinski in phases of its life cycle. *J. Plant Physiol.*, **144**, 86-93.
- Volesky, B., (1990). *Biosorption of heavy metals. CRC press, Boston, USA. p. 408.*
- Vonshak, A., (1997). *Morphology, ultrastructure and taxonomy of Arthrospira (Spirulina): The basic concept. (L.Tomoselli editör). Spirulina platensis (Arthrospira) physiology, cell-biology and biotechnology. Taylor and Francis Ltd. Great Britain, pp. 1-15.*
- Wallace, A., Soufi, S., Cha, J. and Romney, E., (1976). Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil. **44**, 471-473.
- Wang, X.S., Li, Z.Z. and Tao, S.R., (2009). Removal of chromium (VI) from aqueous solution using *Spirogyra* sp., *Journal of Environmental Management* **90**, 721-729.

- Wiegand, H.J., Ottenweilder, H. and Bolt, H.M., (1985). Fast uptake kinetics in vitro of  $^{51}\text{Cr}$  ( VI) by red blood cells of man and rat. Arch. Toxicol., **57**, 31-34.
- Wong, P.T.S., Maguire, R.J., Chau, Y.K. and Kramar, O., (1984). Uptake and accumulation of inorganic tin by a freshwater alga, *Ankistrodesmus falcatus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. **41**, 1570-1574.
- Wong, P.K. and Chang, L., (1991). Effects of copper, chromium and nickel on growth, photosynthesis and Chlorophyll a synthesis of *Chlorella pyrenoidosa* 251. Environmental Pollution. **72**, 127-139.
- Yazıcı, H., (2007). *Marrubium globosum ssp. globosum* bitkisi ile sulu çözeltilerden Cr ve  $\text{Cu}^{2+}$  iyonlarının biyosorpsiyonunun incelenmesi, Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi, Isparta. s, 5-6.
- Yılmaz, A.B., Toker, T., Sayın, S. ve Doğanay, Ş., (2006). *Spirulina platensis* (Cyanophyta) 'in gelişimine selenyum'un etkisi, Mustafa Kemal Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, s, 2-3.
- Zengin, F.K., (2006). Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L. cv. Strike*) kök, gövde ve yaprak büyümesi üzerine nikel ( $\text{Ni}^{+2}$ ) ve krom'un ( $\text{Cr}^{+3}$ ) etkileri, s, 3-4.
- <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kur>, (12.12.2008)
- <http://ansiklopedi.turkcebilgi.com/Krom>, (12.12.2008)
- <http://www.kimyaevi.org/elementler/krom/krom.asp>, (11.12.2009)
- <http://www.cyanotech.com/pdfs/spirulina/sptl21.pdf>, (15.12.2008)