

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İŞLENMEMİŞ KANALİZASYON SUYU İLE SULANAN
Lactuca sativa L. (MARUL) BİTKİSİNDE FOTOSENTETİK
PİGMENT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

ŞEYHMUS BOZAN

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

2017

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞLENMEMİŞ KANALİZASYON SUYU İLE SULANAN
***Lactuca sativa* L. (MARUL) BİTKİSİNDE FOTOSENTETİK PİGMENT VE**
AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Şeyhmus BOZAN
Yüksek Lisans Tezi
Biyoloji Anabilim Dalı

Bu tez 21/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy
çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr.Gonca KESER
BAŞKAN (DANIŞMAN)

Doç.Dr. Çiğdem IŞIKALAN
ÜYE

Doç.Dr. Ahmet Zafer TEL
ÜYE

Prof.Dr. Ramazan GÜRBÜZ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından desteklenmiştir.
Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İŞLENMEMİŞ KANALİZASYON SUYU İLE SULANAN *Lactuca sativa* L. (MARUL) BİTKİSİNDE FOTOSENTETİK PİGMENT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Şeyhmus BOZAN

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Gonca KESER
Yıl: 2017, Sayfa Sayısı: 41

Jüri : Doç. Dr. Gonca KESER
: Doç. Dr. Çiğdem IŞIKALAN
: Doç. Dr. Ahmet Zafer TEL

Bu çalışmanın amacı 30 gün süreyle Adıyaman'ın baraja döküleceği yerden alınan işlemde geçmemiş genel kanalizasyon suyunun farklı derişimleri (0, 25, 50, 75 ve % 100) ile sulanan *Lactuca sativa* L. (marul) bitkisinin bazı fizyolojik özellikleri ile bitkinin organlarındaki ağır metal (kadmiyum, kurşun, bakır, çinko ve nikel) içeriklerinin araştırılmasıdır. Bu amaçla çalışmada bitkinin yaprak ve kök uzunluğu ölçülmüş, kuru madde miktarı ve fotosentetik pigment içeriği belirlenmiştir. Bitkinin yaprak ve kök kısmının ağır metal içeriği ayrıca bitkinin yetiştirildiği toprağın da ağır metal içerikleri analiz edilmiştir. Yaprak uzunluğu en fazla % 100 derişimde görülürken, 25, 50, % 75 derişimlerinde bitkilerin kuru madde miktarında artış belirlenmiştir. Kontrol bitkilerinin yapraklarında Cr, Cu, Ni, Zn analiz sonuçlarında belirlenirken 25, 50 ve % 75 derişimlerinde Cr, Cu, Zn ve Ni miktarlarında ise kontrole göre artışlar belirlenmiştir. Bitkinin kök kısımlarında kontrole göre artışlar bulunmuş ve Cu içeriğindeki artış önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Bitkilerin yetiştirildiği toprakta ise kanalizasyon suyu derişimine bağlı olarak Cd hariç ağır metal içerikleri artmıştır ($P<0.05$).

Sonuç olarak işlenmemiş kanalizasyon suyu ile sulanan *Lactuca sativa* L.'nin büyüme parametrelerinde, bazı fizyolojik özelliklerinde, bitki organlarında ve yetiştirilen toprakta ağır metal içeriklerinde önemli değişimler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metal İçeriği, Büyüme Parametreleri, Kanalizasyon Suyu, *Lactuca sativa* L., Toprak

ABSTRACT

MSc THESIS

**DETERMINING CONTENTS OF PHOTOSYNTHETIC
PIGMENTS AND HEAVY METAL CONTENT IN *Lactuca sativa* L.
THAT IRRIGATED BY UNTREATED WASTE WATER**

Şeyhmus BOZAN

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

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gonca KESER

Year: 2017, Number of pages: 41

Jury : Assoc. Prof. Dr. Gonca KESER

: Assoc. Prof. Dr. Çiğdem İŞIKALAN

: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Zafer TEL

The aim of that research is to search some physiological features and heavy metals such as Cadmium, Lead, Copper, Zinc and Nickel in organs of the lettuce *Lactuca Sativa* L. that is irrigated with different concentrations (0,%25,%50,%75 and %100) of unprocessed sewage water for about 30 days. In that research, by this way, the plant's leaf and root length has been measured, the amount of dry matter and photosynthetic pigment contents have been detected. The plant's heavy metal content of leaf and root and the soil in which the plant is grown has been analyzed. While the max leaf length is observed at %100 concentration, it is determined that the amount of dry matter of plants have increased at %25, 50 and 75 concentration rates. Determining Cr, Cu, Ni, Zn at leaves of examination plants in analysis results, at %25, %50 and %75 concentrations, Cr, Cu, Zn and Ni increase in a controlled environment. According to controls, there was found increasing at some parts of plants root and significant increase in Cu content.($P<0.05$) Depending upon sewage concentration, there was increasing at amount of heavy metal except for Cd in soil for plants.

As a result, there are significant changes were determined in growth parameters of *Lactuca Sativa* L. that irrigated by untreated sewage, some physiological properties, plants organs and heavy metal contents in cultivated soil.

Key Words: Heavy Metal Contents, Growth Parameters, Waste Water, *Lactuca sativa* L., Soil

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Gonca KESER'e araştırmanın her aşamasında gösterdiği sabır, özveri ve yardımları için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan başta Doç. Dr. Ahmet Zafer TEL, Doç. Dr. Yusuf SEVGİLER, Doç. Dr. Özgür FIRAT olmak üzere Biyoloji bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Ayrıca tezi bitirmem konusunda sürekli beni motive eden ve desteğiyle yanımda olan Dicle Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Doktora öğrencisi Nazenin Fidan başta olmak üzere tüm değerli arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Hayatımın her döneminde desteğiyle hep yanımda olan, başarılarımı destekleyen, maneviyatıyla bütünleştirip beni zirveye taşıyan değerlim Yıldız Tilbe'ye sonsuz sevgim ve teşekkürüm hiç bitmez.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ailemin her bir üyesine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Şeyhmus BOZAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Atık Suyun Özellikleri.....	2
1.1.1. Atık su kaynakları.....	2
1.1.2. Atık su akışının özellikleri.....	3
1.1.3. Atık suların bileşenleri.....	3
1.2. Ağır Metaller.....	6
1.2.1. Ağır metallerin genel özellikleri.....	6
1.2.2. Ağır metal kirliliğine neden olan etmenler.....	6
1.2.2.1. Doğal etmenler.....	6
1.2.2.2. Tarımsal etmenler.....	7
1.2.2.3. Endüstriyel etmenler.....	7
1.2.2.4. Evsel etmenler.....	7
1.2.3. Ağır metaller ve bitki metabolizması üzerine etkileri.....	7
1.2.3.1. Krom (Cr).....	7
1.2.3.2. Çinko (Zn).....	8
1.2.3.3. Bakır (Cu).....	8
1.2.3.4. Kadmiyum (Cd).....	9
1.2.3.5. Kurşun (Pb).....	9
1.2.3.6. Nikel (Ni).....	10
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1. Araştırmada kullanılan bitki materyali.....	13

3.1.2. Deneylelerde kullanılan çözeltiler.....	14
3.1.3. Analizlerde kullanılan cihazlar.....	15
3.2. Yöntem.....	15
3.2.1. <i>Lactuca sativa</i> tohumlarının çimlendirilmesi ve uygulama ortamı.....	15
3.2.2. Bitki örneklerinin analizlere hazırlanması.....	15
3.2.3. Büyüme parametrelerinin ölçümleri.....	16
3.2.4. Yaprakların fotosentetik pigment konsantrasyonunun analizi.....	16
3.2.5. Yaprak ve kök uzunlukları.....	16
3.2.6. Yaprak ve köklerde ağır metal analizleri.....	17
3.2.7. Büyüme toprağının ağır metal analizleri.....	17
3.3. İstatistiksel Analizler.....	17
4. BULGULAR.....	18
4.1. Sulama Suyunda Bulunan Elementlerin Derişimleri.....	18
4.2. <i>L. sativa</i> bitkisinin morfolojik görüntüleri.....	18
4.3. <i>L. sativa</i> Yaprak ve Kök Uzunlukları.....	22
4.4. <i>L. sativa</i> Yaprak ve Köklerinde Su İçeriği ve Kuru Madde Miktarı.....	22
4.5. <i>L. sativa</i> Yapraklarında Fotosentetik Pigment Miktarı.....	23
4.6. <i>L. sativa</i> Yapraklarında Ağır Metal Miktarı.....	24
4.7. <i>L. sativa</i> Köklerinde Ağır Metal Miktarı.....	25
4.8. Bitkinin Yetiştirildiği Toprakların Ağır Metal Miktarı.....	25
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	27
KAYNAKLAR.....	33
ÖZGEÇMİŞ.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1	Deney materyali marul (<i>Lactuca sativa</i> L.) bitkisi.....	14
Şekil 4.1	Uygulama yapılmadan önce <i>L. sativa</i> 'nın genel görünüşü.....	19
Şekil 4.2.	30 gün süreyle çeşme suyu ile sulanmış <i>L. sativa</i> bitkisinin genel görünüşü.....	19
Şekil 4.3.	30 gün süreyle % 25 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış <i>L. sativa</i> bitkisinin genel görünüşü.....	20
Şekil 4.4.	30 gün süreyle % 50 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış <i>L. sativa</i> bitkisinin genel görünüşü.....	20
Şekil 4.5.	30 gün süreyle % 75 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış <i>L. sativa</i> bitkisinin genel görünüşü.....	21
Şekil 4.6	30 gün süreyle % 100 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış <i>L. sativa</i> bitkisinin genel görünüşü.....	21

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Atık sulardaki kirleticiler ve bileşikler ve onların tarımsal kullanım yoluyla potansiyel etkileri.....	4
Çizelge 4.1. Sulama suyunda bulunan elementlerin konsantrasyonları (n=4).....	18
Çizelge 4.2. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa yaprak ve köklerinin uzunlukları (cm).....	22
Çizelge 4.3. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa yaprak ve köklerindeki su içeriği ve kuru madde içeriği (%).....	23
Çizelge 4.4. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa yapraklarında fotosentetik pigment içeriği (mg/g T.A.).....	24
Çizelge 4.5. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa yapraklarında ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ K.A.)..	24
Çizelge 4.6. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa köklerinde ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ K. A.).....	25
Çizelge 4.7. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan L. sativa topraklarının ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ K. A.)...	26

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A: Ölçülen absorbans değeri

Ag: Gümüş

ALA: Analiz Limitinin Altında

B: Bor

BOD: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (Biochemical Oxygen Demand)

C°: Santigrat Derece

Ca: Kalsiyum

Cd: Kadmiyum

Cl: Klor

cm³: Santimetreküp

Co: Kobalt

CO₂: Karbondioksit

COD: Kimyasal Oksijen İhtiyacı (Chemical Oxygen Demand)

Cr: Krom

Cu: Bakır

EC: Elektriksel iletkenlik

Fe: Demir

g: Gram

HCl: Hidroklorik Asit

HClO₄: Perklorik Asit

Hg: Civa

HNO₃: Nitrik Asit

K: Potasyum

KA: Kuru Ağırlık

kg: Kilogram

Kl-a: Klorofil-a

Kl-b: Klorofil-b

Mg: Magnezyum

mg: Miligram

ml: Mililitre

Mn: Mangan

Mo: Molibden

N: Azot

Na: Sodyum

Ni: Nikel

Nm: Nanometre

P: Fosfor

Pb: Kurşun

pH: Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)

ppm: Milyonda bir- 1/1000000 (parts per million)

ROT: Reaktif oksijen türleri

TA: Taze Ağırlık

TDS: Total Çözünmüş Katılar

WHO: Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization)

Zn: Çinko

µg: Mikro gram

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusunun yaşamsal su ihtiyacı için arz ve talep arasındaki uçurum giderek büyümektedir. Dünyanın bazı bölgelerinde bu durum insan varlığını tehdit edecek düzeylere ulaşmıştır. Dünya çapında bilim adamları su tasarrufunda yeni yollar üzerinde çalışmaktadırlar. Suyun geri dönüşüm yollarından biri sulama ve diğer amaçlar için kentsel atık suyun yeniden kullanılmasıdır. Genel olarak atık sular günlük üretim ve tüketim aktivitelerinin sonucu olarak evsel, sanayi ve ticari işletmeler tarafından oluşturulan sıvı atıkları içerir. Atık suların bertaraf edilmesi özellikle boşaltımı ve işlemden geçirilmesi için ihtiyacı olan karasal alanı sınırlı metropolitan bölgelerde en büyük problemdir. Diğer yandan atık sular besin maddeleri içerdikleri için su kültürlerinde, tarımda ve diğer aktivitelerde de kaynak olarak kullanılabilir (Hussain vd. 2002).

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde, en yaygın uygulama şekli şehir atık sularının (muameleden geçmiş veya geçmemiş) karasal alanlara uygulanmasıdır. Çevre standartlarını uygulayan gelişmiş ülkeler de atık suların çoğu yem, lif ve çeşitli bitki tohumlarının sulanmasında kullanmak amacı ile önce işlemden geçirilir; bunun yanı sıra sınırlı ölçülerde meyve bahçeleri, üzüm bağları ve diğer ürünlerin sulanmasında kullanılır. Diğer önemli kullanım alanları; peyzaj (çevre düzenlenmesi, golf sahaları, çocuk oyun alanları, bahçelerde ve parklarda), sanayi, inşaat toz kontrolü, yaban hayatı yaşamının iyileştirilmesi ve su kültürleri olarak sıralanabilir. Gelişmemiş ülkelerde atık su kullanımında standartlar belirlenmiş olmasına rağmen genellikle bu kurallara uyulmaz. Ön işlemden geçirilmemiş şekliyle atık sular yaygın olarak tarımda ve su kültürlerinde kullanılmaktadır ve Çin, Hindistan ve Meksika gibi ülkelerde yüzyıllardır uygulanmaktadır (Hussain vd. 2002).

Bu yüzden atık su hem kullanılabilir bir kaynak hem de problem olarak kabul edilebilir. Atık su ve onun besin içeriği, sulama ve diğer ekosistem hizmetleri için yaygın olarak kullanılmasına rağmen insan ve ekolojik sisteme negatif etkileri de olmaktadır (Hussain vd. 2002).

Atık suların yeniden kullanımı diğer bir çok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de artan bir ilgi görmektedir. Ayrıca atık su ile sulama, yüzey ve yeraltı sularına doğrudan boşaltılarak oluşturulan kirliliği azaltmak açısından, çevresel bağlamda atık yönetimi olarak görülmektedir (Mohammad ve Mazahreh 2003). Bunun yanında atık su, bitki

besin ve organik madde içeriğinden dolayı kurak alanlarda gübreleme ve verimliliği koruma açısından değerli bir kaynaktır. Ancak, atık su uygun biçimde arıtılmaz ve yönetilmez ise tarımsal sulamada yeniden kullanımı çevresel problemleri de beraberinde getirebilir.

Türkiye'nin bazı illerinde olduğu gibi Adıyaman ilimizde de şehir merkezinden uzak yerleşim yerlerinde evlerin yakınından geçen ve herhangi bir ön arıtma işleminden geçmemiş atık sular çeşitli sebze yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır. Bu sular gübre işlevi görerek bitkinin besin ihtiyacını karşılarken aynı zamanda su ihtiyacını gidermektedir. Ancak bu sular bitkinin ihtiyacı olan besin elementlerini içermesinin yanı sıra bitkinin beslenmesi için gerekli olmayan bazı ağır metalleri de bulundurmaktadır. Bitki, yaşamı için zorunlu olan besin maddelerini topraktan alırken aynı zamanda sulama suyu ile toprağa karışan ağır metalleri de bünyesine almaktadır. Bitkinin gelişim sürecinde topraktan aldığı ağır metallerin büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkileyerek bitkisel üretimi sınırladığı bilinmektedir. Bunun yanında toprak kirliliğine neden olarak toprak ekosistemini de olumsuz etkilemektedir. Atık suların arıtılmadan sulama suyu olarak kullanılması, besin zinciri yoluyla bu sebzeleri tüketen insanların sağlığını da tehdit etmektedir.

Sunulan bu çalışmada, Adıyaman merkez ilçesinin yetersiz kanalizasyon sistemi nedeniyle bütün atık suların Atatürk Barajı'na boşaltıldığı kısımdan alınan su örneklerinden, farklı konsantrasyonlarda sulandırma yapılarak plastik saksılarda halkın besin olarak sıkça tükettiği *Lactuca sativa* (L.) (marul) bitkisi yetiştirilecektir. Bitkinin hasadından sonra yenilebilen kısımlarda ve yetiştirme ortamı olan toprakta yapılacak analiz sonuçlarına göre, atık suyun bitkinin bazı fizyolojik özellik ve büyüme parametrelerinde meydana gelebilecek değişikliklerin yanı sıra bitkinin kök ve yenilebilen kısımlarında, ayrıca yetiştirme toprağında ağır metal analizleri yapılacak ve sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilecektir.

1.1. Atık Suyun Özellikleri

1.1.1. Atık su kaynakları

Genel olarak kentsel atık sular; evsel, sanayi atık sularından, yağmur sularından ve belediyenin kanalizasyon ağına giren yeraltı suyu sızıntılarından oluşur. Evsel atık sular, kurumlar, çeşitli ticari işletmeler ve evlerden gelen deşarj akıntılarından oluşur.

Endüstriyel atık sular ise üretim birimleri ve gıda işletme tesislerinin gider akıntılarında oluşur (Hussain vd. 2002).

1.1.2. Atık su akışının özellikleri

Genel olarak belediye atık su sistemlerine giren evsel atık suyun akış miktarı gün içinde değişmektedir (Asano vd. 1985). Bu akış miktarı, günün erken saatlerinde daha düşük olurken, genellikle günün geç saatlerinde ise en yüksek akış miktarına ulaşmaktadır. İkinci olarak en fazla yüklü akış miktarı akşam yemeğinden sonra meydana gelmektedir. Bununla beraber en fazla akış yükünün oranı, kanalizasyon sisteminin uzunluğu ve toplumun boyutunun büyüklüğü ile tersi olarak değişebilir. Festival, dini ritüeller, bayramlar, turist sezonları ve büyük üniversite kampüslerinde akış miktarı zirve düzeyine ulaşabilmektedir (Hussain vd. 2002).

1.1.3. Atık suların bileşenleri

Atık suların bilinen bileşenlerine rağmen toplumdan topluma bu bileşenlerde farklılık görülebilmektedir. Bütün kentsel atık sularda bulunan bileşen grupları aşağıda sıralanmıştır.

Organik maddeler

Besin maddeleri (Azot, fosfor, potasyum)

İnorganik maddeler (Çözülmüş mineraller)

Toksik kimyasallar

Patojenler

Çizelge 1.1. Atık sulardaki kirleticiler ve bileşikler ve onların tarımsal kullanım yoluyla potansiyel etkileri

Kirletici bileşenleri	Parametreler	Etkileri
Bitki Besin Elementleri	N, P, K vs.	- Aşırı N: Azotun neden olduğu aşırı vejetatif büyüme, büyüme ve olgunlaşma döneminin gecikmesi, çiftçilerin ürün kaybına neden olması. - Aşırı N ve P: İstenmeyen sucul bitkilerin aşırı büyümesi (ötrafikasyon). N sızıntılarının neden olduğu yeraltı sularının kirlenmesi ile insan sağlığının ve çevrenin olumsuz etkilenmesi.
Askıda katı madde	Uçucu bileşikler, çöken, askıda ve çöken kolloidal kirlilikler	Anaerobik şartların oluşmasına neden olan çamurların birikimi, fiskiye gibi sistemlerin ve sulama ekipmanlarının tıkanması.
Patojenler	Virüsler, bakteriler, parazit yumurtaları, dışkı koliform bakterileri	Bulaşıcı hastalıklara neden olabilir.
Biyobozunur organikler	BOD, COD	Yüzey suyunda çözünmüş oksijenin azalması, septik şartlar, uygun olmayan yaşam ve çevre şartları, balık ölümleri ve humus oluşumu

Çizelge 1.1. (devam)

Kirletici bileşenleri	Parametreler	Etkileri
Kararlı Organikler	Fenoller, pestisidler, klorlu hidrokarbonlar	Uzun peryotlarda çevreye toksik olan maddeler
Çözünmüş İnorganik Maddeler	TDS, EC, Na, Ca, Mg,Cl, B.	Tuzluluğa ve birbiriyle ters ilişkili etkilere neden olurlar, fitotoksisite, toprak yapısının geçirgenliğinin etkilenmesi
Ağır Metaller	Cd, Pb, Ni, Zn, Ag, Hg ve vs.	Sucul organizmalarda (balık ve fitoplanktonlar) birikim, Bitki ve hayvanlarda birikim, bitkilerle sistemik olarak alım, insan ve hayvanlar tarafından yenmesi, atık suyun sulama için uygun olmayan hale getirilmesi.
Hidrojen iyon konsantrasyonu	pH	Özellikle endüstriyel atık sularda endişe oluşturur, alkalite ve asitlik nedeniyle bitki büyümesini olumsuz etkiler, toprak fauna ve florasını olumlu etkileri olabilir.
Üç kere işlemde geçirilmiş atık sudaki Cl kalıntıları	Cl hem serbest hem de diğer maddelerle bileşik oluşturur.	Yeraltı ve yüzey sularının kirliliği (organik bileşik kalıntılarının Cl ile etkileşimi sonucu organokloridli bileşiklerden meydana gelen kanserojenik etkiler), sera etkisi

(Asano vd. 1985).

Atık suların en son bileşimi kaynağa ve kaynağın özelliğine bağlıdır.

1.2. Ağır Metaller

1.2.1. Ağır metallerin genel özellikleri

Ağır metaller ana kayada ve maden cevherlerinde doğal olarak bulunduğu canlılarda, sulara, sedimentte ve toprakta da doğal olarak bulunmaktadır (Alloway ve Ayres 1993). Ağır metallerin birçoğuna bitki, büyüme ve gelişmesi için iz miktarlarda gerek duyarken, ancak bu metallerin bitkiler tarafından fazla alınması toksik etkiye neden olmaktadır. Bu metaller Cu, Mn, Zn, Fe, Ni ve Co olarak sıralanabilir. Bunun yanında bitkinin yaşamı için ihtiyaç duymadığı Cd, Pb, Hg ve Cr gibi toksik metaller de antropolojik yollarla ekosistemlere dahil olurlar. Bu metallerin bitkiler tarafından alınımı bitki türüne, bitki organına, bitkinin gelişim evresine, metalin bulunduğu ortamdaki miktarına ve hareketliliğine bağlıdır (Bergmann 1992). Ağır metallerin kimyasal özellikleri farklı olduğundan yüksek teknolojide kullanıldığı gibi günlük hayatta antropolojik işlerde, makinalarda ve elektronik alanında da kullanılmaktadır (Alloway ve Ayres 1993).

Sanayi aktiviteleri ve evsel atıkların oluşturduğu kanalizasyon suları ve çamurlanmış atıklar ağır metallerin başlıca kaynaklarıdır. Sanayi kaynaklı ağır metaller Pb, Cd, Ni, Cu ve Zn dir. Bu metallerin yarattığı en önemli sorun, sulama suyuna karışıp besin zinciri yoluyla insanlara geçme olasılığıdır (Dinges 1982).

Madencilik, evsel veya endüstriyel katı, gaz ve sıvı atıkları, pestisit ve yapay gübre kullanımı, boya sanayi ve araba eksoz gazları gibi çeşitli yollardan doğaya salınan toksik konsantrasyonlardaki ağır metaller bitkilerde fizyolojik ve biyokimyasal strese neden olduğundan büyüme ve gelişmeyi sınırlamasının yanı sıra verim kalitesini de azaltmaktadır (Shanker vd. 2005). İz besin elementi olsun ya da olmasın ağır metallerin, atmosferde ve çeşitli ekosistemlerde belirlenen değerin üzerinde bulunması, bütün canlıların yaşamı için ciddi tehlike oluşturmaktadır (Benavides vd. 2005).

1.2.2. Ağır metal kirliliğine neden olan etmenler

1.2.2.1. Doğal etmenler

Sel, rüzgar ve yağmur gibi iklim faaliyetleri nedeniyle ağır metaller ana kayadan aşınarak sulak ekosistemlere taşınmaktadır. Toprak ve doğal su kaynaklarına ağır metallerin bulaşması sonucunda buralarda yaşayan canlı grupları ciddi oranlarda zarar

görmektedir. Ağır metaller hava, toprak ve su gibi ortamlarda organik ve inorganik bileşiklerle kimyasal bağlar kurarak, ligant denilen kompleks bileşikleri meydana getirmektedirler (Salamons ve Förstner 1995).

1.2.2.2. Tarımsal etmenler

Tarımsal uygulamalarda ağır metaller genellikle yabancı otlar ve herbivorlara karşı geliştirilen yeni tarım ilaçlarının, pestisid ve fungusidlerin yapımında kullanılmaktadır. Örneğin bakır, mangan ve çinko fungusit; kurşun ve arsenik ise meyvelerdeki böcek zararlılarını önlemek amacıyla insektisitlerde kullanılmaktadır. Ağır metallerin bir kısmı da bitkiler için besin maddesi olarak tarımsal gübrelerde bulunmaktadır (Alloway ve Ayres 1993). Tarla bitkilerine uygulanan fosfat gübrelerinin de yüksek derişimlerde Cd içerdiği bulunmuştur (He ve Singh 1994).

1.2.2.3. Endüstriyel etmenler

Çevre kirliliğinin en büyük nedenlerinden olan metal sanayisinde ağır metaller yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin çinko, pirinç (bakır- çinko alaşımı) eldesinde, demirin galvanizlemede, pil sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Diels ve Mergeay 1990).

1.2.2.4. Evsel etmenler

İnsan kaynaklı ağır metal kirliliği ise çevre kirliliğinin esas nedenlerinden biri olarak düşünülmektedir. Kentsel atık suların önemli bir kısmını oluşturan evsel atık sularda ağır metal kirliliğine neden olanlar arasında temizlik maddeleri ve deterjanlar özellikle ilk sıralarda yer almaktadır (Alloway ve Ayres 1993).

1.2.3. Ağır metaller ve bitki metabolizması üzerine etkileri

1.2.3.1. Krom (Cr)

Dünyada en fazla bulunan elementlerden biri olan Cr (Cervantes vd. 2001) metal ve kimya endüstrisi gibi alanlarda çok fazla kullanıldığından bileşikleri çevreye hızla yayılmaktadır. Bitki yaşamı için gerekli olmayan ve bitkiler için toksik olan Cr (7.2 g/cm^3) (Dixit vd. 2002) toprak, su ve havada bulunmaktadır. Herhangi bir şekilde kirlenmemiş topraklarda Cr konsantrasyonu ana kayaya bağlı olarak 10-50 mg/kg

aralığında bulunmaktadır (Zayed ve Terry 2003). Kromun bir çok fitotoksik formları bulunmaktadır. Cr(VI), en toksik formu olup; kromat veya dikromat formunda genellikle oksijen ile ilişkili olarak meydana gelmektedir. Büyük oranda toksik bir metal olan Cr hücre membran zararlarına, organellerde yapısal değişimlere, metabolik aktivitede bozulmalara, büyüme ve gelişmede inhibisyona neden olmaktadır (Kimbrough vd. 1999). Aşırı krom konsantrasyonuna maruz kalan bitkilerde oluşan tekli oksijen (singlet), süperoksit anyonu, hidroksil radikali ve hidrojen peroksit gibi reaktif oksijen türleri (ROT) lipitler, proteinler ve DNA gibi yaşamsal moleküllerde oksidatif hasara sebep olabilmektedir (Vajpayee vd. 2001). Tohum çimlenmesi ve fide gelişimini inhibe etmekte, besin ve su dengesini değiştirmekte, fotosentetik pigmentlerde bozulmalara ve antioksidant enzimlerin aktivitesinde değişimlere sebep olmaktadır (Choudhury vd. 2005, Ali vd. 2011).

1.2.3.2. Çinko (Zn)

Bitkilerde Zn çok çeşitli ve önemli metabolik işlevlere sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezi, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membranların kararlılığına etkileri nedeniyle bitkinin ürün verimini ve kalitesini doğrudan etkilemektedir (Rout ve Das 2003). Çinko, yoğun endüstri alanlarından bırakılan atık sularla, kanalizasyon sularıyla ve asit yağmurları aracılığıyla toprağa ulaşmaktadır (Vaillant vd., 2005). Zn'nin topraktaki derişimi 10-300 ppm, bitkilerdeki derişimi 5-100 ppm arasındadır. Bitkide görülen bozulmalar ise genellikle 400 ppm'den sonra meydana gelmektedir (Özbek vd. 1995).

Bitkilerde Zn sürgünlerde zayıf gelişim, köklerde incelme, genç yapraklarda kıvrılma, klorozis, hücre organellerinin parçalanması ve fotosentetik pigmentlerde azalma gibi büyüme parametrelerinde değişimlere yol açabilmektedir (Rout ve Das, 2003).

1.2.3.3. Bakır (Cu)

Bitki yaşamı için önemli bir element olan Cu, enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipit metabolizmasında yer alır. Antropojenik etkiler nedeniyle oluşan Cu kirliliği, tarımsal uygulamalarda pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır. Kirlenmemiş

toprakta 100 ppm, bitki kuru maddesinde ise 15-30 ppm'den fazla bakır toksik etki yapmaktadır (Kacar ve Katkat 2006). Genellikle bitkideki toksisite kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitkinin yapısındaki fotosentez, protein sentezi, solunum, iyon alımı veya hücre membran kararlılığı gibi birçok metabolik olaylarda değişime neden olur (Sosse vd. 2004).

1.2.3.4. Kadmiyum (Cd)

Yaşayan organizmalar için toksik olan Cd'un karasal ekosisteme girişi ve yayılımı endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, evsel atıklar ve atmosferik birikimler aracılığıyla gerçekleşmektedir (Haktanır 1987). Toprakta 3 ppm, bitki kuru maddesinde ise 1 ppm'den fazla Cd toksik etki göstermektedir (Özbek vd. 1995). Topraklara bulaşan Cd'un çoğu havadaki toz partiküllerinde bulunan Cd'un çökmesi ile olmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu ana yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda m²'ye 0.2-1.0 mg Cd ilavesinin olduğu belirlenmiştir (Haktanır 1987). Bitkilerde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirerek bir çok fizyolojik olayda değişime neden olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, fotosentezi inhibe etmekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve fotosentetik pigment biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır (Sheoran vd. 1990). Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu 2005). Aşırı Cd konsantrasyonuna maruz kalan bitkilerde görülen su ve dolayısıyla iyon alımının azalmasının nedeni kök büyüme ve gelişiminin inhibe edilmesidir. Ayrıca yapraklarda stomaların kapanması nedeniyle transpirasyonla suyun atmosfere verilmesi sınırlandırılmakta ve böylece Cd taşınımı önlenmektedir (Salt vd. 1995).

1.2.3.5. Kurşun (Pb)

Binlerce yıldan beri insanlar tarafından kullanılan Pb, dünyadaki bütün gelişmiş ülkelerin ekonomisinde büyük rol oynamaktadır. U.S.'de Pb'nin endüstriyel amaçlarla tüketimi her yıl için 1.3 milyon ton olduğu tahmin edilmekte ve kirleticiler ile çevreye 600.000 ton Pb emisyonu gerçekleşmektedir (Landis ve Yu 2004).

Pb önemli fonksiyonel grup olarak hareket ettiğinden birçok enzimin (bunların bazıları fotosentez ve ve azot için önemlidir) aktivitesini etkiler. Pb'ye maruz kalan bitkilerde hidrolitik enzimlerin ve peroksidazların aktivitesinin değıştiğı, senesenste bir artış olduğı belirlenmiştir. Bitkilerde Pb'ye maruz bırakılan denemelerde çözünebilir protein ve serbest amino asit içeriğinde de artış gözlenmiştir (Lee vd. 1976).

1.2.3.6. Nikel (Ni)

Bitkiler için gerekli elementlerden biri olarak kabul edilen nikelin tarım topraklarındaki konsantrasyonu genelde çok azdır. Ancak, serpantin gibi ultra bazik püskürük kayalardan oluşan toprakların Ni içeriğı 100-5000 mg Ni/kg arasında değışmektedir (Kacar ve Katkat 2006). Nikel kömür (10-15 mg Ni/kg), petrol (49-345 mg Ni/kg), çelik, alaşım üretimi, galvaniz ve elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Kritik toksik düzey toprakta 100 mg/kg, duyarlı bitkilerde >10 µg/g kuru madde ve orta düzeyde duyarlı bitlilerde ise > 50 µg/g kuru maddedir (Özbek vd. 1995). Nikel, diğere bileşiklerle kolaylıkla şelat oluşturması nedeniyle, bitkilerdeki enzimlerde ve fizyolojik aktif merkezlerde bulunan metallerle yer değıştirir. Nikel, üreaz ve hidrogenaz enzimlerinin metal yapı maddesidir. Bu nedenle Ni içerikleri az olan bitkiler üre şeklinde uygulanan azotlu gübrelerden yararlanamadıkları gibi üre bu bitkilerde toksik etki yapmaktadır (Kacar ve Katkat 2006).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Atık sular ile sulanan tarımsal alanlarda toksik maddeler ve çoklu kirleticilerin yol açtığı problemler üzerine son yıllarda çok fazla çalışma yapılmaktadır. Kanalizasyon sularının içerdiği toksik miktarlardaki ağır metallerin bitkilerin çeşitli kısımlarında birikmesi bazı yaşamsal öneme sahip fizyolojik ve biyokimyasal işleyişlerini etkileyerek fotosentez üretimini engellemekte aynı zamanda bu bitkileri besin olarak tüketen insanlarda sağlık riskleri oluşturmaktadır.

Truby ve Raba (1991), atık su ile suladıkları yapraklı sebzelerde Zn, Cd ve Pb konsantrasyonunu meyveli sebzelere göre daha yüksek bulmuşlardır. Yine kanalizasyon suyu ve temiz su ile sulanan iki farklı alanda yetiştirilen sebze bitkilerinin metal içeriği araştırılmış ve kirli su ile sulanan bitkilerde, çinko miktarı daha fazla bulunurken, Cd oranı ise her iki alanda aynı oranda belirlenmiştir.

Mc Kenna vd. (1993), çinko ve kadmiyumun marul ve ıspanaktaki oranları ile ilgili çalışmalarında kadmiyumun yaşlı yapraklarda daha fazla biriktiğini tespit etmişlerdir.

Farklı bölgelerde yetiştirilen taze sebzelerde biriken ağır metal içeriğinin, toprağın ağır metal konsantrasyonuyla ilişkili olduğu, aynı bölgede yetiştirilen yapraklı sebzelerin metal konsantrasyonunun daha fazla olduğu ve hatta maruldaki toksik maddelerin bazen sınırı bile aştığı belirlenmiştir (Venter 1993).

Brallier vd. (1996), 16 yıl boyunca fosseptik maddeler ile sulanan topraklarda yetiştirilen mısır, patates, domates ve lahana gibi bitkilerin metal içeriğinin analizinde 16 yıl sonra bile bu bitkilerin alabileceği metal miktarının halen toprakta bulunduğunu, ancak toprak kireçlenmesi ile bu metallerin büyük oranda alımının azaldığını çalışmaları ile ortaya koymuşlardır.

Colocasia esculentum, *Brassica nigra* ve *Raphanus sativus* ile yapılan çalışmada, araştırmacılar bitkileri sürekli kanalizasyon suyu ile sulanan bölgeden toplamışlardır. Sulama sularında metal içeriği düşük olmasına rağmen bitkilerde bu oranlar yüksek bulunmuştur. Analiz sonuçlarında metal birikim yönü toprakta Fe>Pb>Mn>Cr>Cd şeklinde olmuştur (Gupta vd. 2010).

Shadma ve Pandey (2010)'in yaptıkları çalışmada, kanalizasyon suyunun % 50 sulandırarak uyguladıkları marul bitkisinde kuru madde miktarı, klorofil a, b ve şeker

miktarlarında artış, aksine sulandırma yapılmayan uygulamada ise azalma belirlenmiştir.

Parashar ve Prasad (2013), yedi farklı bölgeden alınan kanalizasyon suyu ile sulanmış ıspanak, lahana, pancar kökü, bamya, domates ve salatalık bitkilerinde kanalizasyon suyunun etkisini araştırmışlardır. Sulama suyundaki Cd hariç diğer ağır metaller Fe, Cu, Zn ve Pb izin verilen limitlerin (WHO) altında bulunmuştur. Benzer şekilde topraktaki ağır metal konsantrasyonu, bütün ağır metaller için belirlenen Hindistan standart limitlerinin altında bulunmuştur. Fakat Cd, standart değerlerin çok üzerinde belirlenmiştir. Bununla birlikte ıspanağın yenebilen kısımlarında Cd konsantrasyonu Hindistan standart değerlerinin üzerinde tespit edilmiştir.

Jhamaria vd. (2015a), Hindistan'ın yarı kurak bölgesi Rajasthan'da yaptıkları çalışmada, atık su ile sulama sonucunda toprakta ve sebzelerde ağır metal birikimini incelemişlerdir. Yapılan analizler sonucunda toprakta Pb ve Ni izin verilen limitlerin altında bulunurken Cr ve Cd izin verilen limitlerin (WHO/FAO) üzerinde bulunmuştur. *Spinacia oleracea*, *Solanum lycopersicum*, *Abelmoschus esculentus* ve *Solanum melogena*'da yüksek konsantrasyonlarda ağır metal birimi tespit edilmiştir. Bütün sebzeler arasında en yüksek birikim *Spinacia oleracea*'da belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Araştırmada kullanılan bitki materyali

Marul (*Lactuca sativa* L.), papatyagiller (Asteraceae) ailesinden geniş yeşil yapraklı, yıllık veya altı aylık bir ılıman iklim sebzesidir. Genelde yaprakları salata olarak kullanılmaktadır. Sütü bir su içermesi nedeniyle Latincedeki ismi *lactis* (süt) kökünden türetilmiştir. Tek yıllık serin iklim bitkisidir. Yetiştirme süresi 2-3 ay gibi olup marul çeşitlerinde açıkta ve örtü altında değişik mevsimlere uygun olarak art arda olmak üzere yılın 12 ayı üretim yapılabilmektedir.

Lactuca sativa L.'nin Sistematik'te Yeri

Alem: Plantae (Bitkiler)

Şube: Spermatophyta

Bölüm: Magnoliophyta (Kapalı tohumlular)

Sınıf : Magnoliopsida (İki çenekliler)

Takım : Asterales

Familiya: Asteraceae (Papatyagiller)

Cins : *Lactuca*

Tür : *Lactuca sativa* L.



Şekil 3.1 Deney materyali marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisi

3.1.2. Deneylerde kullanılan çözeltiler

Aseton Çözeltisi

L. sativa yenebilen yapraklarında fotosentetik pigment içeriğini belirlemede % 100'lük asetonla (Sigma-Aldrich % 99) yapraklar homojenize edilmiştir.

Numunelerin Homojenizasyonunda kullanılan çözeltiler

HNO₃ (Sigma-Aldrich % 65).....Derişik

HClO₄ (Sigma-Aldrich %70).....Derişik

HCl (Sigma-Aldrich % 37).....Derişik

Bitki organlarında ve toprakta bulunan metal miktarlarını belirlemek amacıyla örnekleri sıvılaştırmada kullanılmıştır.

3.1.3. Analizlerde kullanılan cihazlar

Spektrofotometre: SHIMADZU UV-1800

Hassas Terazi: OHAUS Pioneer PA214C

Distile Su Cihazı: Millipore Rios 8.

ICP- OES : Perkin Elmer Optima 5300 DV

Hotplate: markası

Desikatör

3.2. Yöntem

3.2.1. *Lactuca sativa* tohumlarının çimlendirilmesi ve uygulama ortamı

Bu çalışmada bitkisel materyal olarak halkın salata olarak tükettiği marul bitkisi kullanılmıştır. Tohumlar paketlenmiş halde alınmış ve içinde temiz toprak bulunan plastik saksılarda çimlendirilmiştir. Çimlendirme sırasında çeşme suyu kullanılmıştır. Fideler 4 yapraklı olduğunda iyi olanlar (6 yada 7 fidan adet) seçilerek saksılara dikilmiştir. Çimlenme ve yetiştirme işlemleri, bahçe ortamında mayıs ve haziran aylarında gündüz $33\pm 2C^{\circ}$, gece $22\pm 2C^{\circ}$ hava sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Gün ışığına maruz kalma süresi ise yaklaşık 13 saat gündüz 11 saat gece olarak belirlenmiştir. Bitkiler 30 gün boyunca işlemde geçmemiş farklı konsantrasyonlarda (0, 25, 50, 75 ve %100) kanalizasyon suyu ile gün aşırı (500 ml) sulanmıştır. Kontrol saksını sulamak için çeşme suyu kullanılmıştır. Farklı derişimler hazırlanırken seyreltme için çeşme suyu kullanılmıştır. 30 günlük uygulamadan sonra marullar analiz işlemleri için topraktan sökülerek deney sonlandırılmıştır.

3.2.2. Bitki örneklerinin analizlere hazırlanması

Açık hava şartlarında ve plastik saksılarda 30 gün süreyle farklı konsantrasyonlarda kanalizasyon suyu ile yetiştirilen *L.sativa* bitkileri toprak ve toz kalıntılarında arındırmak için önce çeşme suyu ile daha sonra distile su ile yıkanarak kurutma kağıdı ile suları alınıp çalışılacak parametreler için hazır hale getirilmiştir. Bitkiler kök, gövde ve yaprak kısımlarına ayrılmıştır.

3.2.3. Büyüme parametrelerinin ölçümleri

Bitkinin yaprak ve kök kısımları ayrılarak, ölçümlere hazır hale getirilmiştir. Kuru madde ve su içeriği belirlenmiştir. Bunun için bütün halinde topraktan sökülen bitkiler çeşme suyu ve distile su ile yıkanıp kurutma kağıdı ile üzerindeki sular alındıktan sonra kök ve yaprak kısımlarına ayrılmış ve hemen taze ağırlıkları tartılıp kaydedilmiştir. Daha sonra bitki kısımları etüvde 70°C de 24 saat bırakılmıştır. Etüvden çıkartılan kuru numunelerin kuru ağırlıkları tartılarak aşağıda verilen formüle göre % su içeriği belirlenmiştir (Horwitz 1970).

% Su içeriği: (Taze Ağırlık-Kuru Ağırlık) / Taze Ağırlık X 100

3.2.4. Yaprakların fotosentetik pigment konsantrasyonunun analizi

Taze yaprak örnekleri (100 mg) 10 ml % 100'lük asetonla porselen havanda homojenize edildikten sonra mavi bant filtre kağıdı kullanılarak süzölmüş ve son hacim 10 ml olacak şekilde % 100'lük asetonla tamamlanmıştır. Örneklerin ağzı kapatılarak çalkalanır ve bir gece buzdolabında bekletilir (bekletilme, analiz işlem basamakları uzun olduğu içindir, reaksiyon üzerinde herhangi bir etkisi yoktur). Ertesi gün bekletilen örnekler klorofil a 662 nm, klorofil b 645 nm ve total karoten ise 470 nm'de UV Spektrofotometresinde (UV1800 Shimadzu) %100 asetona (tanık) karşı absorbans değerleri okunmuştur (Arnon 1949). Hesaplamalar Lichtenhaler ve Wellburn (1985) tarafından aşağıda verilen formüllere göre yapılmıştır.

Klorofil-a (Kl-a) = (11.75×A662 – 2.35×A645) ×10 / mg T A

Klorofil-b (Kl-b) = (18.61×A645 – 3.96 ×A662) ×10 /mg T A

Karotenoit = (1000×A470 – 2.27 × Kl a – 81.4×Kl b / 227 ×10/ mg T A

A: Ölçülen absorbans değeri

TA: Taze ağırlık.

3.2.5. Yaprak ve kök uzunlukları

Saksılarından sökülüp yıkanan bitki örneklerinin suları alındıktan sonra yaprak ve kök kısımlarının uzunlukları cetvelle ölçülüp kaydedilmiştir.

3.2.6. Yaprak ve köklerde ağır metal analizleri

Desikatöre alınan kurutulmuş bitki örnekleri öğütüldükten sonra HNO_3 ve HClO_4 (5:1 v/v) asit karışımında 250 ml'lik erlenlerde ağız kısımları petrilerle kapatılarak bir gün önceden ıslatılmıştır (25 ml) Isısı ayarlanabilen hot plate üzerinde renkli buharlar kayboluncaya kadar bırakılmış, daha sonra biraz ısı yükseltilmiş ve şeffaf çözelti durumuna gelinceye kadar mineralizasyon işlemine devam edilmiştir. Daha sonra beher içinde kalan örnekler 15 ml'ye saf su ile sulandırıldıktan sonra mavi bant filtre kağıdı ile süzölmüş sonra ağır metal içerikleri ICP- OES (Perkin Elmer Optima 5300 DV) cihazında ölçölmüştür (Allen vd. 1986).

3.2.7. Büyüme toprağının ağır metal analizleri

Büyüme toprağının ağır metal analizleri için toprak dış ortamda kurutulduktan sonra (hava kurusu) porselen havanda ezilip toz haline getirilip 2mm göz açıklığına sahip elekten geçirilmiştir. Elenen örneklerden 1 gr alınıp 250 ml'lik beherlere konmuş üzerlerine 3:1 Hidroklorik asit:Nitrik asit (kral suyu, aqua regia) karışımından 25 ml eklenip ağızları kapatılıp bir gece bekletilmiştir. Isısı ayarlanabilen hot-plate üzerinde mineralizasyon işlemine bırakılmıştır. İşlem çözelti şeffaf oluncaya kadar devam etmiş ve beher içinde kalan sıvılaştırılmış örnekler 15 ml'ye saf su ile tamamlandıktan sonra sonra mavi bant filtre kağıdı ile süzölmüş sonra ağır metal içerikleri ICP- OES (Perkin Elmer Optima 5300 DV) cihazında ölçölmüştür (Baker and Amacher 1982).

3.3. İstatistiksel Analizler

Bu araştırmada tanımlanan grupların karşılaştırılması SPSS 11.5 paket programında tek yönlü varyans analizi (one way anova) ile yapılmıştır. İstatistik analiz sonucunda çıkan $P < 0.05$ önem dereceleri çizelgelerde farklı harf konularak belirtilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada geniş yeşil yapraklı, genelde yaprakları salata olarak çiğ tüketilen *Lactuca sativa*, 0, 25, 50, 75 ve %100 oranlarına seyreltilmiş kanalizasyon suyu ile sulanarak 30 günlük bir zaman periyodu içerisinde yetiştirilmiştir. Uygulamalardan sonra marul bitkisinin büyüme parametreleri, bazı fizyolojik özellikleri ve ağır metal içerikleri belirlenerek alınan ölçüm sonuçları aşağıda verilmiştir. Analizler sonucu ortaya çıkan sayısal değerlerin istatistiksel analizleri yapılarak $P<0.05$ 'e göre önem dereceleri belirlenmiştir

4.1. Sulama Suyunda Bulunan Elementlerin Derişimleri

L. sativa bitkisinin sulanması için kullanılacak olan suyun ağır metal derişimleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Zn dışında kalan metallerin değerleri analiz ölçüm değerlerinin altında kaldığı için belirlenememiştir.

Çizelge 4.1. Sulama suyunda bulunan elementlerin konsantrasyonları (n=4)

Element	Derişim (mg/L)
Cd	-
Pb	-
Cr	-
Ni	-
Cu	-
Zn	0.071

4.2. *L. sativa* bitkisinin morfolojik görüntüleri

İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarında yetiştirilen *L. sativa* bitkilerinin genel görüntüleri şekil 4.1, 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Gruplar karşılaştırıldığında veya tek tek değerlendirildiğinde *L. sativa* bitkisinin morfolojik görünüşünde anormallik belirlenmemiştir.



Şekil 4.1. Uygulama yapılmadan önce *L. sativa*'nın genel görünüşü



Şekil 4.2. 30 gün süreyle çeşme suyu ile sulanmış *L. sativa* bitkisinin genel görünüşü



Şekil 4.3. 30 gün süreyle % 25 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış *L. sativa* bitkisinin genel görünüşü



Şekil 4.4. 30 gün süreyle % 50 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış *L. sativa* bitkisinin genel görünüşü



Şekil 4.5. 30 gün süreyle % 75 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış *L. sativa* bitkisinin genel görünüşü



Şekil 4.6. 30 gün süreyle % 100 konsantrasyonunda kanalizasyon suyu ile sulanmış *L. sativa* bitkisinin genel görünüşü

4.3. *L. sativa* Yaprak ve Kök Uzunlukları

İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonları ile 30 gün süre ile sulanan *L. sativa* 'nın yaprak ve kök uzunlukları çizelge 4.2' de verilmiştir.

Yapılan gözlem ve alınan sonuçlara göre *L. sativa* yaprak uzunluklarında kontrole göre gruplar arasında belirgin artışlar belirlenmiştir ($P<0.05$). 25 ve %100 kanalizasyon suyu derişimlerinde artışlar sırasıyla, 16 ve % 19 olarak bulunmuştur. Kök uzunluklarında ise kontrole göre % 75 kanalizasyon suyu derişiminde yetiştirilen bitkinin kök uzunluğundaki % 25 azalma ve % 100 deki derişimdeki değere göre % 100 deki % 18 azalma istatistiki olarak önemli görülmüştür ($P<0.05$).

Çizelge 4.2. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* yaprak ve köklerinin uzunlukları (cm)

Derişim	Yaprak Uzunluğu (cm)	Kök Uzunluğu (cm)
Kontrol	11.32±0.10 a	9.22±0.09 ac
%25	13.22±0.56 b	9.37±0.55 ac
%50	12.10±0.30 ab	10.15±0.68 a
%75	11.60±0.50 a	6.90±0.48bc
%100	13.50±0.70 b	8.32±0.32 c

Değerler aritmetik ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir (n=4). Derişimler arasındaki farklılık harfler ile gösterilmiştir. Farklı harfler değerler arasında istatistiki fark olduğunu göstermektedir ($P<0.05$)

4.4. *L. sativa* Yaprak ve Köklerinde Su İçeriği ve Kuru Madde Miktarı

Farklı derişimlerdeki işlenmemiş kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* yaprak ve köklerindeki su içeriği ve kuru madde miktarı ve istatistiksel değerlendirmeleri Çizelge 4.3' de verilmiştir. Kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisinde bırakılan marul bitkisinin yaprak su içeriklerinde kontrole göre 25, 50 ve % 75 kanalizasyon suyu derişimlerinde sırasıyla 0.6, 1.4 ve % 1.5 düzeyinde istatistiksel olarak önemli azalmalar kaydedilmiştir. % 100 derişimindeki azalma kontrole göre önemli bulunmamıştır. ($P>0.05$). Kuru madde miktarlarında ise artışlar önemli bulunmuştur. *L. sativa* 'nın kök su ve kuru madde içeriklerinde ise kaydedilen azalma istatistiksel olarak önemsiz olarak değerlendirilmiştir ($P>0.05$).

Çizelge 4.3. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* yaprak ve köklerdeki su ve kuru madde içeriği (%)

Derişim	Yaprak		Kök	
	Su miktarı %	Kuru madde %	Su miktarı %	Kuru madde %
Kontrol	94.01±0.13 c	5.98±0.13 a	93.44±0.10 a	6.55±0.10 a
%25	93.38±0.16 b	6.61±0.16 b	93.38±0.17 a	6.61±0.17 a
%50	92.68±0.10 a	7.31±0.10 c	93.50±0.47 a	6.49±0.47 a
%75	92.54±0.22 a	7.30±0.19 c	92.52±0.49 a	7.47±0.49 a
%100	93.81±0.35 bc	6.18±0.17 ab	93.18±0.50 a	6.81±0.50 a

Değerler aritmetik ortalama ± standart hata olarak verilmiştir (n=4). Derişimler arasındaki farklılık harfler ile gösterilmiştir. Farklı harfler değerler arasında istatistiksel fark olduğunu göstermektedir (P<0.05)

4.5. *L. sativa* Yapraklarında Fotosentetik Pigment Miktarı

Farklı derişimlerdeki işlenmemiş kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* yapraklarında belirlenen klorofil-a, klorofil-b, total karoten miktarları istatistiksel değerlendirmeleri Çizelge 4.4' de verilmiştir.

İşlenmemiş farklı derişimlerdeki kanalizasyon suyunun etkisine maruz bırakılan *L. sativa* yapraklarında belirlenen klorofil a, klorofil b ve total karotenoid miktarlarında gruplar arasında artma ve azalma şeklinde değişimler görülmüştür. Konsantrasyonlar arasında kontrole göre % 75 derişiminde klorofil a'da % 36, klorofil b'de % 66 ve total karotenoid'de ise % 50 düzeyinde bir artış görülse de istatistiksel olarak belirgin bir farkın olmadığı görülmüştür (P>0.05).

Çizelge 4.4. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* yapraklarında fotosentetik pigment içeriği (mg/g Taze ağırlık)

Derişim	Fotosentetik Pigment		
	%	Klorofil- a	Miktarı (mg/g TA)
		Klorofil- b	Karotenoid
Kontrol	0.25±0.02 a	0.06±0.00 a	0.08±0.00 a
%25	0.26±0.01 a	0.07±0.00 a	0.09±0.00 a
%50	0.32±0.03 a	0.08±0.01 a	0.11±0.01 a
%75	0.34±0.05 a	0.10±0.01 a	0.12±0.01 a
%100	0.26±0.04 a	0.07±0.01 a	0.10±0.01 a

Değerler aritmetik ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir (n=4). Derişimler arasındaki farklılık harfler ile gösterilmiştir. Farklı harfler değerler arasında istatistiki fark olduğunu göstermektedir (P<0.05)

4.6. *L. sativa* Yapraklarında Ağır Metal Miktarı

Farklı konsantrasyonlardaki işlenmemiş kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* yapraklarında belirlenen ağır metal içerikleri Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

İşlenmemiş farklı derişimlerdeki kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* yapraklarında Cd ve Pb içerikleri ölçülebilen limit değerlerin altında bulunmuştur. % 100 kanalizasyon suyu konsantrasyonunda yetiştirilen bitkide Cr belirlenememiştir. Ağır metal değerleri bakımından gruplar arasında istatistiki olarak önemli bir fark görülmemiş ve (P>0.05) gruplar arasında önemli bir fark göstermediğinden harflendirme yapılmamıştır.

Çizelge 4.5. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* yapraklarında ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ Kuru Ağırlık)

Derişim	Cd	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn
%						
Kontrol	ALA	ALA	4.84±0.32	5.99±0.20	3.84±0.30	33.11±2.26
%25	ALA	ALA	5.12±0.45	6.09±1.12	4.01±0.07	34.56±0.98
%50	ALA	ALA	5.41±0.59	6.11±0.36	4.22±0.19	36.81±3.37
%75	ALA	ALA	6.03±0.39	6.19±0.56	4.54±0.39	37.08±0.90
%100	ALA	ALA	ALA	5.23±0.15	5.06±0.58	32.11±2.86

Değerler aritmetik ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir (n=3).P<0.05 düzeyinde önemlidir. ALA: Analiz Limitinin Altında

4.7. *L. sativa* Köklerinde Ağır Metal Miktarı

İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisindeki *L. sativa* köklerinde belirlenen ağır metal içerikleri Çizelge 4.6' da verilmiştir.

İşlenmemiş farklı derişimlerdeki kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* köklerinde Cd ve Pb içerikleri analiz limitlerinin altında bulunduğu için çizelgede verilmemiştir. Cr ve Cu da gruplar arasında önemli fark bulunmuştur ($P<0.05$). Cr da 75 ve % 100 kanalizasyon suyu derişimlerinde kontrole göre sırasıyla 29.45 ve % 55.57 artış belirlenmiştir. Cu da ise kontrole göre artışlar 25, 50, 75 ve % 100 derişimlerinde sırasıyla 7, 39, 48 ve % 92 olmuştur. Zn ve Ni'deki % 100 kanalizasyon suyundaki artma yönündeki değişimler sırasıyla % 47.22 ve % 15.22 olmuştur. Ancak bu değişimler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Ni ve Zn değerlerinde gruplar arasında istatistiki fark bulunmadığından harflendirme yapılmamıştır.

Çizelge 4.6. İşlenmemiş kanalizasyon farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* köklerinde ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ K. A)

Derişim (%)	Cr	Ni	Cu	Zn
Kontrol	6.01±0.79 a	10.84±0.52	5.21±0.37 a	63.35±9.36
25	6.90±0.38 a	11.10±0.88	5.60±0.63 ab	67.91±6.32
50	7.15±0.41 a	11.80±0.49	7.27±0.31 bc	70.36±6.66
75	7.78±0.39 ab	12.45±0.24	7.72±0.28 c	75.62±6.52
100	9.35±0.78 b	12.49±0.26	10.01±1.08 d	93.27±4.28

Değerler aritmetik ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir ($n=3$). Farklı harfler değerler arasında istatistiki fark olduğunu göstermektedir ($P<0.05$)

4.8. Bitkinin Yetiştirildiği Toprakların Ağır Metal Miktarı

İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisindeki *L. sativa* yetiştirilen topraklarda belirlenen ağır metal içerikleri Çizelge 4.7' de verilmiştir. İşlenmemiş farklı derişimlerdeki kanalizasyon suyunun etkisindeki *L. sativa* yetiştirilen topraklarda Cd içerikleri ölçülebilen limit değerlerin altında bulunmuştur ve tabloda gösterilmemiştir. Cr ve Ni kontrole göre 75 ve % 100 kanalizasyon suyu derişimindeki topraklardaki belirlenen değerler önemli bulunmuştur ($P<0.05$). Cr da 75 ve % 100 derişimlerinde kontrole göre artış sırasıyla 13.52 ve % 18.83 olmuştur. Ni'de ise 75 ve

% 100 derişimlerinde ise sırasıyla 11.94 ve % 23.08 olmuştur. 50, 75 ve % 100 kanalizasyon suyu derişimlerinde Pb, Cu ve Zn değerlerindeki artışlar kontrole göre istatistiki olarak belirgin bir fark bulunmuştur ($P<0.05$). Pb'de 50,75 ve % 100 derişimlerinde kontrole göre sırasıyla 443, 616 ve % 726; Cu'da 36,99 ve % 111; Zn da ise sırasıyla 17, 22 ve % 29 artışlar belirlenmiştir.

Çizelge 4.7. İşlenmemiş kanalizasyon suyunun farklı konsantrasyonlarının etkisine 30 gün bırakılan *L. sativa* topraklarının ağır metal miktarı ($\mu\text{g/g}$ K. A.)

Derişim	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn
%					
Kontrol	2.14±0.09 a	85.12±1.49 a	201.95±3.47 a	7.94±0.22 a	32.88±0.52 a
25	3.20±0.53 a	89.00±3.96 ab	209.35±8.00 ab	8.51±0.35 a	35.63±2.00 ab
50	11.64±1.49 b	93.82±5.57 abc	211.96±11.85 ab	10.82±0.62 b	38.79±2.43 bc
75	15.34±1.75 c	96.63±2.60 bc	226.08±3.90 b	15.81±0.35 c	40.16±0.49 bc
100	17.68±0.81 d	101.15±1.99 c	248.58±6.4 5c	16.81±0.69 c	42.53±0.94 c

Değerler aritmetik ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir ($n=4$). Farklı harfler değerler arasında istatistiki fark olduğunu göstermektedir ($P<0.05$)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Evsel ve sanayi atık sularının tarımsal alanlarda gübre olarak kullanılması özellikle yarı kurak bölgelerde ve şehirlerin merkezden uzak yerleşim yerlerinde yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Uygulamasına yasal olarak izin verilmesi de yerel halk, işlemden geçmemiş bu suları bahçelerindeki sebzeleri sulamak için kullanmaktadır. Daha da ileri giderek kanalizasyon derelerinin yanındaki boş arazilerini de sebze yetiştirerek değerlendirmektedir. Bu uygulamalar sonucu atık sularda aşırı miktarda bulunan toksik metaller alımın yoluyla bitkilere taşınmakta, bitkilerin büyüme ve gelişmesini olumsuz şekilde etkilediği gibi bitkinin bazı kısımlarında birikerek insanların besin olarak tüketmesiyle dolaylı olarak hayvan ve insanlara da taşınmaktadır.

Atık sular düşük düzeylerde ağır metal (Pb, Cd, Cr, Ni ve Zn) içermelerine rağmen toprak ve bitki örneklerinde birikim nedeniyle daha yüksek değerler gösterirler (Keser 2013). Sunulan çalışmada da sulama için kullanılan kanalizasyon suyundaki ağır metal miktarı bitki kısımları ve topraktakinden daha düşük bulunmuştur (Çizelge 4.1).

Ağır metal toksisitesi birçok bitki türünde genel olarak büyümenin anormalleşmesine ve engellenmesine neden olmaktadır. Metal birikiminin yüksek düzeyleri bitkilerin vejetatif ve üreme gelişimini etkilemektedir (Singh ve Aggarwal 2005). Vishnu vd. (2008) *Hibiscus esculentus*'un çimlenme, büyüme ve ağır metallerin birikimi üzerine, endüstriyel atık sularla yaptıkları çalışmada bitkinin çimlenmesi büyük oranda engellenmiştir. Ancak vejetatif büyümesi, ürün ve protein içeriğinde önemli değişiklik görülmezken bitkinin farklı kısımlarında yüksek ağır metal içeriği gözlenmiştir. Cd' un etkisinin araştırıldığı çalışmada yan kök oluşumunun engellendiği ana kökte ise sertleşme, bükülme ve kahverengileşme meydana geldiği saptanmıştır (Yadav 2010, Rascio and Navari-Izzo 2011). Ammar vd. (1999)'nin *Triticum aestivum* ile yaptıkları çalışmada endüstriyel atık suların düşük konsantrasyonlarda bitkide pozitif etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Sunulan çalışmada önceki çalışmalara benzer şekilde, temiz toprak kullanıldığı ve sulama suyunda ağır metal birikimi düşük düzeyde olduğundan ve birinci defa sulama yapıldığından bitkinin genel görünümünde önemli değişim görülmemiştir. Ancak büyüme parametrelerinden yaprak uzunluğunda % 100 kanalizasyon suyu derişiminde bitkide % 19 artış belirlenirken kök uzunluğunda ise % 25 azalma saptanmıştır. Sulama suyunda organik bileşiklere bağlı halde bulunan azot

bitkinin boy uzunluğunu arttırırken, sulama suyundaki ağır metaller ise kök gelişimini engelleyerek kök uzunluğunda azalmaya neden olmuş olabilir.

Araştırmacılar Cd^{2+} ve Pb^{2+} maruz bırakılan bitkilerde su miktarında ve terlemede azalma olduğunu bulmuşlardır (Ahrend vd. 1997; Vassilev vd. 1997). Farklı mekanizmalar bu değişikliklerin temelini oluşturur. Birincisi; yaprak alanının küçülmesi ve sonuç olarak da büyümede gecikme görülmesidir (Barcelo vd. 1988). İkincisi; Cd^{2+} ve Pb^{2+} a maruz bırakılan bitki yapraklarında bekçi hücreleri daha az sayıda olurken normal durumlarda daha fazladır (Breckle 1991). Üçüncüsü; Cd^{2+} ve Pb^{2+} hücre turgorunu ve hücre çeper elastikiyetinin sürekliliğini sağlayan bileşiklerin içeriğini azaltır (Lane vd 1978; Breckle 1991). Böylece azalan su potansiyeli büyümenin engellemesine neden olur (Barcelo vd. 1986; Leita vd. 1995). Bir diğeri; bu toksik metaller absisik asit (ABA) içeriğini arttırır ve böylece stomalarda kapanma meydana gelir (Hollenbach vd. 1997). Sonuncusu; düzensiz solunum ve oksidatif fosforilasyon bitkide su düzeninin bozulmasına sebep olur ve daha uzun periyotta ağır metallere maruz bırakılması sonucu oluşan su stresi prolin üretiminde artışa neden olur (Schat vd. 1997). Yapılan çalışmada bitkinin yenebilen kısımları olan yapraklarında su içeriğinde kontrole göre % 75 kanalizasyon suyu derişimindeki bitkide % 1.5 azalma belirlenirken, kuru madde miktarında ise % 50 kanalizasyon suyu derişimindeki bitkide % 22 artış tespit edilmiştir. Sulama suyundaki kanalizasyon suyunun derişimindeki artışa bağlı olarak kuru madde miktarında azalma belirlenmiştir.

Ağır metaller fotosentetik pigment içeriğini ve dolayısıyla fotosentez düzeyini de etkilemektedir. Fotosentez oranının azalmasına kloroplastların ultrayapısının bozulması, klorofil, plastokinon ve karotenoid sentezinin sınırlandırılması, Calvin döngüsünün enzim aktivitelerinin inhibe edilmesi ve stomaların kapanmasından dolayı meydana gelen CO_2 eksikliği neden olmaktadır (Seregin ve Ivanov 2001). Düşük klorofil içeriği tipik Pb^{2+} etkisidir. Özellikle klorofil b, klorofil a' dan daha fazla etkilenmektedir (Vodnik vd. 1999). Bunun nedeni klorofil sentezleyen enzimlerin engellenmesi Mg ve Fe eksikliğindedir (Prasad ve Prasad 1987). Çünkü ağır metaller (Hg, Cu, Cd, Ni, Zn ve Pb) klorofilin merkezi atomu olan Mg ile yer değiştirmekte ve bitkide hasar meydana getirmektedir. Bu yer değiştirmeden etkilenen klorofil molekülünün fotosentetik ışık hasatı engellenmekte ve fotosentezde azalma ortaya çıkmaktadır. Işık şiddetine bağlı olarak reaksiyon değişir, düşük ışık saçılmasında

klorofilin bütün merkez atomları, ağır metalle birleşir ve Mg-klorofil birleşmesinden daha stabil olurlar. Bu durumda bitkiler ölü oldukları zaman bile yeşil görünürler (Kupper vd. 1996). Rehman vd. (2011) yaptıkları bir çalışmada *Lycopersicon esculentum cv. Navodaya* (domates) bitkisini 10, 20, 30 ve 40 µg kadmiyuma bırakılmış ve total klorofil içeriğinin arttığı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Aynı çalışmada bitki biyomasının yüksek Cd dozlarında azaldığı rapor edilmiştir. Al-Absi ve Khalid (2008)'nin işlemde geçmiş sanayi atık sularıyla sulanan üç zeytin çeşidi ile çalışma yapmışlardır. Nabali ve geliştirilmiş Nabali çeşitlerinde toplam klorofil içeriği sulama işleminden etkilenmemiştir. Sunulan çalışmamızda ise fotosentetik pigment içeriğinde derişimler arasında artma ve azalma yönünde değişimler belirlense de bu değişimler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Düşük değerdeki artış ve azalışların da sulama suyundaki ağır metal içeriğinin düşük olmasından kaynaklanabilir.

Bitkiler doğal olarak metalleri topraktan alırlar. Bunlardan bazıları Cu^{2+} , Co^{2+} , Fe^{2+} , Mo^{2+} , Mn^{2+} ve Zn^{2+} gibi zorunlu olan bitki besin elementleridir. Oysaki Hg^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} ve Pb^{2+} gibi birkaç tanesi bitkiler için toksiktir. Toksik doz iyon çeşidine, iyon konsantrasyonuna, bitki türüne, iyona maruz kalma süresine ve bitkinin büyüme dönemine bağlıdır (Memon ve Schröder 2009). Yapraklı sebzelerin metal alımındaki farklılıklar bitkilerin ağır metallere toleransındaki farklılıklara dayandırılmaktadır (Itanna 2002). Yapraklı sebzeler ve kök sebzelerinin baklagillere göre daha fazla metal biriktirebildiği bildirilmiştir (Alexander vd 2006).

Bitkilerin yaşamı için zorunlu olan bakır, Mn, Fe ve Zn içeriklerine göre daha azdır. Cu içeriği bitkilerin çeşidine, organların yaşına, gelişme ortamında bulunan Cu konsantrasyonuna ve çeşitli çevre faktörlerine bağlı olarak değişim göstermektedir (Kacar ve Katkat 1998). Keser (2013)'in *L. sativum* ve *E. sativa* ile yaptığı çalışmada Cu içeriği kontrole göre önemli artışlar göstermiş sırasıyla % 50 ve 15 düzeylerinde artış görülmüştür. Sunulan çalışmada ise temiz su ortamında yetişen bitkilerde Cu^{2+} , yapraklarda 3.84 µg/g bulunmuş, bu değer artan kanalizasyon suyu konsantrasyonuna bağlı olarak artmıştır. % 100 kanalizasyon suyu konsantrasyonunda 5.06 µg/g düzeyine yükselmiştir. Artma % 31 düzeyinde olmuştur. Ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Parashar ve Prasad (2013), 7 farklı bölgeden ve hem atık su ile sulanmış hem de işlemde geçmiş atık su ile sulanmış ıspanak, lahana, kırmızı pancar, kırmızı turp,

domates, salatalık ve bamya örnekleri toplayarak ağır metal içeriklerini belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar işlemde geçmiş ve işlemde geçmemiş kanalizasyon suyu kullanılması sebzelerin yenebilen kısımlarında Cd ve Pb miktarını artırdığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar yapraklı veya köklü sebzelerin yenebilen kısımlarında ağır metal biriktirme oranlarının depo organlarından ve meyvelerinden daha fazla olduğunu göstermiştir (Sharma vd. 2008). Sunulan çalışmada bitkinin yenebilen kısımları olan yapraklarında Cd ve Pb belirlenemezken Zn, Ni ve Cr konsantrasyonu kontrolden başlayarak % 75 konsantrasyonuna kadar artarak devam etti. Sırasıyla artışlar % 11.99, 3.33 ve 19 olarak belirlenmiştir. Atık suyun yağmurlardan sonra alınması metal içeriğinin derişimini azalttığı düşünülmektedir. Metal konsantrasyonundaki artışlar Cr>Zn>Ni şeklinde sıralanmıştır. Ancak istatistik analiz sonucu kontrole göre değerlerdeki artışlar önemli bulunmamıştır.

Farklı bitki dokularında Cr birikimi bakımından farklılıklar olduğu gösterilmiştir. *Brassica juncea* ve *Salsola kali* bitkilerinin gövdelerine göre köklerinde Cr birikiminin yüksek olduğu bildirilmiştir (Zayed vd. 1998, Gardea vd. 2004). Golovatyj vd. (1999) yaptıkları çalışmada toprağın özelliğine ve Cr konsantrasyonuna bağlı olmaksızın Cr'un kök dokusunda fazla, toprak üstü organlarında ise düşük seviyede biriktiğini ve bu nedenle de Cr dağılımının kararlı bir yapı gösterdiğini ifade etmişlerdir. Örneğin fasulyede Cr birikiminin tohumlarda % 0.1 ve kök dokusunda ise % 98 olduğu bulunmuştur (Huffman and Allaway 1973a).

Kromun köklerden ksilem aracılığı ile yapraklara düşük oranda taşınımı, bu metalin hücre duvarındaki -COOH gruplar ile kompleks oluşturması ve kök hücrelerinin vakuollerinde biriktirilmesinden kaynaklanabilmektedir (Shanker vd. 2004).

Cr (III) hücre membranlarında birikirken Cr (VI) membranları geçebilmekte ve sitoplazmadaki hücre içi materyallerle etkileşime girebilmektedir (Gikas ve Romanos 2006). Ağır metaller enzimlerin sülfhidril gruplarına bağlanma eğilimi olduğundan, esansiyel biyolojik bileşiklerin fonksiyon görmesi baskılanmaktadır (Van Assche ve Clijsters 1990). Keser (2013) *L. sativum* ile yaptığı çalışmada kök deki artış miktarı sırasıyla kontrole göre Pb için % 87, Cd için % 5.8 olmuştur. *E. sativa*'da ise Cu % 233, Pb % 96, Ni % 21, Cr % 18 ve Cd % 17 olmuştur. Ağır metaller genellikle yenebilen kısımlardan daha çok köklerde birikmektedir. diğere araştırmacılar da benzer bulgular elde

etmişlerdir (Ouzounidou vd. 1992; Kovacevic vd. 1999; Pandey 2006). Bitki kökleri ağır metal tolerans mekanizmasının bir sonucu olarak ağır metallerin geçişine karşı bir bariyer olarak işlev görmektedir. Sunulan çalışmada da ağır metal birikimi köklerde daha fazla belirlenmiştir. % 100 kanalizasyon suyu ile sulanan bitki köklerindeki metallerin sıralanması kontrole göre yüzde değerlerindeki artışa göre sıralaması Cu>Cr>Zn>Ni şeklinde olmuştur.

Yapılan birkaç çalışma sonucu atık su ile sulanan toprakların ağır metal içeriğini önemli ölçüde katkı yaptığını göstermiştir (Mapanda vd. 2005; Nan vd. 2002). Keser ve Büyük (2012)'ün *Petroselinum crispum*'u 20 gün süreyle % 100 kanalizasyon suyu ile sulamaları sonucu toprağın ağır metal içeriğinde Cd için % 14, Pb % 13, Ni % 11 ve Cr % 9 düzeylerinde artış belirlemişlerdir.

Kharche vd. (2011) son 30 yıl devamlı kanalizasyon suyu ile tarım yapılan toprakların ve bitkilerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri; major, sekonder ve mikronutrient ve kirletici element durumlarını analiz etmişlerdir. Toprağın fiziksel özelliklerinde kanalizasyon suyundan dolayı iyileşme görülmüştür. Uzun dönem kanalizasyon suyu ile sulanmasından dolayı toprak yüzeyinde ağır metal birikimi olduğunu bildirmişlerdir. Atık su ile sulanan topraklarda total Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr ve Ni içeriği iyi su ile sulanan topraklardaki metal içeriğinin 1.05, 1.24, 3.98, 1.51, 2.10, 1.62, 1.24 katı olmuştur.

Jhamaria vd. Bhatnagar (2015b) kanalizasyon suyu ile sulanmış toprakta Cd, Pb, Zn ve Ni muson öncesi ve muson sonrası konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Cd değerleri güvenlik limitlerinin üzerinde bulunurken Zn, Ni ve Pb izin verilen limitlerin altında bulunmuştur. Muson öncesi değerleri daha yüksek bulunmuştur. Cd (15.32-12.54 mg/kg), Pb (33.42- 29.21 mg/kg), Ni (29.15-26.32 mg/kg) ve Zn (9.32- 7.28 mg/kg) bulunmuştur. Pb ve Cd'nin toprak organik maddelerine karşı kuvvetli şekilde afiniteleri olduğu bildirilmiştir (König vd. 1986). Bu nedenle bu metaller doğal olarak toprak partiküllerine (humus veya kil) bağlanarak veya çözünemeyen (fosfatlar gibi) bileşikler halinde bulunurlar. Sunulan çalışmada da kanalizasyon suyunun derişiminin yoğunluğuna bağlı olarak toprakta ağır metal içeriğinde kontrole göre % 100 derişimindeki sulama suyu ile sulanan bitkilerin toprağında artış belirlenmiştir. Artışlar (kat) Pb (8.26)>Cu (2.11)>Zn (1.29)>Ni (1.23)>Cr (1.18) şeklinde sıralanmıştır.

Sonuç olarak tarımsal alanların işlenmemiş kanalizasyon suyu ile sulanması bitkinin büyüme parametrelerinde, fizyolojik özelliklerinde, bitki organlarının ağır metal içeriklerinde değişimlere neden olmaktadır. Ayrıca bitkinin yetiştirildiği toprağın kontaminasyonuna neden olmakta, toprağın ağır metal içeriklerini arttırmakta ve bu ağır metaller sebzelerin yenilebilen kısımlarında birikmektedir. Bu metallerin birikimi bitkinin çeşitli kısımlarında değişiklik göstermektedir. Ağır metallerin bitkilere geçişi ve bitkide ilerleyişi çeşitli yollarla engellenmektedir. Toksik metallerin birikimi bitkide fizyolojik stres oluşturması nedeniyle büyüme ve gelişmede metabolik olayları etkilemektedir.

Bütün yeşil yapraklı sebzeler yenilebilen kısımlarında toksik ağır metalleri belli oranlarda biriktirmektedir. Birikim metalin hareketliliğine, bitkinin türüne, organlarına, gelişim dönemine, toprağın fiziko-kimyasal özellikleri gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Kontamineli sebzeler yerel halk pazarlarında satılmaktadır. Devamlı olarak tüketiciler tarafından bu sebzeleri tüketilmesi çeşitli sağlık sorunları ortaya çıkaracaktır. Toksik metallerin insan vücudunda birikmesi sonucu metal çeşidine ve birikime bağlı olarak insanlarda kırılabilir kemik yapısı, kusma, sarılık, kansızlık gibi çok çeşitli rahatsızlıklar ortaya çıkacaktır. Bu nedenle kanalizasyon suyu ile bitkilerin sulanması toprağın mineral içeriğinin zenginleştirilmesi açısından yararlı olabilir ancak sulama için kullanılacak suların ileriki aşamada besin zinciri yoluyla daha fazla alınımın önlenmesi amacıyla kontaminantlarından uzaklaştırılması için biyolojik, fizyolojik ve kimyasal yöntemlerle ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda dahi kullanımı sınırlandırılmalı, uygulamayı yapan çiftçiler hem kendi sağlıkları hemde halk sağlığı açısından bilgilendirilmeli, bilinçlendirilmelidir. Söz konusu bu uygulamada karar vericiler ve yetkililer sürekli denetimler yapmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahrend, R., Kahle, H. and Breckle, S.W., (1997). Effect of cadmium on transpiration of young beechtrees (*Fagus sylvatica* L.), Air Pollution and Forest Decline, (Bucher, J:B. Et al., Des.), Birmensdorf, 381-383.
- Al-Absi, Khalid, M., (2008). Effect of irrigation with treated in industrial effluent on growth and biochemical constituents of olives, Bulg. J. Agric. Sci., 14 (6): 564-575
- Alexander, P.D., Alloway, B.J. and Dourado, A.M., (2006). Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetable, Environ. Pollut., 144(3): 736-745.
- Ali, S., Bai, P., Zeng, F., Cai, S., Shamsi, I.H., Qiu, B., Wu, F. and Zhang, G., (2011). The ecotoxicological and interactive effects of chromium and aluminum on growth, oxidative damage and antioxidant enzymes on two barley genotypes differing in tolerance, Environ. Exp. Bot., 70; 185-191.
- Allen, S.E., Grimshaw, H.M. and Rowland, A.P., (1986). Chemical analysis. In: Moore PD, Chapman SB (Eds). Methods in Plant Ecology, Blackwell Scientific Publication, Oxford, London, 285-344.
- Alloway, B.A. and Ayres, D.C., (1993). Chemical Principles of Environmental pollution, Chapman&Hall, UK.,
- Ammar, E., Ben-Rovina B., Metzidakis, I.T. and Voyiatzis, D.G., (1999). Potential horticultural utulizationof olive oil processing wastewater, Acta-Hortic, 474:741-744.
- Arnon, D.I., (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*, Plant Physiol.,24:1-15.
- Asano, T., Smit, R.G. and Tchobanoglous, G., (1985). Municipal wastewater: Treatment and reclaimed water characteristics. In: Irrigation with reclaimed municipal wastewater- a guidance manual. Pettygrove, G.S. and Asano, T. (eds), Chelsa, Mich; Lewise Publishers, Inc. Asano, Takashi and Audrey D. Levine. 1996. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. Water Science and Technology, 33 (10-11): 1-14.
- Baker, D.E., Amacher, M.C., (1982). "Nickel, Copper, Zinc and Cadmium" in Page, A.L. etal. (eds), Methods of Soil Analysis, Par 2, Chemical and Microbiological

- Properties, 2nd ed., Agron. Monogr., Vol. 9, ASA and SSSA, Madison, NI, USA., 323:336.
- Barcelo, J., Poschenrieder, Ch., Andreu, I. and Gunse, B., (1986). Cadmium induced decrease of water stress resistance in Bush in Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* cv. Contender), J. Plant Physiol., 125:17-25.
- Barcelo, J., Vazquez, M.D. and Poschenrieder, Ch., (1988). Structural and ultrastructural disorders in cadmium treated Bush Bean Plants (*Phaseolus vulgaris* L.) New Phytol., 108:37-49.
- Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L., (2005). Cadmium Toxicity in Plants, Braz. J Plant Physiol., 17; 21-34.
- Bergmann, W., (1992). Nutritional disorders of plants: Development, visual and analytical diagnosis, Gustav Fischer Verlag Jena, New York.
- Brallier, S., Harison, R.B., Henry, C.L. and Dongsen, X., (1996). Liming effects on availability of Cd, Cu, Ni, and Zn in soil amended with sewage sludge 16 years previously, Water, Air and Soil Pollution, 86: 195-206.
- Breckle, S.W., (1991). Growth under stress: Heavy Metals, Plant Roots: The Hidden Half (Waisel, Y., and Kafkafi, U., Eds.) New York: Marcel Dekker, 351-373.
- Cervantes, C., Campos-Garcia, J., Devars, S., Gutierrez-Corono, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzman, J.C. and Moreno-Sanchez, R., (2001). Interactions of chromium with micro-organisms and plants, FEMS Microbiol. Rev., 25: 335-347.
- Choudhury, S. and Panda, S.K., (2005). Toxic effect, oxidative stress and ultrastructural changes in moss *Taxitheelium nepalense* (Schwaegr.) Broth. Under Lead and chromium toxicity. Water Air Soil Poll., 167; 73-90.
- Diels, L. and Mergeay, M., (1990). DNA probe-mediated detection of resistant bacteria from soils highly polluted by heavy metals, Applied and Environmental Microbiology, 56: 1485-1491.
- Dinges, R., (1982). Aquatic plant systems, an unconventional approach to removal of toxic materials, presented at the tenth water research symposium, "Toxic materials- methods of control" University of Texas, Austin, Texas, USA.
- Dixit, V., Pandey, V. and Shyam, R., (2002). Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation *in vivo* in pea (*Pisum sativum* L. cv. Azad) root mitochondria, Plant Cell Environ., 25: 687-690.

- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J.R., Montes, M., de la Rosa, G. and Corral-Diaz B., (2004). Bioaccumulation of cadmium, chromium, and copper by *Convolvulus arvensis* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. *Bioresource Technol.*, 92: 229-235.
- Gikas, P. and Romanos, P., (2006). Effects of tri-valent (Cr(III)) and hexa-valent (Cr(IV)) chromium on the growth of activated sludge, *Journal of Hazardous Materials*, B133 (1-3): 212-217.
- Golovatyj, S.E., Bogatyreva, E.N. and Golovatyj S.E., (1999). Effects of levels of chromium content in a soil on its distribution in organs of corn plants, *Soil Research Fertility*, 25: 197-204.
- Gupta S., Satpati S., Nayek S. and Garai D., (2010). Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes, *Environ. Monit. Assess.*, 165: 169-177.
- Haktanır, K., (1987). Çevre Kirliliği, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Ders notu, Teksir No:140.
- He, Q.B. and Singh, B.R., (1994). Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers, I. yield and cadmium content, *Water, Air and Soil Pollution*, 74: 251-265.
- Hollenbach, B., Schreiber, L., Hartung, W. and Dietz K.J., (1997). Cadmium leads to stimulated expression of the lipid transfer protein genes in Barley: Implications for the involvement of lipid transfer proteins in wax assembly, *Planta*, 203: 9-19.
- Horwitz, W., (1970). Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (A.O.A.C.) 11 th 123 (a). 526 (b) Washington D.C.
- Huffman, Jr E.W.D., and Allaway, W.H., (1973a). Chromium in plants: distribution in tissues, organelles, and extracts and availability of bean leaf Cr to animals, *J. Agric. Food. Chem.*, 21: 982-986.
- Hussain, I., Raschid, L., Hanja, M.A., Marikar, F. and Hoek, Wim van der, (2002). Wastewater use in agriculture: Review of impacts and methodological issues in valuing impact, Working papers from International water Management Institute, 1-62.
- Itanna, F., (2002). Metals, in leafy vegetables grown in Addis Ababa and toxicology implications. *Ethiopian J. Health Dev.*, 16: 295-302.

- Jhamaria, C., Bhatnagar, M. and Naga, J.P., (2015a). Accumulation of heavy metals in soil and vegetables due to wastewater irrigation in a semiarid region of Rajasthan, India, *International Journal of Environment, Ecology, Family and Urban Studies*, 5(5): 1-10.
- Jhamaria, C., Bhatnagar, M., (2015b). Accumulation of heavy metals in soil due to wastewater application, *Environmental Science*, 4 (6): 689-690.
- Kacar, B. ve Katkat, V., (1998). Bitki Besleme, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı yayını, Yayın No: 127: 595. Bursa.
- Kacar, B. ve Katkat, V., (2006). Bitki Besleme, Nobel Yayın, No:849.
- Keser, G. and Buyuk, G., (2012). Effects of wastewater irrigation on chemical and physical properties of *Petroselinum crispum*, *Biological Trace Element Research*, 146 (3): 369-375.
- Keser, G., (2013). Effects of irrigation with wastewater on the physiological properties and heavy metal content in *Lepidium sativum* L. and *Eruca sativa* (Mill), *Environmental Monitoring and Assessment*, 185 (7): 6209-6217.
- Kharche, V.K., Desai, V.K. and Pharande, A.L., (2011). Effect of sewage irrigation on soil properties, essential nutrient and pollutant element status of soil and plants in a vegetable growing area around Ahmednagar city in Maharashtra, *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 59(2): 177-184.
- Kimbrough, D.E., Cohen Y., Winer, A.M., Mabuni, C., (1999). A critical assessment of chromium in the environment, *Crit. Rev. Env.Sci. Technol.*, 29; 1-46.
- Kovacevic, G., Kastori, R. and Merkulou, L., (1999). Dry matter and leaf structure in young wheat plants as affected by cadmium, lead, and nickel, *Biologia Plantarum*, 42: 119-123.
- König, N., Baccini, P. and Ulrich, B., (1986). Der influb der natürlichen organischen substanzen auf die metallverteilung zwischen boden und bodenlösung in einem suaren waldboden. *Z. Pflanzenernaehr. Boden K.*, 149: 68-82.
- Kupper, H., Kupper F., and Spiller M., (1996). Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants, *Journal of Experimental Botany*, 47: 259-266.
- Lane S.D., Martin, E.S. and Garrod, J.P., (1978). Lead toxicity effect on Indole- 3-Acetic Acid- Induced Cell Elongation, *Planta* 144:79-84.

- Landis, W.G. and Yu, W.H., (2004). Environmental Toxicology. CRC Pres. LLC, Boca Raton, FL. 483.
- Lee, K.C., Cunningham, B.A., Chung, K.H., Paulsen, G.M. and Liang, G.H., (1976). Lead effects on several enzymes and nitrogenous compounds in soybean leaf, J. Environ. Qual., 5:357-359.
- Leita, L., Marchiol L., Martin M., and Petessotti A., 1995. Transpiration Dynamics in cadmium treated soybean (*Glycine max* L.) plants, J. Agr. Crop. Sci. Z. Acker. Pflanzen, 175:153-156.
- Lichtenhaler, H. and Wellburn, A.R., (1985). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents, Biochem. Soc. Trans., 11: 591-592.
- Mac Cenna, I.M., Chaney, R.L. and Willams, F.M., (1993). The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach, Environmental Pollution,79(2): 113-120.
- Mapanda, F., Mangwayana, E.N., Nyamangara, J., and Giller, K.E., (2005). The effect of longterm irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. Agriculture Ecosystem and Environment, 107:151-165.
- Memon, A.R. and Schröder, P., (2009). Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation, Environ. Sci. Pollut. Int., 16(2): 162-175.
- Mohammad, M.J. and Mazahreh, N., (2003). Changes in soil fertility parameter in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater, Comm. Soil Sci. Plant Anal., 34: 1281-1294.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, C., and Cheng, G., (2002). Cadmium and zinc interaction and their transfer in soil-crop system under actual field conditions, Science of Total Environment, 285: 187-195.
- Ouzounidou, G., Eleftheriou, E.P. and Karataglis, S., (1992). Ecophysiological and ultrastructural effects of copper in *Thlaspi ochroleucum* (Curciferae), Canadian Journal of Botany, 70: 947-957.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., (1995). Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No:73, Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.

- Pandey, S.N., (2006). Accumulation of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Ni and Zn) in *Raphanus sativus* L. and *Spinacia oleracea* L. plants irrigated with industrial effluent, *Journal of Environmental Biology*, 27: 381-384.
- Prasad, D.D.K., and Prasad, A.R.K., (1987). Altered δ - Amino laevulinic Acid metabolism by lead and mercury in germinating seedlings of Bajra (*Pennisetum typhoideum*), *J. Plant Physiol.*, 127: 241-249.
- Rascio, N. and Navari, Izzo, F., (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting, *Plant Science*, 80: 169-181.
- Rehman, F., Khan, F.A., Varshney, D., Naushin, F. and Rastogi, J., (2011). Effect of cadmium on the growth of tomato, *Biology and Medicine*, 3(2): 187-190.
- Rout, G.R. and Das, P., (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism, *I. Zinc agronomie*, 23: 3-11.
- Salt, D., Price R., Pickering, I. and Raskin, I., (1995). Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard, *Plant Physiol.*, 109: 1427-1433.
- Salamons, W. and Forstner, U., (1995). Heavy metals problems and solutions, (P., Moder Eds.), Springer Verlag,
- Schat, H., Sharma, S.S. and Vooijs, R., (1997). Heavy metal induced accumulation of free proline in a metal-tolerant and a non-tolerant ecotype of response of ascorbate glutathione pathways enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram (*Vigna radiata* (L.)R. Wilczek. cv. CO4) roots., *Plant Sci.*, 166: 1035-1043.
- Seregin, I.V. and Ivanov, V.B., (2001). Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants, *Russian Journal of Plant Physiology*, 48(4): 412.
- Shadma, N. and Pandey, S.N., (2010). Effects of industrial wastewater on heavy metal accumulation, growth and biochemical responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Journal of Environmental Biology*, 31: 273-276.
- Shanker, A.K., Djanaguiraman, M., Sudhagar, R., Chandrasker, C.N. and Pathmanabhan, G., (2004). Differential antioxidative response of ascorbate glutathione pathway enzymes and metabolites to chromium speciation stress in green gram ((L.) R. Wilczek. cv CO4) roots, *Plant Science*, 166(4): 1035-1043.

- Shanker, A.K., Cervantes, C., Loza-Taveras, H. and Avudainayagam, S., (2005). Chromium toxicity in plants, *Environment Int.*, 31: 739-753.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.M., (2008). Heavy metal (Cu, Zn, Cd and Pb) contamination of vegetables in urban India: A case study in Varanasi, *Environ. Pollut.*, 154: 254-263.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R. and Singh, R., (1990). Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.), *Photosynthesis Research*, 23: 345-351.
- Singh, S. and Agarwal, P.K., (2005). Effect of heavy metal fertilization on growth, yield and metal distribution in wheat, *Indian J. Plant Physiol.*, 10(3): 302-305.
- Sosse, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron D and Badot, P.M., (2004). Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166:1213-1218.
- Truby, P. and Raba, A., (1991). Heavy metal uptake by vegetables, *Angewandte Botanik*. 66 (3-4): 253-264.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitomi, A., Sallanon, H and Coudret, A., (2005). Comparative study of responses in four *Datura* species to a zinc stress, *Chemosphere*, 59:1005-1013.
- Vajpayee, P., Rai, U.N., Ali, M.B., Tripathi, R.D., Yadav, V., Sinha, S. and Singh, S.N., (2001). Chromium-induced physiologic changes in *Vallisneria spiralis* L. and its Role in Phytoremediation of Tannery Effluent, *Bull. Environ. Contam. Tox.*, 67 (2): (246-256).
- Van Assche, F. and Clijsters H., (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants, *Plant Cell Environ.*, 13:195-206.
- Vassilev, A., Yordanov, I., and Tsonev, T., (1997). Effects of Cd²⁺ on the physiological state and photosynthetic activity of young barley plants, *Photosynthetica*, 34: 293-302.
- Venter, F., (1993). Heavy metal content of various vegetables, *Kongressband 1993 Hamburg. Vortrage zum Generalthema des 105. VDLUFA Kongresses vom 20, 25.9.1993. in Hamburg: Gualitat und Hygiene von Lebensmitteln in Production un Verarbeitung*, 449-452.

- Vishnu, C.G., Mathew, A., Molly, A.G. and Eldo, A.N., (2008). Impact of industrial effluents on germination, growth and bioaccumulation of heavy metals in different parts of *Hibiscus esculentus* L., Poll. Res., 27 (2): 241-246.
- Vodnik, D., Jentschke, G., Fritz, E., Gogala, N., and Godbold D.L., (1999). Root-applied cytokinin reduces lead uptake and affects its distribution in Norway Spruce Seedlings, Physiol. Plant., 106:75-81.
- WHO/FAO, (1995). Codex General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed. Codex stand. s.193
- Yadav, S.K., (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants, South African Journal of Botany, 76: 167-179.
- Zayed, A.M., Lytle, C.M., Qian J.H. and Terry N., (1998). Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops, Planta, 206: 293-299.
- Zayed, A.M. and Terry, N., (2003). Chromium in the Environment: Factors Affecting Biological Remediation, Plant Soil, 249: 139-156.
- Zengin, K.F. ve Munzuroğlu Ö., (2005). Fasulye fidelerinin (*Phaseolus vulgaris* L. Strike) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(1):164-172.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Şeyhmus BOZAN
Doğum Yeri : Diyarbakır
Doğum Tarihi : 01.01.1987
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Diyarbakır Fatih Lisesi, 2000-2003
Lisans : Fırat Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği, 2003-2007
Yüksek Lisans : Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011-2017

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Kocaköy İlköğretim Okulu, 2008 – 2012
700. Yıl Ortaokulu, 2012 - 2017