



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA ANABİLİM DALI

**SÜS BİTKİLERİNİN FARKLI SULAMA
DÜZEYLERİ VE AĞIR METAL DOZUNDA
TOPRAKTAN AĞIR METAL ALIMININ
ARAŞTIRILMASI**

MURAT TURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Antakya/HATAY
ŞUBAT-2011**

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜS BİTKİLERİNİN FARKLI SULAMA
DÜZEYLERİ VE AĞIR METAL DOZUNDA
TOPRAKTAN AĞIR METAL ALIMININ
ARAŞTIRILMASI**

MURAT TURAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR ve SULAMA ANABİLİM DALI

Prof. Dr. Sermet ÖNDER danışmanlığında hazırlanan bu tez 02.02.2011 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Sermet ÖNDER

Başkan

Doç.Dr.Derya ÖNDER

Üye

Yrd.Doç.Dr.Hatice DAĞHAN

Üye

Bu tez Enstitümüz Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Necat AĞCA

Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÇİZELGELER DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Bitki Materyali	15
3.1.2. Deneme Toprak Materyali	15
3.1.3. İklim Odası Özellikleri	16
3.2. Yöntem	16
3.2.1. Bitkinin Çimlendirilmesi	16
3.2.2. Toprak Hazırlığı	17
3.2.3. Saksı Denemesi	17
3.2.4. Morfolojik Gözlemler	19
3.2.5. Klorofil Ölçümü	19
3.2.6. Bitki Örneklerinin Hazırlanması	19
3.2.7. Bitkide Cd, Zn, Cu, Fe, K ve Mn Analizleri ve Ölçümleri	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	21
4.1. Sulama Suyu ve Evapotranspirasyon Miktarları	21
4.2. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarının Bitkinin Morfolojik Özelliklerine Etkileri	23
4.3. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarının Yaprakların Klorofil İçeriklerine Etkileri	29
4.4. Sulama ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitki Boy Gelişimi İle Yaprak Sayısı Üzerine Etkileri	31

	Sayfa
4.5. Sulama ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitki Kuru Ağırlığı Üzerine Etkileri.....	36
4.6. Sulama ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitkideki Bitki Besin Elementi Alımına Etkileri.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR	53
TEŞEKKÜR	59
ÖZGEÇMİŞ	60

I

ÖZET

SÜS BİTKİLERİNİN FARKLI SULAMA DÜZEYLERİ VE AĞIR METAL DOZUNDA TOPRAKTAN AĞIR METAL ALIMININ ARAŞTIRILMASI

Araştırmada, farklı sulama düzeylerinde (SD) ve farklı kadmiyum dozlarında (Cd) yetiştirilen *Calendula officinalis* bitkisinin topraktan ağır metal alımına etkisi araştırılmıştır. Denemede, üç farklı sulama düzeyi (SD) ve dört farklı kadmiyum dozu (Cd) uygulanmıştır. SD₁₀₀ : sulama suyu ihtiyacının tamamı karşılanmış, SD₆₆: sulama suyu ihtiyacının %66'sı karşılanmış, SD₃₃: sulama suyu ihtiyacının %33'ü karşılanmıştır. Toprağa farklı dozlarda Cd uygulanmıştır. Cd₀: Cd uygulanmamış, Cd₅: 5.0 mg Cd kg⁻¹, Cd₁₀: 10.0 mg Cd kg⁻¹ ve Cd₂₀: 20.0 mg Cd kg⁻¹'dir. Araştırmada, uygulanan konulara bağlı olarak bitkilerin toprak üstü kısımlarınca topraktan kaldırılan Cd, Zn, Cu, Fe, Mn, K, P ve N elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Deneme SD₁₀₀, SD₆₆ ve SD₃₃ konularına, sırasıyla 4114, 3188 ve 2283 g sulama suyu uygulanmıştır. Toplam 11 kez sulama yapılmıştır. Evapotranspirasyon değerleri Cd₀ dozundan(179mm) Cd₁₀ dozuna(155mm) kadar azalmakta, fakat Cd₂₀ dozuna ulaşıldığında tekrar artmaktadır(162mm). En fazla Cd alımı SD₁₀₀ konularında gerçekleşmiştir. Sulama düzeylerine göre, en stresli konudan en stressiz konuya doğru, bitkideki Cd konsantrasyonları artmaktadır. Dolayısıyla, hem sulama suyu miktarında hem de Cd dozlarındaki artışın bitkinin aldığı Cd değerinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Uygulanan sulama miktarları ve Cd dozları ile bitkideki Mn, Zn ve Cu konsantrasyonları arasında %1 düzeyinde önemli bir ilişki olduğu saptanmıştır.

Aynı sulama düzeyi içerisinde, 10 mg Cd⁻¹ konusuna(Cd₁₀) kadar Cu ve Fe konsantrasyonları artış göstermiştir. Ancak, toprağa 20 mg Cd kg⁻¹ uygulanan konuda (Cd₂₀) bitkilerin Cu ve Fe konsantrasyonlarında azalma görülmüştür. Bitkilerdeki Fe konsantrasyonlarına, uygulanan sulama düzeyleri ve Cd dozlarının etkisi önemsiz bulunmuştur.

2011, 60 sayfa

Anahtar Kelimeler:Sulama Düzeyleri, Kadmiyum, *Calendula*, Fitoremediasyon

II

ABSTRACT

INVESTIGATION OF IMPACTS OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS AND HEAVY METAL CONCENTRATIONS ON HEAVY METAL UPTAKE BY ORNAMENTAL PLANTS

The heavy metal uptake of *Calendula officinalis* plant was investigated under different irrigation levels and different cadmium concentrations. Three different irrigation levels and four cadmium concentrations were used. The irrigation levels were: SD100, 100%; SD66, 66%; and SD33, 33% of irrigation requirement of *Calendula officinalis* plant. The Cd concentrations were: Cd0, untreated soil; Cd5, 5.0 mg Cd kg⁻¹; Cd10, 10.0 mg Cd kg⁻¹; and Cd20, 20.0 mg Cd kg⁻¹. In the present study, Cd, Zn, Cu, Fe, and Mn concentrations in the aboveground parts of the plant were determined.

During the whole experimental period, the total amounts of irrigation water supplied were 2283, 3188, and 4144 g for SD33, SD66 and SD100 treatments, respectively. *Calendula officinalis* plants were irrigated 11 times. Evapotranspiration values were decreased with the increasing Cd content from Cd0 to Cd10 treatments, whereas there was an increase afterward. The maximum Cd concentrations were observed for SD100 treatments. There was an increase in Cd concentrations with decreasing scarcity of the stress factors. Thus, increase in both amounts of irrigation water and concentration of Cd resulted in an increase in Cd uptake by the plant. The data showed that the relationships among irrigation levels and soil Cd concentration and Cd uptake by the plant and Mn, Zn, and Cu concentration were significant at 1% confidence level ($P < 0.01$).

The Cu and Fe uptake by the plant increased with the increase in soil Cd concentration, but their concentrations were comparatively lower as the Cd concentration exceeded 10 mg kg⁻¹ such as 20 mg kg⁻¹. The effect of irrigation levels and soil Cd concentration on Fe concentration of the plant was non significant.

2011, 60 pages

Key Words: Irrigation, Cadmium, *Calendula*, Phytoremediation

III

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	16
Çizelge 3.2. Deneme Toprağının Yarayışlı Formdaki Cd, Cu, Zn, Mn ve Fe Konsantrasyonları.....	16
Çizelge 4.1. Toplam Sulama Suyu Miktarları.....	21
Çizelge 4.2. Hesaplanan Evapotranspirasyon Miktarları.....	22
Çizelge 4.3. Konulara İlişkin Çiçeklenme Sayıları.....	28
Çizelge 4.4. Konulara İlişkin Çiçeklenme Miktarının İstatistiksel Analiz Sonucu.....	28
Çizelge 4.5. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarında Bitki Yapraklarının Klorofil İçerikleri(SPAD Değeri).....	29
Çizelge 4.6. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarında Bitkilerin Üst ve Alt Yaprak Klorofil İçeriklerine Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	31
Çizelge 4.7. Konulara İlişkin Yaprak Sayısı.....	32
Çizelge 4.8. Konulara İlişkin Yaprak Alanı.....	33
Çizelge 4.9. Konulara İlişkin Yaprak Sayısı ve Yaprak Alanının İstatistiksel Analiz Sonucu.....	34
Çizelge 4.10. Konulara İlişkin Bitki Boyunun Değişimi.....	34
Çizelge 4.11 Bitki Boyunun Değişiminin İstatistiksel Analiz Sonucu.....	35
Çizelge 4.12. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkilerin Kuru Ağırlıkları.....	36
Çizelge 4.13. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkilerin Kuru Ağırlıklarındaki Değişimin İstatistiksel Analiz Sonucu.....	37
Çizelge 4.14. Farklı Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Cd Konsantrasyonları.....	38
Çizelge 4.15 Bitkideki Cd Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	40

	Sayfa
Çizelge 4.16. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Kuru Madde Miktarına Bağlı Olarak Bitkideki Cd İçeriği.....	40
Çizelge 4.17. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Mn Konsantrasyonları.....	41
Çizelge 4.18. Farklı Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Mn Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	42
Çizelge 4.19. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Zn Konsantrasyonları.....	43
Çizelge 4.20. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Zn Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	44
Çizelge 4.21. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Fe Konsantrasyonları.....	44
Çizelge 4.22. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Fe Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.	45
Çizelge 4.23. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Cu Konsantrasyonları.....	46
Çizelge 4.24. Farklı Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Cu Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	47
Çizelge 4.25. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki P Yüzdeleri.....	48
Çizelge 4.26. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki P Yüzdelerine Yönelik İstatistiksel Analiz Sonucu.....	49
Çizelge 4.27. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki K ve N Yüzdeleri.....	49
Çizelge 4.28. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki K ve N Konsantrasyonlarına Yönelik İstatistiksel Analiz Sonuçları.....	50

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. <i>Calendula officinalis</i> bitkisinin genel görünümü.....	6
Şekil 4.1. Konulara İlişkin Uygulanan Toplam Sulama Suyu Miktarı.....	22
Şekil 4.2. Konulara İlişkin Evapotranspirasyon Eğrileri.....	23
Şekil 4.3. Cd ₀ Dozunda Farklı Sulama Düzeylerinin Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	24
Şekil 4.4. Cd ₅ Dozunda Farklı Sulama Düzeylerinin Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	25
Şekil 4.5. Cd ₁₀ Dozunda Farklı Sulama Düzeylerinin Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	25
Şekil 4.6. Cd ₂₀ Dozunda Farklı Sulama Düzeylerinin Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	26
Şekil 4.7. SD ₃₃ Düzeyinde Farklı Cd Dozlarının Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	26
Şekil 4.8. SD ₆₆ Düzeyinde Farklı Cd Dozlarının Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	27
Şekil 4.9. SD ₁₀₀ Düzeyinde Farklı Cd Dozlarının Bitkilerin Morfolojik Özelliklerine Etkisi.....	27
Şekil 4.10. Konulara İlişkin Yaprak Sayısı.....	32
Şekil 4.11. Konulara İlişkin Yaprak Alanı.....	33
Şekil 4.12. Konulara İlişkin Bitki Boyunun Değişimi.....	35
Şekil 4.13. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkilerin Kuru Ağırlıklarındaki Değişim.....	37
Şekil 4.14. Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Cd Konsantrasyonları.....	39

	Sayfa
Şekil 4.15. Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Kuru Madde Miktarına Bağlı Olarak Bitkideki Cd İçeriği.....	40
Şekil 4.16. Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Mn Konsantrasyonları.....	41
Şekil 4.17. Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Zn Konsantrasyonları.....	43
Şekil 4.18. Farklı Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Fe Konsantrasyonları.....	45
Şekil 4.19. Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki Cu Konsantrasyonları.....	47
Şekil 4.20. Sulama Düzeyleri Ve Kadmiyum Dozlarına İlişkin Bitkideki P Yüzdeleri.....	48

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının azalma eğilimi yanında mevcut olanların da kalitesiyle ilgili sorunlar yaşanmaktadır. Diğer yandan doğal kaynaklarımızdan toprak materyalinin de çeşitli şekillerde yok olması yanında, mevcut olanların da kirlenmesi ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Dolayısıyla, hem su hem de toprak kaynaklarımızın geliştirilmesi yanında mevcut durumunun korunması ve sorunlarının da çözülmesi gerekmektedir.

Ülkemiz, halen mevcut su kaynakları yönüyle ciddi bir sıkıntı içerisinde bulunmamakla birlikte gelecekte aynı durumda olmayacağı ortadadır. Konuya ilişkin Önder ve ark (2002), su kaynaklarımızın 2030 yılında kritik düzeye düşeceğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla gelecekte, su sıkıntısı çeken veya kısmen sıkıntı çeken ülkeler kategorisine düşmemiz beklenmektedir. Bu eğilime bağlı olarak gelecek yüzyılda ülkemizde de ciddi su sıkıntıları yaşanması olası görünmektedir. Dolayısıyla bugün, dünyanın ve ülkemizin içinde bulunduğu şartlar mevcut doğal kaynakların etkin bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bunlardan su en önemli doğal kaynağı teşkil etmektedir.

Su kaynaklarının yetersizliği yanında kalitesiyle ilgili sorunlar da bulunmaktadır. Örneğin, Önder ve Dağhan (2007)'nin Göze (1985)'ye dayanarak belirttiği gibi ülkemizde, 1981 yılında örnek alınan 31910 içme ve kullanma suyunun 22152'sinin (% 35,8), 2197 adet su örneği alınan memba sularının 817'sinin (% 37,2) uygun olmadığı bulunmuştur. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi Türkiye'de mevcut su kaynaklarımız hem yetersiz hem de kalitesiz olduğu ortadadır.

Bitkisel üretim içerisinde sulama en önemli tarımsal faaliyetlerden birisidir. Suyun gittikçe azalan bir kaynak olması sulamada farklı uygulamaları da beraberinde getirmektedir. Kısıntılı sulama, sulamaya getirilen yeni bakış açılarından birisidir. Kısıntılı sulama tekniği, su kaynağı veya sulama şebekesinin sınırlı olduğu koşullarda da kullanılır (Korukçu ve Kanber, 1981). Kısıntılı sulamada, bitkisel üretimde maksimum verimin elde edilmesi yerine, uygulanacak sulama suyu miktarında kısıntı yapılarak bir miktar verim azalmasına izin verilmekte, ancak aynı suyla daha fazla alanın sulanması ve birim sudan daha fazla gelir elde edilmesi mümkün olmaktadır (Anonim, 2008a).

Su kaynaklarında meydana gelen azalma bunun yanında oluşan su kirliliğine benzer bir durum da toprak kirliliğidir. Yerleşim alanlarından çıkan atıklar, egzoz gazları, endüstri atıkları, tarımsal mücadele ilaçları ve kimyasal gübreler toprak kirliliğine sebep olan en önemli etkenlerdir. Dünya da binlerce hektarlık kirlenmiş alan bulunmaktadır. Amerika'da temizlenmeyi bekleyen binden daha fazla kirlenmiş alan mevcuttur. Toprak kirliliği Çin'in bazı bölgelerinde ciddi boyutlara erişmiştir. Çin'de işlenen 100 000 km² toprağın %21,67'si kirli suların sulama suyu olarak kullanması sonucunda, %1,3'lük kısmı ise katı atıklarla kirlenmiştir. Benzer sorunun batı, orta ve doğu Avrupa ülkelerinde çok daha ciddi boyutlarda olduğu bildirilmektedir (Robinson, 1997).

Toprak kirliliği açısından bakıldığında, ağır metallerin en önemli kirleticiler arasında olduğu görülmektedir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın hazırladığı 129 tane öncelikli çevre kirleticiler arasında yer alan ağır metaller, en önemli çevre kirleticiler gruplarından birini oluşturmaktadır (Anonim, 2008b).

Topraklara karışan ve buralarda birikme yapan ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, hatta besin zinciri yoluyla sıcakkanlıklarda zehirlenmelere kadar birçok çevre ve insan sağlığı problemlerini ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metaller, biyotaya yüksek düzeyde dayanıklılık ve zehirlilik etkisi göstermesi nedeniyle çevredeki en tehlikeli maddelerden biri olarak kabul edilmektedir (Vanlı ve Yazgan, 2008).

Topraktaki ağır metallerin kaynağı toprağın oluşumu sırasında meydana gelen etkiler olabildiği gibi atmosferik taşınım, biyolojik arıtım çamurlarının boşaltımı, hayvan dışkıları ile evsel atıklarının uzaklaştırılması gibi prosesler sonucunda da olabilmektedir. Toprakların ağır metallerle kirlenmesi, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucu olabildiği gibi, ağır metal içeren kayaçların çeşitli nedenlerle çözünerek su ve toprak ortamına taşınması ile de ortaya çıkabilmektedir. Atom ağırlıkları 63 ile 200 arasında olan kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), civa (Hg), arsenik (As), krom (Cr) gibi ağır metallerin çevreye yayılmaları aşağıdaki şekillerde olmaktadır: egzoz gazı kaynaklı yayılımlar (Pb), madencilik kaynaklı yayılımlar (Cr, B), endüstriyel

kaynaklı yayılımlar; pil üretimi ve kullanımı (Hg, Cd), demir çelik sanayi ve atıkları (Cr), petrol rafinerisi (Pb), boyalar (Pb, Cd), elektronik sanayi ve ölçü aletleri (Hg), tıbbi kaynaklı yayılımlar (Hg), doğal kaynaklı yayılımlar (Pb, Hg, Cr, Cd, B), termik santraller kaynaklı yayılımlar (Pb, Hg, Cr, Cd), tarımsal kaynaklı yayılımlar (Cd) (Anonim, 2008c).

Özbek ve ark. (1993)'nın Merian (1984)'e dayanarak belirttiği gibi yukarıda adı geçen elementlerden Cd, hayvanlar ve insanlar için çok düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etki gösteren bir elementtir. Kadmiyum böbreklerde fonksiyon yetersizliğine ve yüksek kan basıncına neden olmaktadır. Solunumla fazla miktarlarda alınması sonucu ciğer anfizemi hastalığı ortaya çıkmaktadır. Karasal kabuktaki ortalama Cd içeriği 0,10 mg/kg, topraklarda da (kontamine olmamış) benzer şekilde genel olarak <0,5 mg Cd/kg'dır. Ana materyale bağlı olarak daha yüksek Cd içeriği de görülebilir (>3 mg/kg). Diğer Cd kaynakları endüstriyel olduğu gibi Cd fosfatlı gübrelerle de toprağa ulaşabilmektedir.

Bir yandan çevre ve doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması yönünde önlemler alınırken diğer yandan kirlenmiş alanların temizlenmesine yönelik çalışmalar da çevre kirliliği sorununun çözümünde büyük önem taşımaktadır.

Kirlenmiş toprakların arıtımı amacıyla, fiziksel, kimyasal, termal ve biyolojik süreçleri içeren birçok yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemler; izolasyon ve immobilizasyon teknolojileri, mekanik ayırma teknolojileri, pirometalurjik teknolojiler, elektrokinetik teknolojiler, biyokimyasal teknolojiler, toprağı su/sıvı ile yerinde temizleme teknolojileri, toprak yıkama (kimyasal sızma) teknolojileri ile fitoremediasyon teknolojileri olarak sıralanabilmektedir. Biyolojik temizleme yöntemleri içinde yer alan fitoremediasyon, diğer yöntemlere göre en ucuz ve ekolojik yönden en uygun yaklaşımdır. Bitkilerin kullanılarak toprağın temizlenmesi fitoremediasyon olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal arıtmaya alternatif olarak kullanılan ve kısaca bitki yetiştirilerek topraktan organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilen fitoremediasyon yöntemi, ortaya yeni konmuştur. Yöntem, ekonomik ve ekolojik olmasının yanında özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine olanak vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem durumuna gelmektedir (Vanlı ve Yazgan, 2008).

Toprak kirliliği ve su kaynaklarının azalması nedeniyle gelecekte fitoremediasyon yöntemi için minimum su ile maksimum metali bünyelerinde biriktirecek bitkilere ihtiyaç duyulacaktır. Bu konuda ilk olarak Göksün (2009), tütün bitkisinin farklı sulama düzeyleri ve Cd dozlarında topraktan Cd alımını araştırmıştır. Araştırma sonucunda, toprakta 5 mg Cd kg⁻¹ uygulandığında en fazla Cd, sulamanın %33 düzeyinde yapıldığı konudan kaldırılmıştır. Tütünden en fazla ağır metal alımının (Cd, Mn) su stresi koşullarında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Çalışmada, doğal kaynaklardan suyun azalması ile toprağın kirlenmesi sorunları bir arada düşünülerek, toprağın ağır metal yönünden temizlenmesine yönelik bir çözüml aranmıştır. Bu amaçla, *Calendula officinalis* bitkisinin farklı sulama düzeylerinde ve farklı ağır metal (Cd) dozlarında, topraktan ağır metal alımının nasıl bir ilişki gösterdiği araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Denemede kullanılan, *Calendula officinalis*, Asteraceae familyasına ait bir süs bitkisidir. Asteracea familyanın 15 türü bulunmaktadır. *Calendula officinalis* bu familyanın en yaygın yetiştirilen türüdür. Bu familyadan *Calendula officinalis* ve *Calendula arvensis* medikal amaçla da kullanılmaktadır (Kemper, 1999).

Calendula officinalis 20-50 cm boylarında, ülkemizin birçok yöresinde, özellikle park ve bahçelerde güzel görünümü sebebi ile yetiştirilen bir kültür bitkisidir (Şekil 2.1). Çiçekli bitkilerin en zengin familyası Asteraceae'nin bir üyesidir. Orta, Güney, Doğu Avrupa, Batı Asya, Almanya, Amerika olmak üzere geniş bir çevrede yetiştirilir ve kültürü yapılır. Dünyanın çeşitli ülkelerinde Pot marigold, *Calendula*, Ringerblume, Souci des jardins gibi isimler ile bilinir. Ülkemizde ise Aynısafa, Altıncık, Portakal nergisi, Susi, Ölüçiçeği, Tıbbi nergiz, Öküzgözü isimleri ile tanınmaktadır (Gruenwald ve ark., 2000; Sarıyer ve ark., 2002; WHO, 2002).

Calendula ismi Latince ayın ilk günü anlamına gelen "Calendea" kelimesinden alınmıştır. Daha çok, ay anlamında kullanılmaktadır. İsmine gerekçe olarak da çiçeğin uygun koşullarda tohum bağlayan çiçekleri koparıldıkça sürekli yeni çiçek oluşturmasıdır. Akdeniz ülkelerinde doğal olarak yetişmektedir. Çok yıllık veya tek yıllık otsu yapıda bir bitkidir. Yaprakları almaşıklı dizilmiş, geniş ve uzun şeridimsidir. Bitki alt yaprakları kaşık formlu parçasız, üst yaprakları ise sapla birleşme kısmı kalp şeklindedir. Yaprakları düz veya parçalı olabilir. Haziran–Temmuz aylarında çiçeklenir. Çiçekleri sürgün ucunda nadiren de yaprak koltuğunda çıkmaktadır. Çiçekler sarı veya turuncu renklidir (Şekil 2.1). Orta kısımları siyahtır. Çiçekler yalınkat veya katmerli olabilir. Çiçekler sabah açar ve öğleden sonra kapanır. Uzun süre çiçekli kalır. Kesme çiçekçilikte de kullanılabilir (Kemper, 1999).

Söz konusu bitki, genelde tohumla üretilir. Çünkü *Calendula* 'lar kazık köklü olduklarından fideler belirli bir gelişme dönemi geçirdikten sonra şaşkınlıklar iyi sonuç vermediğinden dolayı tohum ekimi doğrudan bitkinin kalacağı yerlere yapılır. Tohum poşetlere ekilecekse her poşete 1–2 adet tohum gelecek şekilde atılır. Tohumlar hafif, killi – kumlu karışım toprağa ekim – kasım aylarında atılmalıdır. Çimlenme ortamının sıcaklığı 15–18 °C arasında tutulduğunda 10–14 günde çimlenme gerçekleşir.



Şekil 2.1. *Calendula officinalis* bitkisinin genel görünümü

Güneş alan yerlerden ve kireçli bahçe topraklarından hoşlanır. Ekstrem koşullara dayanıklıdır. Düzenli sulama yapıldığında gelişimi kaliteli olmaktadır. Soğuk–serin iklimlerde bütün yaz çiçek açar (Anonim, 2008d).

Fitoremediasyon yöntemiyle topraktan ağır metallerin temizlenmesinde *Calendula officinalis*'in her türlü ağır metal, tuz ve kimyasal içeriği yüksek olan topraklarda yetişebileceği, kirli toprakların temizlenmesinde de kullanılacak son derece uygun bir bitki olduğu tespit edilmiştir (Istrateanu ve Nita, 2007).

Fitoremediasyon yöntemi kullanılarak, topraktan ağır metal alınmasına yönelik çalışmalara değinmeden önce toprak kirliliğinin nedenleri, çeşitleri, çevre ve insanlar üzerine etkileri konusunda bilgilerin verilmesinde yarar vardır. Bu bağlamda, en yaygın kirlilik kaynakları 4 grup altında toplanır; 1) Tarımsal kirleticiler, 2) Endüstriyel kirleticiler, 3) Belediyeye ait kirleticiler, 4) Nükleer kirleticiler (Alloway, 1995).

Ağır metaller, koloidal adsorbsiyon ve iyon değişimi ile toprakta tutularak kalıntı (birikim) yaparlar (Haktanır, 1989; Kızıloğlu ve Bilen, 2000; Swadish, 1995). Bilhassa Zn, Cu, Pb, Cd ve Ni gibi ağır metaller toprağın biyoelverişliliği üzerine

fazlası ile etki yaparlar. Toprak kolloidleri tarafından tutulan ağır metallerin topraktan uzaklaştırılması çok zordur (Diatta, 2003; Cook ve ark., 1994; Moreno ve ark., 1994). Ağır metal birikiminin yoğun olduğu yerler bilhassa karayolu trafiğinin olduğu yerlerdir. Bu bölgelerde yapılan bazı çalışmalarda topraklarda 40 ppm Ni, 5 ppm Cd, 79 ppm Zn, 79 ppm Pb ve 25 ppm Co seviyelerine kadar yükselmiş, ve bu değerlerin taşıt yollarından uzak olan bölgelere göre çok yüksek değerler içerdiği belirlenmiştir (Howari ve ark., 2004).

Ağır metal kirliliği toprakların verimliliğini düşürmelerinin yanı sıra toprakta yaşayan mikrobiyal populasyon üzerine de olumsuz etkide bulunurlar. Yapılan bir çalışmada ağır metal kirliliğinin bitki kök bölgesindeki vesiküler arbasküler mikorriza üzerine olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir (Solange, 2004; Andreas ve ark., 2003).

Ağır metallerin çevresel etkilerine yönelik Kahvecioğlu ve ark. (2004)'den özetlenen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Son zamanlarda ağır metallerin ekolojik sisteme verdikleri zarar gazete haberlerinde ve çeşitli dergilerde sıkça yer almaya başlamıştır. Bunun nedeni, “ağır metal” tanımının “nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal” olarak kullanılmasıdır. Gerçekte ağır metal tanımı fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm^3 ten daha yüksek olan metaller için kullanılır. Bu gruba Pb, Cd, Cr, Fe, Co, Cu, Ni, Hg ve Zn, olmak üzere 60 tan fazla metal dahildir. 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. Ülkemizde de başta tuz ihtiyacımızı karşıladığımız tuz gölü olmak üzere kapalı göllerimizde yeterli çevresel önlem almadığımız ve su havzalarında kontrolsüz sanayileşmeye izin verdiğimizden dolayı ağır metal konsantrasyonu sürekli yükselmektedir. Ağır metallerin ekolojik sistemde yayınımları dikkate alındığında doğal çevrimlerden daha çok insanın neden olduğu etkiler nedeniyle çevreye yayınımları söz konusu olduğu görülmektedir. Ağır metallerin çevreye yayınımlarının da etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi,

demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir. Havaya atılan ağır metaller, sonuçta karaya ve buradan bitkiler ve besin zinciri yoluyla da hayvanlara ve insanlara ulaşırlar ve aynı zamanda hayvan ve insanlar tarafından havadan aerosol olarak veya toz halinde solunurlar. Ağır metaller endüstriyel atık suların içme sularına karışması yoluyla veya ağır metallerle kirlenmiş partiküllerin tozlaşması yoluyla da hayvan ve insanlar üzerinde etkin olurlar (Kahvecioğlu ve ark, 2004).

Deneme konularından birini oluşturan kadmiyumun özellikleri, vücuda ve doğal yaşam alanlarına verdiği zararlar şu şekilde ifade edilebilir.

Kadmiyum, çinko üretimine eşlik eden metal olarak üretilmiştir. Ancak günümüzde kadmiyum da çevre kirliliğine sebep olan ağır metaller arasında yerini almıştır. Günümüzde kadmiyum endüstriyel olarak nikel/kadmiyum pillerde, korozyona karşı özellikle denizel koşullara dayanımı nedeniyle gemi sanayinde çeliklerin kaplanmasında, boya sanayinde, PVC stabilizatörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılır. Kadmiyum empürüte olarak fosfatlı gübrelere, deterjanlarda ve rafine petrol türevlerinde bulunur ve bunların çok yaygın kullanımı sonucunda da önemli miktarda kadmiyum kirliliği ortaya çıkmaktadır.

Kadmiyumun yıllık doğaya yayılım miktarı 25000–30000 tondur ve bunun 4000 –13000 tonu insan faaliyetlerine bağlı olarak ortaya çıkar. İnsan yaşamını etkileyen önemli kadmiyum kaynakları; sigara dumanı, rafine edilmiş yiyecek maddeleri, su boruları, kahve, çay, kömür yakılması, kabuklu deniz ürünleri, tohum aşamasında kullanılan gübreler ve endüstriyel üretim aşamalarında oluşan baca gazlarıdır. Endüstriyel olarak kadmiyum zehirlenmesi kaynak yapımı esnasında kullanılan alaşım bileşimleri, elektrokimyasal kaplamalar, kadmiyum içeren boyalar ve kadmiyumlu piller nedeniyledir. Kadmiyum önemli miktarda gümüş kaynaklarda ve spreylere boyalarda da kullanılmaktadır.

Kadmiyum ve çinko yerkürede bir arada ve benzer yapılarda bulunurlar. Bu iki metal insan vücudunda da benzer strüktürel ve fonksiyonel özellikler göstermektedirler. Kadmiyum, önemli enzim ve organ fonksiyonlarında çinkonun yerini alabilmektedir ve bu fonksiyonların gerekli şekilde gerçekleşmesini engellemektedir. Zn ve Cd'un vücut içindeki oranları Cd zehirlenmesi Zn yetersizliğiyle arttığından çok önemlidir. Tahılların rafinasyon işlemi bu oranı düşürmekte ve dolayısıyla Zn eksikliği ve Cd

zehirlenmesi fazla rafine edilmiş tahıl ve unların tüketimiyle artış göstermektedir. Kadmiyum diğer ağır metaller içinde suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada yayılım hızı yüksektir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünebilir özelliğinden dolayı Cd^{2+} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve akümüle olma özelliğine sahiptir. İnsan vücudundaki Cd seviyesi ilerleyen yaşla beraber artış gösterir ve genellikle 50' li yaşlarda maksimum seviyesine ulaştıktan sonra azalmaya başlar. Yeni doğmuş bebeklerde hiç kadmiyum bulunmaz ve kadmiyum, kurşun ve cıvanın aksine plasenta ya da kan yoluyla anne karnındaki bebeğe geçmemektedir. Normal olarak vücudumuzda 40 mg' a kadar kadmiyum bulunabilmektedir ve günlük olarak da 40 μg 'a kadar kadmiyum vücuttan atılabilir. Bu seviyeler, kadmiyumun çoğunu topraktan yani yiyecekler yoluyla alması nedeniyle bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Yiyecekler yoluyla alınan kadmiyumun yanı sıra su boruları yoluyla, sigara dumanı ve endüstriyel metal üretimi sonucu çıkan fabrika atıkları da diğer önemli kadmiyum kaynaklarıdır. Endüstri bölgelerinde havadaki kadmiyum oranı kırsal alanlara oranla çok daha yüksektir (Kahvecioğlu ve ark, 2004).

Ağır metaller kayaçların ve dolayısıyla toprakların doğal bileşenleridir ve topraklar bileşimlerine bağlı olarak farklı oranlarda ve formlarda ağır metal içerirler. Ağır metallerin çevredeki jeolojik nedenlerle oluşan doğal dağılım deseni son yıllarda antropojen etki ile önemli ölçüde değişmeye başlamıştır (Başkaya ve Teksoy, 1997).

Kirlenmiş topraklar için dört olası yönetim seçeneği söz konusudur (Kocaer ve Başkaya, 2003).

- 1- Kirlenmiş toprağı olduğu şekliyle bırakmak, o bölgenin kullanımını yasaklamak.
- 2- Kirlenmiş toprağı bölge içinde immobilize etmek ve bölgeyi sürekli izleyerek diğer bölgelere geçişi kontrol altında tutmak.
- 3- Kirlenmiş toprağı uzaklaştırarak özel bir bertaraf sahasında depolamak.
- 4- Toprağı bölge içinde (in-situ) veya bölge dışında temizlemek (ex-situ).

Türkoğlu (2006), son yıllarda popüleritesi giderek artmakta olan fito-ıslahın, toprak ıslahına ait pasif bir teknoloji olduğunu belirtmiştir. Fitoremediasyon çevredeki kirlenmiş toprakların alınmasında yada onların zararsız hale getirilmesinde yeşil bitkilerin kullanımı olarak tanımlanır. Diğer ıslah teknolojileri ile karşılaştırıldığında toprak

dolgusu, fiksasyon ve filtreleme gibi oldukça düşük masraflı, estetik olarak memnun edici ve daha küçük düzenleme kolaylıklarını gerektirir (Türkoğlu, 2006),

Toprağın temizlenmesi yani topraktaki kirleticilerin uzaklaştırılması özellikle bölgenin yeniden kullanılmasının önemli olduğu düşünüldüğünde ekonomik bir alternatif olabilmektedir. Toprağın arıtılması için fiziksel, kimyasal, termal ve/veya biyolojik prosesleri içeren pek çok metod mevcuttur. Uygun toprak arıtım metodunun seçimi, bölge karakteristikleri, giderilecek kirleticinin tipi, konsantrasyonu ve kirlenmiş arazinin sonraki kullanımı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Toprağın temizlenmesi genellikle kirlenmiş bölgenin kazılması, izole edilen veya temizlenen toprağın tekrar yerine doldurulmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak son yıllarda toprağı kazmadan doğrudan bölgede uygulanan (in-situ) teknolojiler üzerinde yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. (Kocaer ve Başkaya, 2003)

Toprak kirliliğinin kontrolünde kullanılan fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri, uygulama kolaylığı ve uygulama süresinin kısalığı gibi bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, gerek arıtma masrafının yüksek olması, gerekse arıtma sonucunda ortaya çıkan diğer kirletici formlarının nihai giderilmesindeki zorluklar nedeniyle çevresel açıdan fazla tercih edilmemektedir. Kimyasal arıtmaya alternatif olarak kullanılan ve kısaca bitkiler kullanılarak topraktan yerinde(in-situ) organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilen fitoremediasyon yöntemi, yeni ortaya konmuş, ekonomik ve ekolojik olması ile özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir. (Vanlı ve Yazgan, 2008).

Cunningham ve ark., (1995), EPA (2000) ve Andrrade ve ark., (2002) tarafından ifade edildiği gibi Fitoremediasyon yönteminin birçok avantajları ve dezavantajları vardır. Araştırmacılar Fitoremediasyon'un teknolojisinin geniş alanlara uygulanabilmesi, estetik olarak çevreye farklı bir görünüm kazandırması, kullanılan bitkilerin biomasının bazı alanlarda ham madde olarak kullanılabilir (mobilya yapımı, enerji üretimi, lif üretimi, vb) olması en önemlisi ucuz ve kolay uygulanabilir olması bakımından avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bitki bünyesinde biriktirilen Se, Zn gibi bazı elementlerin noksanlığı görülen alanlarda veya hayvan yemi olarak kullanılabilir. Aynı araştırmacılar Fitoremediasyonun dezavantajlarına da

değınmişler ve dezavantajlarını da; fiziksel ve kimyasal metotlara göre daha yavaş olması, bitkilerin az miktarda kirleticiyi bünyelerinde biriktirmesi, bitki yetişmesini sınırlayan toprak tekstürü, pH, tuzluluk gibi etkenler, sınırlayıcı iklimsel (sıcaklık, yağış, nem vb) etkenler, bitki büyümesini sınırlayan organik ve inorganik kirleticilerin konsantrasyonlarının yüksek olması gibi fiziksel ve kimyasal etkenler, ağır metallerin toprakta çökmesi, absorpsiyonu gibi nedenlerle bitki tarafından alınamaz formda olması, suda kolayca çözünebilen kirleticilerin topraktan yıkanarak kök bölgesinden uzaklaşması şeklinde sıralamışlardır.

Fitoremediasyon teknolojisinde hyperakümülator adı verilen yüksek miktarda ağır metali biriktirebilen bitkiler kullanılmaktadır. Bu bitkiler doğal olarak metallerce kirlenmiş topraklar üzerinde yetiştirildiklerinde $1000\mu\text{g g}^{-1}$ Ni, $10\ 000\ \mu\text{g g}^{-1}$ Zn ya da Mn, $1000\mu\text{g g}^{-1}$ Co ya da Cu ve $100\ \mu\text{g g}^{-1}$ Cd'dan fazla metali bünyelerinde biriktirme özelliğine sahiptirler (Peer et al, 2003).

Ancak, bu bitkilerin fitoremediasyon amacıyla kullanılmasını sınırlayan bazı durumlar söz konusudur. Bu bitkiler yavaş büyüme gösterir, az yeşil aksam üretir ve bir kaç elementi değil yalnızca özel bir elementi bünyelerinde biriktirebilirler (Salt ve ark., 1995). Ancak, fitoremediasyon da kullanılacak bitkinin; hasat edilebilir aksamında yüksek oranda metal biriktirmesi, biriken ağır metali tolere etmesi, hızlı büyüeyebilen derin köklü ve kolayca hasat edilebilir olması gerekmektedir (Dağhan, 2007).

Fitoremediasyon yöntemiyle topraktan ağır metallerin temizlenmesine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan Bosiacki (2009), *Tagetes erecta* bitkisinde Cd ve Pb üzerine deneme yapmıştır. Bosiacki(2009) bu çalışmada, *Tagetes erecta* bitkisinin ağır metal alımının yüksek olduğunu saptamıştır. Zapryanova ve Atanassova (2008), *Salvia splendens* (ateş çiçeği) bitkisi üzerine Pb, Cu ve Zn alımı üzerine bir deneme yapmışlardır. Sonuç olarak ağır metallerin *Salvia splendens*'in çiçeklenme zamanını kısalttığını, bitkilerin boylanmasını engellediğini ve bitkilerde güçlü bir toksisite meydana geldiğini saptamışlardır. Istrateanu ve Nita (2007) ise *Calendula officinalis* (ayni sefa) bitkisine Cu, Zn ve Cr ağır metallerini uygulamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda *Calendula officinalis*'in her türlü ağır metal, tuz ve kimyasal içeriği yüksek olan topraklarda yetişebileceği, kirli toprakların temizlenmesinde de son derece kullanıma uygun bir bitki olduğu tespit edilmiştir.

Dökmen (2000) İhsaniye-Kocaeli’de tarımın yoğun olduğu alanlardaki doğal su kaynaklarında ağır metal miktarını ve bunlara sulama suyunun etkisini araştırmıştır. Bu amaçla su kaynaklarından alınan örneklerde Ni, Cu, Cd, Pb ve Zn elementleri incelenmiştir. Araştırma sonucunda çalışma alanında ağır metal sorununun yaygın olmadığı, buna karşın tarımın yoğun yapıldığı alanlarda sulama suyu kalitesinin olumsuz etkilendiği belirlenmiştir.

Benzer bir çalışmada Dawaki ve Alhassan (2007) tarafından şehirde ve yarı kırsal alanlarda sulama suyu ile toprakta ağır metal kirliliğine ne ölçüde katkı sağlandığı araştırılmıştır. Araştırma sonucunda yarı şehirsal ve büyük şehirde Cd ve Cu konsantrasyonunu sırasıyla 0.034, 0.029 ve 1.744, 2.484 mg kg⁻¹ bulmuşlardır. Bu değerler uluslararası standartlardaki seviyelerden daha küçük bulunmuştur. Ancak, zamanla istenmeyen seviyelere yükselme riskinin olduğu belirtilmiştir.

Calendula officinalis bitkisi kullanılarak yapılan başka bir çalışmada ise Meos ve ark. (2010) *Calendula officinalis* bitkisinin nemli ortamlardan kuru alanlara göre daha fazla Pb alımını olduğunu belirlemişlerdir.

Uruç ve ark(2008) farklı bitki tohumlarının çimlenmesine, Cd dozlarının etkisini araştırmışlardır. Tohumlar 0, 80, 160 ve 320 mg Cd L⁻¹ metal solüsyonları ile işleme alınmıştır. Kontrol dışındaki tüm Cd dozlarında çimlenme gecikmiştir.

Sulama ile ağır metal alımı arasındaki ilişkilere yönelik sınırlı çalışmalardan bazıları da aşağıda verilmiştir.

Göksün(2009), tütün bitkisinin farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarında topraktan kadmiyum alımını araştırmıştır. Araştırma sonucunda, toprakta 5 mg Cd kg⁻¹ olması durumunda en fazla kadmiyum, sulamanın %33 düzeyinde yapıldığı(su stresinin %66 olduğu) konudan kaldırılmıştır. Tütünden en fazla ağır metal alımının (Cd, Mn) su stresi koşullarında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Madyiwa(2006) star çim çeşidinde, kumlu topraklardan sulama suyu ve işlenmiş atık sularla sulama koşulunda Pb ve Cd birikimine etkisini araştırmıştır. Söz konusu çimin Pb ve Cd alım kapasitesi yüksek olmasına karşın atık sularla sulanmış alanlardaki çimin hayvan otlatması için uygun olmadığı da belirtilmiştir. Çalışma sırasında, star

çimi topraktaki Cd seviyesinin 1 mg kg^{-1} 'den daha az olmasına karşın 1 mg kg^{-1} 'dan daha fazla Cd depolayabildiği saptanmıştır.

Angle ve ark (2003), farklı toprak nem içeriklerinde Ni hiperakümülatörü olan *Alyssum* ve *Berkheya* ile Zn hiperakümülatörü olan *Thlaspi*, bitkisini kullanarak, bitkilerdeki Ni ve Zn birikimini incelemişlerdir. Çözünabilir Ni konsantrasyonu toprak nem içeriği arttıkça azalmıştır. Araştırmada, Zn çözünübilirliği ile toprak nemi arasında güçlü bir ilişki bulunamamıştır. Bu hiperakümülatör bitkiler, yüksek toprak nemi koşulunda daha iyi gelişmişler ve metal alımına da devam etmişlerdir.

Henson ve ark. (2006), mavi çimin stres tepkisini, görünümünü ve büyümesini tarla denemesiyle 10 haftalık yetiştirme sonunda değerlendirmişlerdir. Bitkiler 2 hafta normal sulamadan sonra evapotranspirasyonun (ET) 0, 25, 50, 75 ve 100'ünü karşılayacak şekilde 8 hafta süreyle sulanmıştır. Begonia, *Lobelia erinus L.* ve *Viola* % 50 ve üzerindeki sulama uygulamalarında iyi gelişmiştir. Impatiens ise, sadece buharlaşmanın tamamının karşılandığı % 100 uygulamasında iyi gelişmiştir. *Antirrhinum majus L.*, *Dianthus L.*, *Lobularia maritima (L.) Desv.* ve *Pelargonium hortorum L.H.* Bailey %25- % 50 ET 'de iyi performans göstermiştir. *Catharanthus roseus (L.)*, *Rudbeckia hirta L.*, *Senecio cineraria D.C.*, *Tagetes erecta L.* ve *T. patula L.*, *Zinnia angustifolia Kunth.* ve *Salvia farinacea Benth.* türleri yaz ortası sıcaklığına ve düşük sulama miktarına iyi uyum sağlamış ve sadece %0-25 ET arasındaki sulamalarda iyi gelişmişlerdir. Kuraklık ve sıcaklığa dayanıklı olduğu düşünülen türler *Petunia xhybrida.* ve *Glandularia* sulamaya çok az ihtiyaç duymuş veya hiç ihtiyaç duymamışlardır. Bu çalışmada değerlendirilen bitki türleri % 25 veya daha az suya ihtiyaç duyduklarından su yetersizliği olan yerlerde iyi uyum göstereceklerdir.

Purukayastha ve ark. (2008), Pb, Zn, Ni ve Cu gibi ağır metalleri akümüle etme olasılığı yüksek olarak bildirilen *Brasika* türlerini (*B. juncea*, *B. campestris*, *B. carinata*, *B. Napus* ve *B. Nigra*) saksılarda yetiştirmişlerdir. Saksılar kanalizasyon suları ile sulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm brasika türleri içinde *B. Carinata* bitkisinin Ni ve Pb alımı ve birikim yeteneği en yüksek tür olduğu saptanmıştır.

Lin ve ark. (2010), farklı Cd konsantrasyonu uygulamaların da (0-10 ve 20 mg Cd kg^{-1}) *Pantas lanceolata* Deflers., *Tagetespatula L.*, *Impatiens walleriana* Hook. f.,

Verbena bipinnatifida Nutt, ve *Salvia splendens* Ker-Gawl. bitkilerinin Cd biriktirme ve maksimum tolerans kapasitesini araştırmışlardır. Çalışma sonunda bu bitkilerin Cd toksisitesine toleranslı oldukları ve geliştiklerini tespit etmişlerdir. Özellikle *Tagetes patula* L. ($66,3\pm 6.5$ mg Cd kg⁻¹) ve *Impatiens* (100 ± 11 mg Cd kg⁻¹) Cd akümüle ederek en yüksek Cd biriktiren bitkiler olarak belirlenmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Bitki Materyali

Yapılan çalışmada, Türkiye ve dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen *Calendula officinalis* bitkisi kullanılmıştır.

Denemede kullanılan, *Calendula officinalis*, 20-50 cm boylarında, ülkemizin birçok yöresinde, özellikle park ve bahçelerde güzel görünümü sebebi ile yetiştirilen bir kültür bitkisidir. Orta, Güney, Doğu Avrupa, Batı Asya, Almanya, Amerika olmak üzere geniş bir çevrede yetiştirilir ve kültürü yapılıdır. Dünyanın çeşitli ülkelerinde pot marigold, *calendula*, ringerblume, souci des jardins gibi isimler ile bilinir. Ülkemizde ise aynısafa, altıncık, portakal nergisi, susi, ölüçiçeği, tıbbi nergiz, öküzgözü isimleri ile tanınmaktadır (Gruenwald ve ark.,2000, Sarıyer ve ark.,2002, WHO, 2002).

Akdeniz ülkelerinde doğal olarak yetişmektedir. Çok yıllık veya tek yıllık otsu yapıda bir bitkidir. Yaprakları almaşıklı dizilmiş, geniş ve uzun şeridimsidir. Bitki alt yaprakları kaşık formu parçasız, üst yaprakları ise sapla birleşme kısmı kalp şeklindedir. Yaprakları düz veya parçalı olabilir. Haziran–Temmuz aylarında çiçeklenir. Çiçekleri sürgün ucunda nadiren de yaprak koltuğunda çıkmaktadır. Çiçekler sarı veya turuncu renklidir. Orta kısımları siyahtır. Çiçekler yalınkat veya katmerli olabilir. Çiçekler sabah açar ve öğleden sonra kapanır. Uzun süre çiçekli kalır. Kesme çiçekçilikte de kullanılabilir (Anonim 2008d).

Fitoremediasyon yöntemiyle topraktan ağır metallerin temizlenmesinde *Calendula officinalis*'in her türlü ağır metal, tuz ve kimyasal içeriği yüksek olan topraklarda yetişebileceği, kirli toprakların temizlenmesinde de kullanılacak son derece uygun bir bitki olduğu tespit edilmiştir (Istrateanu ve Nita, 2007).

3.1.2 Deneme Toprak Materyali

Deneme toprağı olarak, Amik Ovası'nın en yaygın serilerinden biri olan Mahmutlu toprak serisinin ilk 30 cm derinliğinden alınan topraklar kullanılmıştır. Deneme amacıyla kullanılan toprakların temel özellikleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme Toprağının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bünye Sınıfı	CaCO ₃ (%)	Tuz (%)	Doygunluk (%)	pH
Killi Tın(CL)	11.4	0.026	53.3	7.66

Çizelge (3.1)'den de görüldüğü gibi denemede kullanılan toprağın bünyesi Killi-Tın (CL) olarak belirlenmiştir. Denemede kullanılan toprağın kireç içeriği yaklaşık %11.4 değerle orta kireçli, saturasyon çamurundaki pH ise, 7.66 olup hafif alkali sınıfındadır. Doygunluk yüzdesi değerleri ortalama %53.3 olarak saptanmıştır. Deneme toprağında belirlenen tuzluluk değeri herhangi bir sorun oluşturmayacak (tuzsuz) düzeydedir.

Çizelge 3.2. Deneme toprağının yarayırlı formdaki Cd, Cu, Zn, Mn ve Fe konsantrasyonları.

Elementler (mg/kg)				
Cd	Cu	Zn	Mn	Fe
0,06±0,01	0.61±0.02	0.40±0.01	5.30±0.22	0.19±0.01

Çizelge 3.2 de verilen değerlerden görüldüğü gibi DTPA yöntemine göre analiz edilen toprağın alınabilir normal düzeylerde ve yarayırlı formdaki metal içeriklerinde toksisite bulunmamaktadır..

3.1.3 İklim Odası Özellikleri

Tarımsal uygulamalar için ışığı, sıcaklığı ve nemi kontrol edilebilen bir iklim odası kullanılmıştır. Değınilen odanın taban ölçüleri 3.0x3.1 m, yüksekliğı 2.25 m'dir. Kapasitesi yaklaşık 29.925 m³'dür. Oda, yan duvarları ısı kaybına karşı izole edilmiştir.

3.2 Yöntem

3.2.1 Bitkinin Çimlendirilmesi

Calendula officinalis tohumları, torf ve perlitin 1:1 oranda karıştırıldığı ortamda (Dağhan, 2004), 16saat ışık 8 saat karanlık döngüsünde, % 60-70 neme ve 22°C

sıcaklığa sahip koşullarda çimlendirilmiştir. Bitkiler 3-4 yapraklı aşamaya geldikten sonra çimlendirme viyollerinden alınmış ve birkaç hafta önceden inkibasyona bırakılan saksılara aktarılmıştır.

3.2.2 Toprak Hazırlığı

Toprağın 0-30 cm derinliğinden alınmış olan toprak materyali kurutulmuş ve 4 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprakların tarla kapasitesi yapılan analizler ile deneme öncesinde belirlenmiştir (Alparslan ve ark., 2005). Denemede kullanılacak toprak tekstürü (bünyesi) Bouyoucos hidrometre (Booyoucos, 1952); pH değerleri CaCl_2 (Lewandowski ve ark., 1997); CaCO_3 içeriği ise, volümetrik yöntemle göre (Loeppert ve ark., 1996) analiz edilmiştir.

Toprak içerisinde bulunan ve bitki tarafından alınabilir formdaki Cd, Ni, Zn ve Cu içeriği 0.05 M DTPA (pH=7.3) metodu ile (10 g toprak: 20 ml DTPA) (Risser ve ark., 1990) ve topraktaki toplam Cd, Zn, Cu ve Ni konsantrasyonu EPA 3050B esas alınarak (Anonim, 2010) belirlenmiştir. Toplam ağır metal analizinin doğruluğunu test etmek üzere her bir element için referans toprak kullanılmıştır. Ağır metal konsantrasyonları ICP-AES cihazı ile belirlenmiştir. Toprak içerisinden alınabilir P, Olsen yöntemine göre belirlenmiştir (Olsen ve Sommers, 1982). Değişebilir K analizi 1 N Amonyum Asetat (pH: 7) yöntemine göre yapılmıştır (Kacar, 1995).

3.2.3 Saksı Denemesi:

Saksı denemesi oluşturulurken 4 mm'lik elek ile elenmiş hava kuru toprak örneklerinden 2.5 L'lik saksılara 2 kg hava kuru toprak doldurulmuştur. Saksılara ekim öncesinde 0-5-10-20 mg Cd kg^{-1} ($\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ formunda) çözelti formunda hazırlanarak toprağa uygulanmıştır. Daha sonra saksılar tarla kapasitesinin %80'in de 3 hafta süreyle kontrollü koşullarda inkibasyona bırakılmıştır. Saksılara bitki ekiminden önce ise, her saksıya 200 mg kg^{-1} N (NH_4SO_4 'tan), 100 mg kg^{-1} P ve 125 mg kg^{-1} K (KH_2PO_4 'tan), 2.5 mg kg^{-1} Fe (Fe-EDTA'dan) çözelti formunda hazırlanarak toprağa ilave edilmiştir.

Bu çalışma, bölünmüş parseller deneme deseninde 4 yinelemeli olarak iklim odasında kontrollü bir şekilde yürütülmüştür. Deneme 2010 yılı içerisinde kurulmuş ve yürütülmüştür. Çalışmanın ana parsellerine farklı sulama düzeyleri, alt parsellerine ise,

farklı Cd dozları yerleştirilmiştir. Denemede uygulanan sulama düzeyleri ve Cd dozları aşağıda verilmiştir:

1. Sulama Düzeyleri:

SD₁₀₀ : Sulama Suyu İhtiyacı Tam Karşılanan Konu

SD₆₆ : Sulama Suyu İhtiyacının %66'sının Karşılandığı Konu

SD₃₃ : Sulama Suyu İhtiyacının %33'ünün Karşılandığı Konu

2. Kadmiyum Dozları

Cd₀: 0 mg kg⁻¹

Cd₅: 5 mg kg⁻¹

Cd₁₀: 10 mg kg⁻¹

Cd₂₀: 20 mg kg⁻¹

Yukarıda açıklanan konuların uygulamalarını içeren deneme, iklim odasında yürütülmüştür. Bitkiler 3-4 yapraklı ve 4-5 cm boyuna geldikten sonra çimlendirme viyollerinden inkubasyonunu tamamlamış olan saksılara şaşırtılmıştır. Bitkiler toprağa adapte olup canlılığını kazanana kadar bitkiye yeterli ve ölçülü miktarda su uygulanmış, örtü yüzdesinin yaklaşık %30 olduğu aşamada sulama programının uygulamasına başlanmıştır. Bitkiler saksıya şaşırtıldıktan 14 gün sonra saksılar tarla kapasitesine getirilmiştir. Bu işlemden 5 gün sonra ve her sulamadan önce tüm saksıların tek tek tartımları yapılmıştır. Daha sonra her saksının tartılan mevcut ağırlıkları ile her saksının tarla kapasitesindeki ağırlığı arasındaki fark alınarak uygulanacak sulama suyu miktarı hesaplanmış ve bulunan bu değere bağlı olarak deneme konularına sulama suyu miktarı uygulanmıştır. Çalışmada, sulama suyu olarak saf su kullanılmıştır. Sulamalar, dönem başında yaklaşık bir hafta arayla, bitki gelişmesi arttıkça 3 güne bir tekrarlanmıştır. Sulamalar yapıldıktan sonra 1 gün beklenmiş, 2. gün çapa yapılmıştır. Bu işlemlere hasada kadar aynı şekilde devam edilmiştir.

Her sulamada toprağa uygulanacak sulama suyu miktarı, su bilançosu yöntemine göre belirlenmiştir. Bu amaçla saksılar düzenli olarak tartılmıştır. Ayrıca, saksı altlarındaki su toplama kaplarına biriken su olup olmadığı gözlenmiştir. Ancak, tabaklara su sızmasının olmadığı saptanmıştır.

Toprağa uygulanacak sulamanın zamanı, SD₁₀₀ konusundaki bitkilerin morfolojik görünümüne ve toprak neminin elle kontrolüne bağlı olarak belirlenmiştir. Sulamaya karar verildikten sonra, bütün konuların sulaması yapılmıştır. SD₆₆ ve SD₃₃ konularına sulama yapılırken, gereksindikleri su miktarının % 66 ve % 33 düzeyinde sulama suyu verilmiştir.

3.2.4 Morfolojik Gözlemler

Araştırma süresince bitkilerin sahip olduğu örtü genişlikleri ve bitki boylarının gelişimi düzenli olarak izlenmiştir. Bitki yapraklarında, gövdesinde ve çiçeklerinde ağır metal toksitesi olup olmadığı da incelenmiştir. Bu gözlemlerin yanı sıra bitkinin gelişme aşamaları da izlenmiştir. Bitkilerin çiçeklenme durumu sürekli olarak gözlem altında tutulmuştur.

3.2.5 Klorofil Ölçümü

Uygulanan ağır metal konsantrasyonları ile sulama düzeylerinin bitkilerin yapraklarında klorofil içeriklerine etkisini irdelemek amacıyla klorofil ölçüm cihazı (Konica-Minolta SPAD-502) kullanılmıştır. Bitkilerin hasat edilmeden önce en üst ve en alt yapraklar da doğrudan klorofil analizleri yapılmış ve işlemler en az 3 kez yinelenmiş ve ortalaması alınarak kullanılmıştır. Yapılan klorofil ölçümleri, SPAD değeri olarak kullanılmış ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır.

3.2.6 Bitki Örneklerinin Hazırlanması ve Analizi

Denemeye, ağır metal konularının uygulaması ve akabinde bitkilerin saksıya aktarılmasından sonra başlanmış ve çiçeklenme başlangıcı dönemine kadar devam edilmiştir (Dağhan, 2004). Çalışma süresince bitkinin gelişimi, yaprak ve çiçeklerinde ortaya çıkabilecek toksisite semptomlarına karşı gözlemler yapılmıştır. Deneme sonunda bitkiler toprak seviyesinin 1 cm üzerinden hasat edilmiştir. Bitkiler hasat edildikten sonra bitkinin yaprakları sayılmış ve toplam yaprak alanları ölçülmüştür. Daha sonra yapraklar ve gövde saf suyla yıkanıp, kurulandıktan sonra kurutma

dolabında 65 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları tartılmıştır. Kurutulan bitkiler, Agat taşlı bitki öğütme değirmeninde öğütülerek bitki analizleri için hazır duruma getirilmiştir.

3.2.7 Bitkide Cd, Zn, Cu, Fe, K, P ve Mn Analizleri ve Ölçümleri

Toplam metal konsantrasyonlarını (Cd, Zn, Cu, Fe, Mn, K ve P) belirlemek amacıyla öğütülen bitki örneklerinden 0.2 g alınarak % 35'lik H₂O₂ ve % 65'lik HNO₃ ile 45 dakika mikrodalga fırında çözünürleştirilmiştir. Elde edilen süzüklerin metal konsantrasyonları ICP-AES (Inductively Coupled Plasma- Atomic Emmission Spectrometry; Varian Series-II)'de belirlenmiştir. Yapılan metal analizlerinin doğruluğu, metal içeriği belli standart sertifikalı bir bitki olan Virginia Tobacco Leaves (CTA-VTL-2) örneği aynı yöntemle analiz edilmiş ve sonuçlar standart sonuçla kontrol edilmiştir. Bitki örneklerinde N analizi ise, Kjheldal yöntemine göre yapılmıştır (Kacar, 1972).

Araştırma sonucunda elde edilen değerlere, SPSS istatistiksel analiz programından yararlanılarak varyans analizi uygulanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Sulama Suyu ve Evapotranspirasyon Miktarları

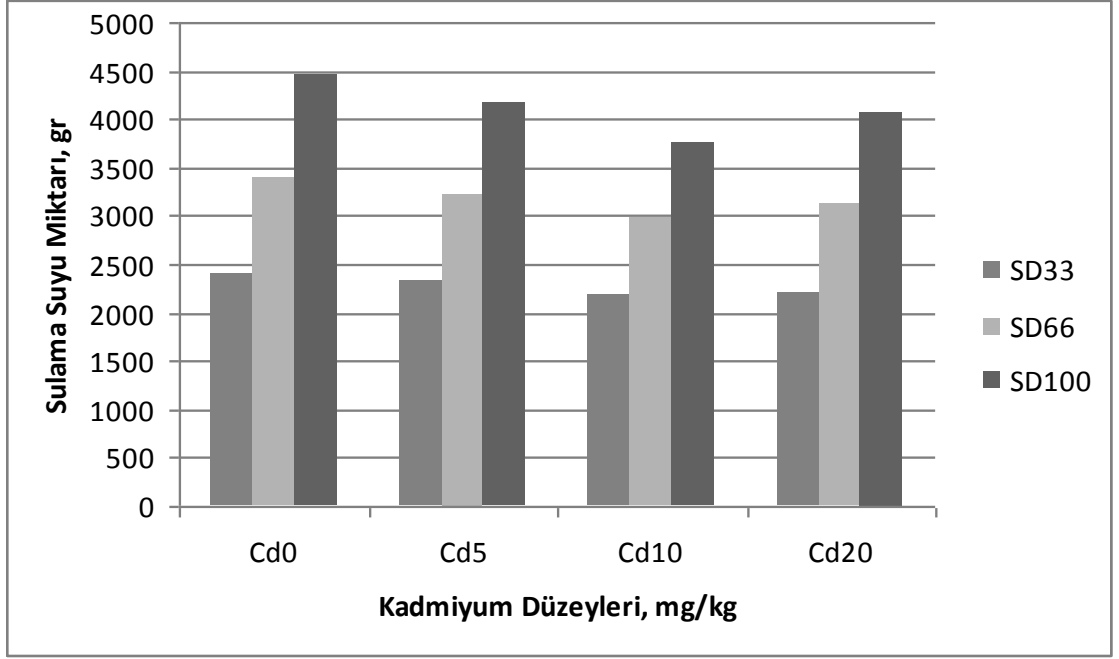
Deneme konularına ilişkin uygulanan toplam sulama suyu miktarları Çizelge 4.1’de ve hesaplanan evapotranspirasyon miktarları Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Toplam sulama suyu miktarları

Konular	Toplam Sulama Suyu Miktarı, gr				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	Ortalama
SD ₁₀₀	4455	4180	3752	4070	4114
SD ₆₆	3398	3238	2985	3132	3188
SD ₃₃	2395	2336	2192	2209	2283
Cd ort	3416	3251	2976	3137	

Deneme süresince SD₃₃, SD₆₆ ve SD₁₀₀ konularına toplam olarak sırasıyla, 2283, 3188 ve 4114 gr sulama suyu uygulanmıştır. Sulamaların yapıldığı dönemde konulara bağlı olarak toplam 11 sulama yapılmıştır. Uygulanan sulama programına bağlı olarak sulama konuları arasında farklı sulama düzeyleri oluşmuştur. Sulama konularının uygulanmasına başlayıncaya kadar tüm konulara eşit miktarda su verilmiştir. Kadmiyum dozlarına bağlı olarak Cd₀ konusuna ortalama 3416 mm, Cd₅ konusuna 3251 mm, Cd₁₀ konusuna 2976 mm ve Cd₂₀ konusuna ise 3137 mm sulama suyu uygulanmıştır.

Uygulanan sulama programına bağlı olarak sulama düzeyleri azaldıkça sulama suyu miktarları da azalmıştır (Çizelge 4.1). Buna karşın, sulama suyu miktarları arasında ortaya çıkan ilişki Cd dozları yönünden daha farklı bulunmuştur (Şekil 4.1). Kadmiyum dozu 0 mg Cd kg⁻¹ değerinden 5 mg artarak 10 mg Cd kg⁻¹ değerine doğru yükseldikçe, sulama suyu miktarları giderek azalma eğilimi göstermiştir. Ancak, kadmiyum dozunun en yüksek uygulandığı konuya (Cd₂₀) uygulanan sulama suyu miktarında bir miktar artış olmuştur.



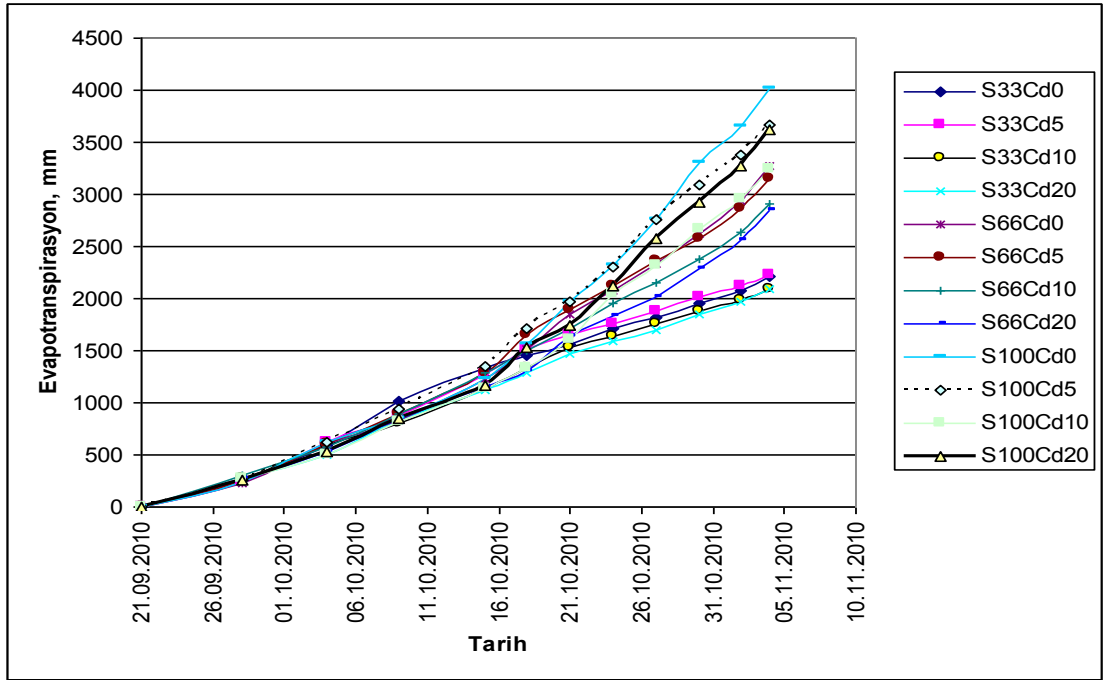
Şekil 4.1. Konulara ilişkin uygulanan toplam sulama suyu miktarı

Çizelge 4.2 Hesaplanan evapotranspirasyon miktarları

Konular	Evapotranspirasyon, gr (mm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD Ortalama
SD ₁₀₀	4012(227)	3674(208)	3247(184)	3621(205)	3639(206)
SD ₆₆	3273(185)	3159(179)	2904(164)	2844(161)	3045(172)
SD ₃₃	2211(125)	2228(126)	2085(118)	2096(119)	2155(122)
Cd ortalama	3165(179)	3020(171)	2745(155)	2854(162)	

Bitki su tüketimleri, uygulanan sulama programının bir sonucu olarak % 67 kısıntı yapılan SD₃₃ konusundan hiç kısıntının yapılmadığı konuya doğru artmıştır. SD₃₃ ve SD₆₆ konusuna ilişkin bitki su tüketimleri tam sulama konusunun sırasıyla % 59 ve % 84'ü olarak gerçekleşmiştir. Kadmiyum dozları arasındaki bitki su tüketim miktarları yönünden çok büyük farklar bulunmamaktadır. Ancak, en fazla su tüketimi Cd₀

konusunda gerçekleşmiş, Cd dozu 5 mg/kg'a çıktığında Et değeri bir miktar azalmıştır. Kadmiyum dozu 10 mg/kg'a çıktığında Et değeri Cd₀'a göre daha da azalmıştır ama Cd₂₀ konusu Et değerinde bir miktar artış olmuştur. Özellikle, su stresinin olmadığı SD₁₀₀ konusunun 20 mg/kg Cd dozunda Et değeri önemli ölçüde artmış diğer sulama düzeyleri ve onlara bağlı Cd dozlarında fark çok azalmıştır. Dolayısıyla, Cd dozlarındaki artışın bitki su tüketimini azaltma tavrı, su stresi ile azalmaktadır. Tam sulama konusunda Cd dozlarındaki artışın bitki su tüketimine etkisi su stresi uygulanan koşullarda benzer olarak görülmektedir.

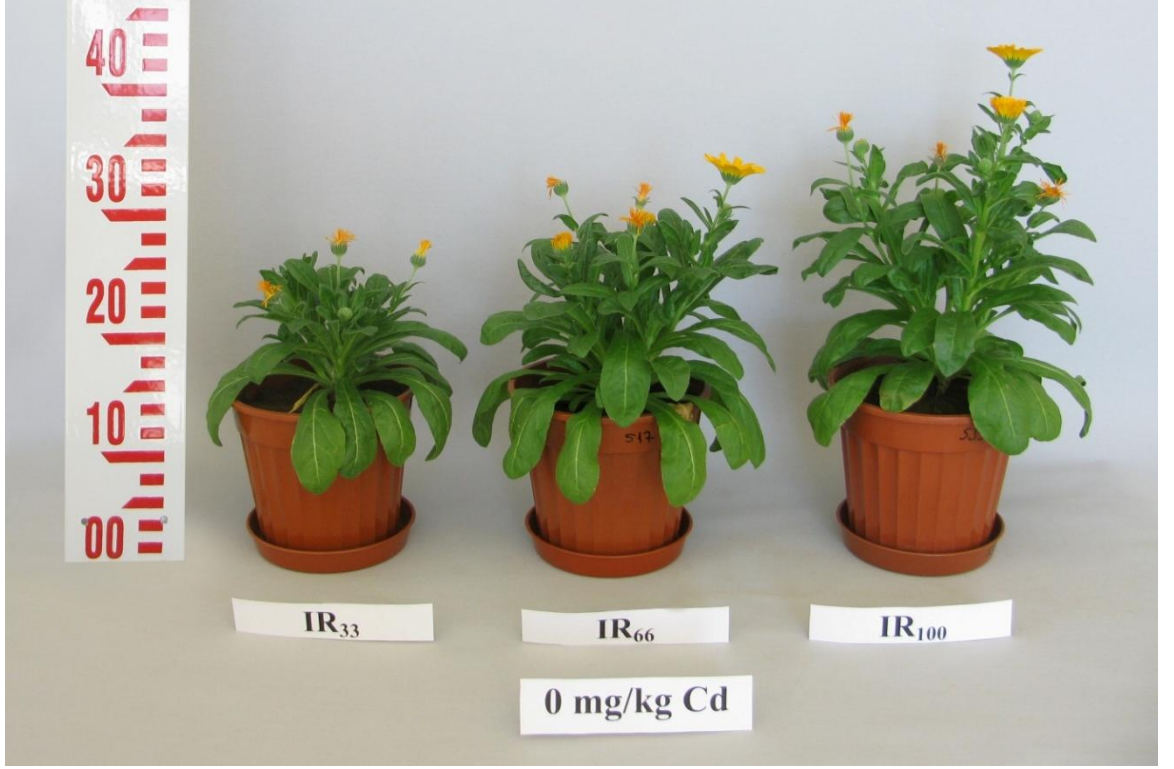


Şekil 4.2. Konulara ilişkin evapotranspirasyon eğrileri

4.2 Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarının Bitkinin Morfolojik Özelliklerine Etkileri

Bitkilerin yetiştirme dönemi içerisinde alınan morfolojik gözlemler sonucunda bitkilerde su stresi ya da Cd uygulamasına bağlı herhangi bir semptom olup olmadığı gözlenmiştir. Sulama suyu düzeyleri ve Cd dozları bitki boylarında ve çiçeklenme sayılarında farklı tepkilere neden olduğu saptanmıştır. Sulama düzeyi arttıkça bitkilerin boyları daha uzun fakat Cd düzeyi arttıkça bitkilerin boyları daha kısa olarak

gözlemlenmiştir. Yaprakların genel görünümü ve renklerinde önemli sayılabilecek farklılıklar gözlenmemiştir (Şekil 4.3-4.9).

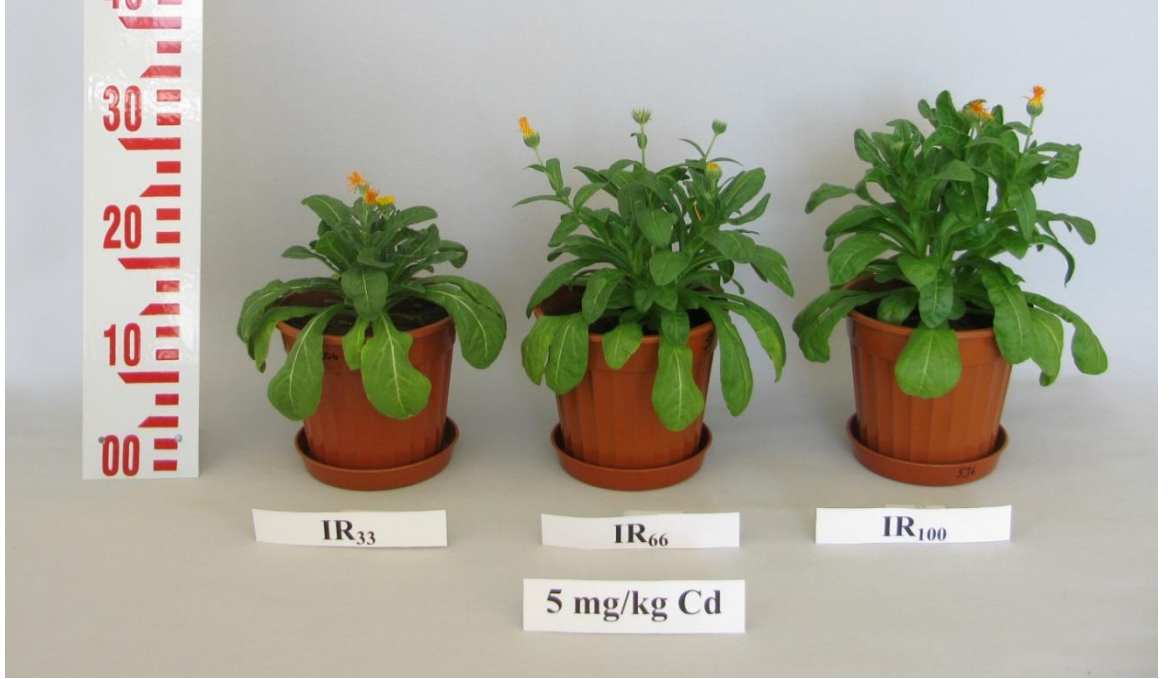


Şekil 4.3. Cd0 dozunda farklı sulama düzeylerinin bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi

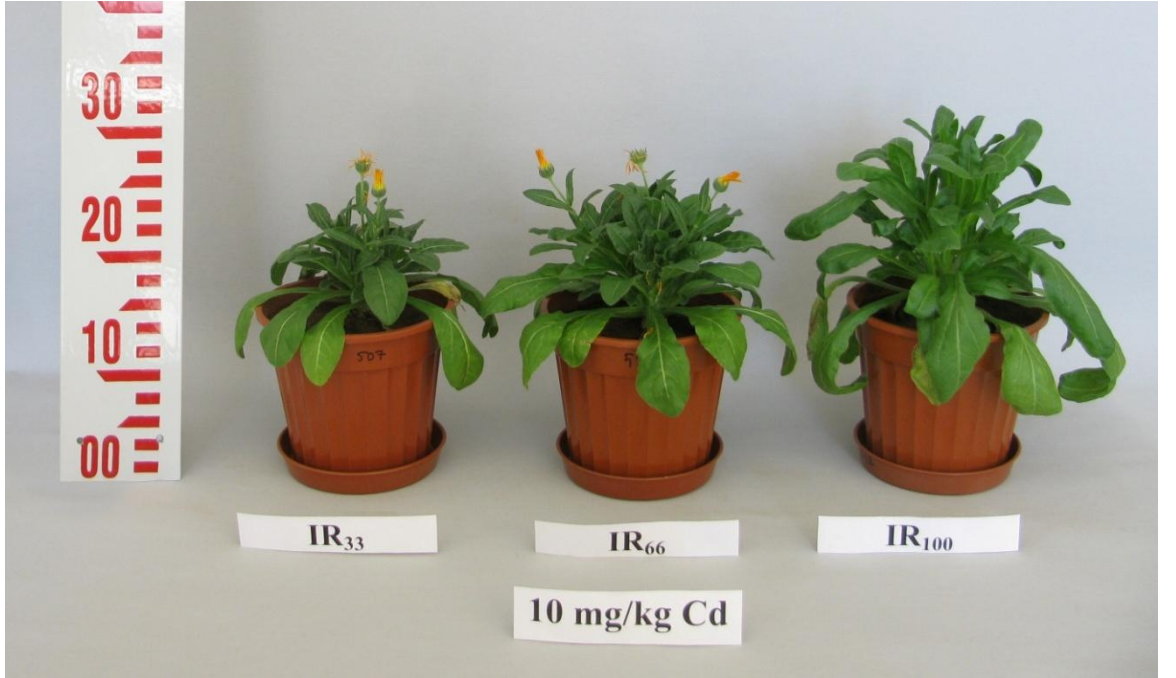
Kadmiyum toksisite belirtileri kolaylıkla belirlenebilir. En belirgin toksisite bitki büyümesinde yavaşlama ve yapraklarda görülen klorozdur (sararmadır). Kloroz toksik metallerin etkileşimi ve Fe eksikliğinden dolayı meydana gelir. Aşırı Cd birikiminden kaynaklanan kloroz yapraklardaki Fe ile doğrudan ya da dolaylı etkileşmeden dolayı ortaya çıkar. (Doğan ve Saygıdeğer, 2009, Liu ve ark., 2006, Das ve ark., 1997). Elde ettiğimiz sonuçlara göre *Calendula officinalis* bitkisi 20 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar herhangi bir toksisite belirtisi göstermezken Cd dozu arttıkça bitki boyunda kontrole göre azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Doğan ve Saygıdeğer (2009)'a göre, Root ve ark. (1975) yaptıkları çalışmada Cd tarafından indüklenen klorozun Fe:Zn oranındaki değişimden kaynaklandığını

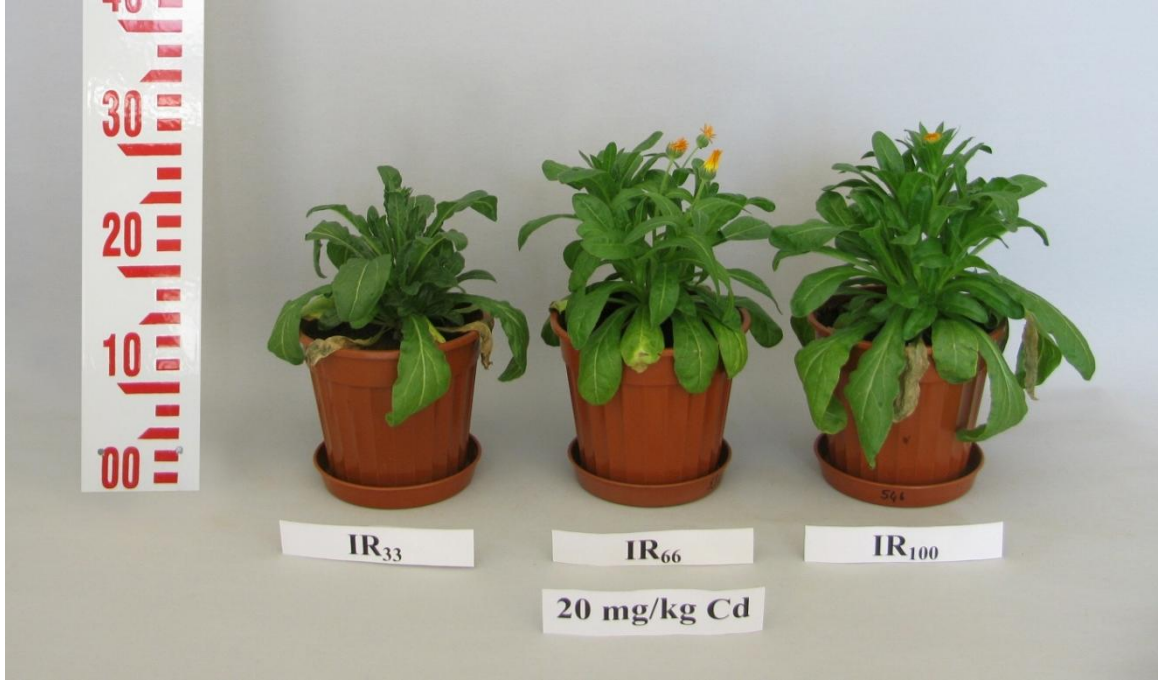
bildirmişlerdir. Yine Das ve ark., (1997)'nin bildirdiğine göre Haghiri (1973), büyüme ortamındaki yüksek Cd içeriğinin bitkinin Fe alımını baskıladığını tespit etmiştir.



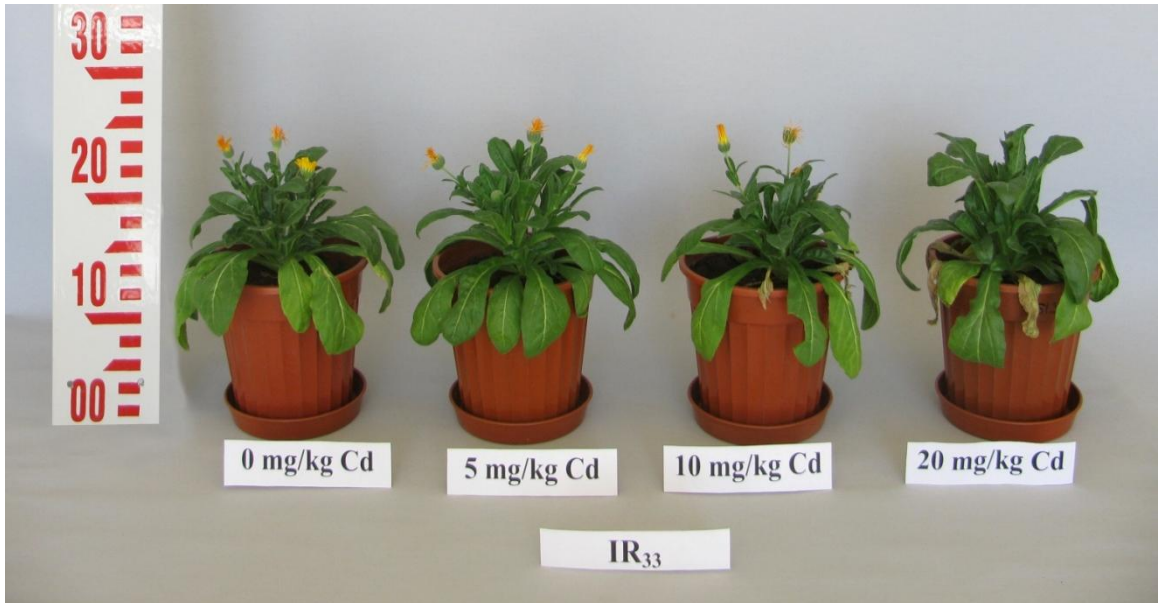
Şekil 4.4. Cd₅ dozunda farklı sulama düzeylerinin bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi



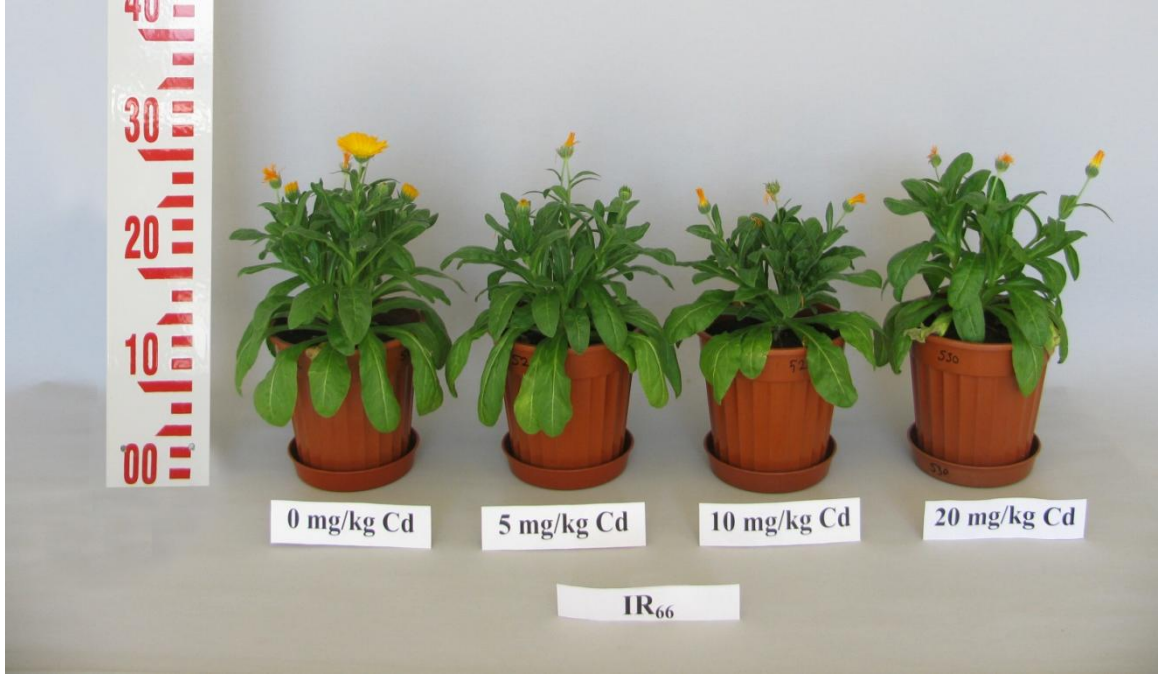
Şekil 4.5. Cd₁₀ dozunda farklı sulama düzeylerinin bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi



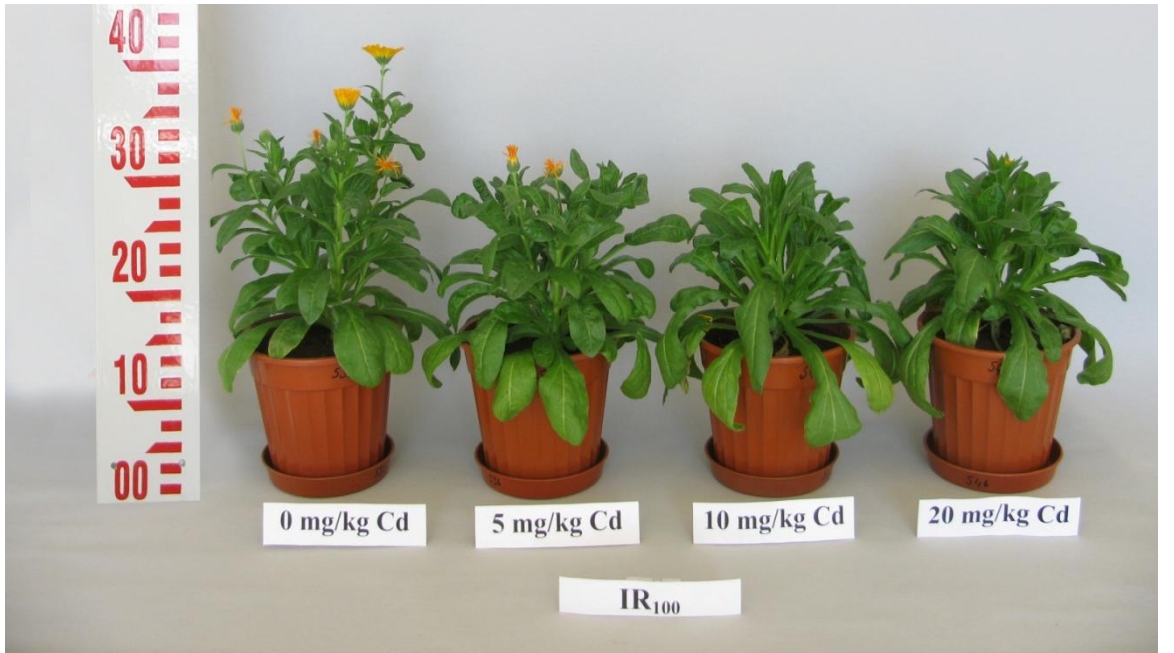
Şekil 4.6. Cd₂₀ dozunda farklı sulama düzeylerinin bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi



Şekil 4.7. SD₃₃ düzeyinde farklı Cd dozlarının bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi.



Şekil 4.8. SD₆₆ düzeyinde farklı Cd dozlarının bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi



Şekil 4.9. SD₁₀₀ düzeyinde farklı Cd dozlarının bitkilerin morfolojik özelliklerine etkisi

Çiçeklenme sayıları da, sulama düzeyleri ve Cd düzeylerine göre farklılık göstermiştir. Aynı sulama düzeyi içindeki bitkilerde Cd miktarı arttıkça çiçeklenme miktarı azalmıştır. En çok çiçeklenme SD₃₃ sulama düzeyinin 0 mg Cd kg⁻¹ ve SD₁₀₀ sulama düzeyinin 0 mg Cd kg⁻¹ konularında gerçekleşmiştir. Sadece SD₃₃ sulama düzeyinin 20 mg Cd kg⁻¹ konusunda hiç çiçeklenme olmamıştır. Konulara ilişkin toplam çiçeklenme miktarı Çizelge 4.3’de verilmiştir. İstatiksel olarak Cd düzeyinin çiçeklenme miktarı üzerine etkisi % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3. Konulara ilişkin çiçeklenme sayıları

Konular	Çiçek Sayısı				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	8.00	5.75	2.50	0.00	4.06
SD ₆₆	7.00	6.75	3.75	4.75	5.56
SD ₁₀₀	8.25	6.25	4.75	3.00	5.56
Cd _{ort}	7.75	6.25	3.67	2.58	

Çizelge 4.4. Konulara ilişkin çiçeklenme miktarının istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Çiçeklenme Miktarı	12,000 ns	66,910 **	6,306 ns

Bitki gelişimi için mutlak gerekli element olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi bitkilerin vejetatif ve generatif organlarının gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Asri ve Sönmez, 2011)

4.3 Sulama Düzeyleri ve Kadmiyum Dozlarının Yaprakların Klorofil İçeriklerine Etkileri

Yapılan uygulamaların bitki klorofil içeriklerine etkisini anlamak amacıyla, yaprakların klorofil içerikleri klorofil-metre (SPAD-metre) cihazı ile SPAD değerleri ölçülerek belirlenmiştir. Klorofil Metre cihazı yaprakların klorofil içeriğini hızlı ve pratik olarak saptama olanağı sağlamaktadır. Bu özelliğinden dolayı, son dönemlerde birçok çalışma da yaygın olarak kullanılmaktadır (Göksün, 2009). Deneme bitkilerinin hasat edilmesinden önce, alt ve üst yapraklarında yapılan klorofil ölçüm sonuçları Çizelge 4.5 'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarında bitki yapraklarının klorofil içerikleri (SPAD değeri)

Konular	Üst Yapraklarda					Alt Yapraklarda				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	44.93	43.40	43.18	45.53	44.26	36.30	31.03	32.88	30.25	32.62
SD ₆₆	43.08	47.80	45.85	45.05	45.44	38.20	37.43	36.20	38.85	37.67
SD ₁₀₀	47.08	40.70	43.75	44.05	43.90	45.93	39.58	34.23	37.65	39.35
Cd _{ort}	45.03	43.97	44.26	44.88		40.14	36.01	34.44	35.58	

Ölçümler sonucunda elde edilen değerlerden, üst (genç) yapraklardaki klorofil içeriklerinin alt (yaşlı) yapraklardakinden daha yüksek olduğu çok net olarak görülmektedir. Hem alt hem de üst yapraklarda Cd uygulanmayan bitkilerin klorofil içeriklerinin Cd uygulanan bitkilere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Kadmiyumun toksisite belirtileri öncelikle yaşlı yapraklarda görülmektedir (Daghan, 2004). Dolayısıyla yaşlı yapraklarda biriken metaller hücrelere zarar vererek fotosentezi de olumsuz etkilerler. Bu nedenle yaşlı yapraklarda klorofil içeriği üst yapraklardan daha düşüktür. Kadmiyum uygulanmayan bitkilerde alt yaprak klorofil içerikleri 40.14 iken, bu değer Cd uygulanan konularda 34.44 ile 36.01 SPAD aralığında değişmiştir. Benzer şekilde üst yapraklarda Cd uygulanmayan konuda klorofil içeriği 45.03 iken Cd uygulananlarda 43.97 ile 44.88 SPAD aralığında değişmiştir. Cd uygulanmayan ve

uygulanan konular arasındaki fark alt yaprakların klorofil içeriğinde daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Alt yapraklarda SD₃₃ sulama düzeyinde 32.62 olan değer sulama düzeyi arttıkça (SD₆₆ ve SD₁₀₀) sırasıyla 37.67 ve 39.35 spad değerine yükselmiştir. Üst yapraklarda ise sulama düzeyleri arasında önemli bir farklılık saptanmamış hatta sulama düzeyi arttıkça önemsiz düzeyde de olsa klorofil içeriğinde azalma belirlenmiştir. Hemen hemen tüm sulama düzeylerinde Cd dozu arttıkça klorofil içeriği azalmış ama Cd₂₀ konusunda tekrar artış göstermiştir. Yapılan istatistiksel analiz sonucunda sulama düzeylerinin bitkilerin alt yaprak klorofil içeriklerine etkisi %1 oranında önemli bulunurken, Cd dozlarının bitkinin alt yaprak klorofil içeriklerine etkisi % 5 oranında önemli bulunmuştur (Çizelge 4.6).

Bazı ağır metallerin fotosentetik aktiviteyi etkilediği bilinmekle beraber Cd'un fotosentetik aktiviteyi etkileyen en önemli inhibitör olduğu Prasad (1999) tarafından bildirilmiştir. Benzer şekilde, Quiros ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada Cd uygulamalarının *Brassica napus* bitkisinin total klorofil içeriğini azalttığını bildirmişlerdir.

Kadmiyum, biyomas üretimi ve beslenme kalitesini azalmasının yanı sıra, fotosentezi engellemekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır. (Januskaitiene, 2010; Asri ve Sönmez 2011). Aşırı kadmiyum dozlarının klorofil biyosentezini bozmasının en önemli nedeni klorofil biyosentezinde görev yapan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipitlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Asri ve Sönmez, 2011).

Denemeler sırasında gözle yapılan gözlemlerde de uygulanan konulara bağlı olarak yaprak renklerinde belirgin bir farklılık saptanmamıştır. Dolayısıyla ne su stresi ne de ağır metal dozlarına bağlı bitkilerde toksisite saptanmamıştır. Mayiwa (2006), çim bitkisinde yüksek Cd konsantrasyonu belirlemesine karşın, bitkide gözle görülebilir toksisitenin oluşmadığını açıklamıştır. Benzer durum, Göksün (2009) tarafından tütün bitkisinde yapılan su stresi ve ağır metal dozu uygulamasıyla ilgili çalışmada da gözlenmemiştir. Sonuç olarak, *Calendula* bitkisi 20 mg Cd kg⁻¹ dozuna dayanıklı

olduğu ve toksisite belirtilerini gözlemlmek için daha yüksek dozda Cd uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 4.6. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarında bitkilerin üst ve alt yaprak klorofil içeriklerine yönelik istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Alt Yaprak	196,483 **	74,432 *	28,184 ns
Üst Yaprak	10,517 ns	3,021 ns	22,361 ns

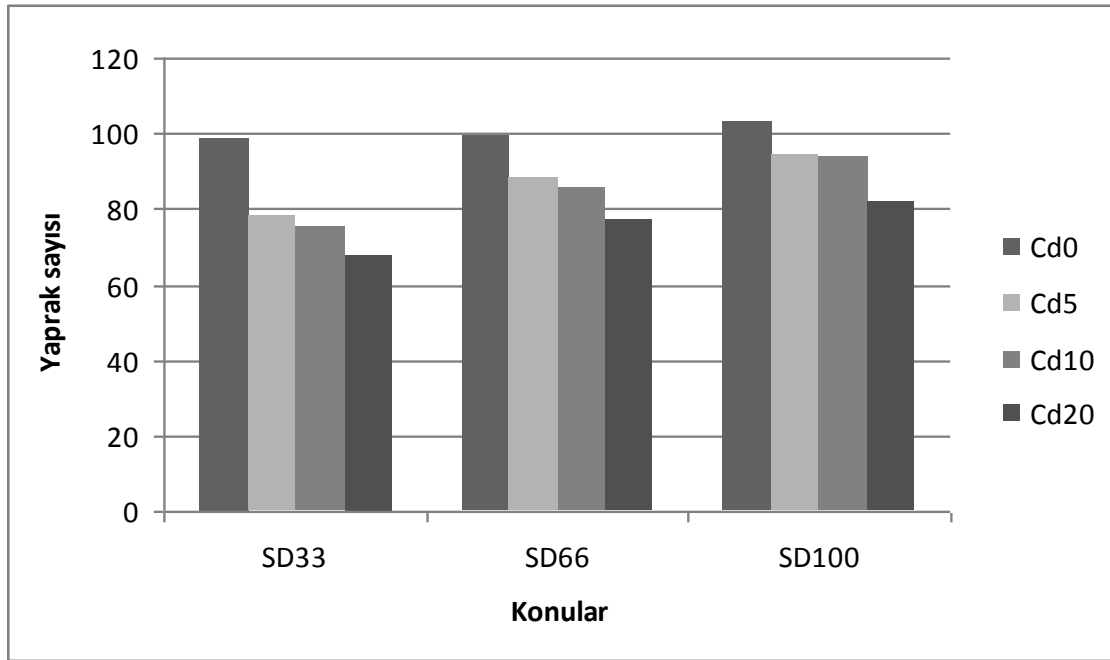
4.4. Su ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitki Boy Gelişimi İle Yaprak Sayısı Üzerine Etkileri

Bitkilerin hasadı sırasında, bitkilerdeki yaprak sayısı ve alanları ile bitki boylarına ilişkin ölçüm ve gözlemler de yapılmıştır. Söz konusu değerlerin uygulanan konulara ilişkin değişimi Çizelge 4.7-4.9' da ve Şekil 4.10' da verilmiştir.

Bitkilerin yaprak sayıları Cd dozları arttıkça azalma gösterirken Sulama düzeyleri arttıkça artış göstermiştir (Çizelge 4.7). En fazla yaprak sayısı SD₁₀₀ sulama düzeyinin C₀ konusunda 103 yaprak olarak tespit edilmiştir. Aynı sulama düzeyi içerisinde bitki yaprak sayıları Cd dozu arttıkça azalma gösterirken, aynı Cd dozu içerisinde sulama düzeyleri arttıkça yaprak sayılarının da artış görülmüştür. C₀ dozunda farklı sulama düzeylerinde, yaprak sayıları arasındaki fark minimum düzeyde gerçekleşmişken, diğer Cd dozlarında farklı sulama düzeyleri arasındaki fark birbirinden daha belirgin olarak ayrılmıştır (Şekil 4.10). İstatistiksel olarak Cd düzeylerinin etkisi % 1 oranında önemli bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.7 Konulara ilişkin yaprak sayısı

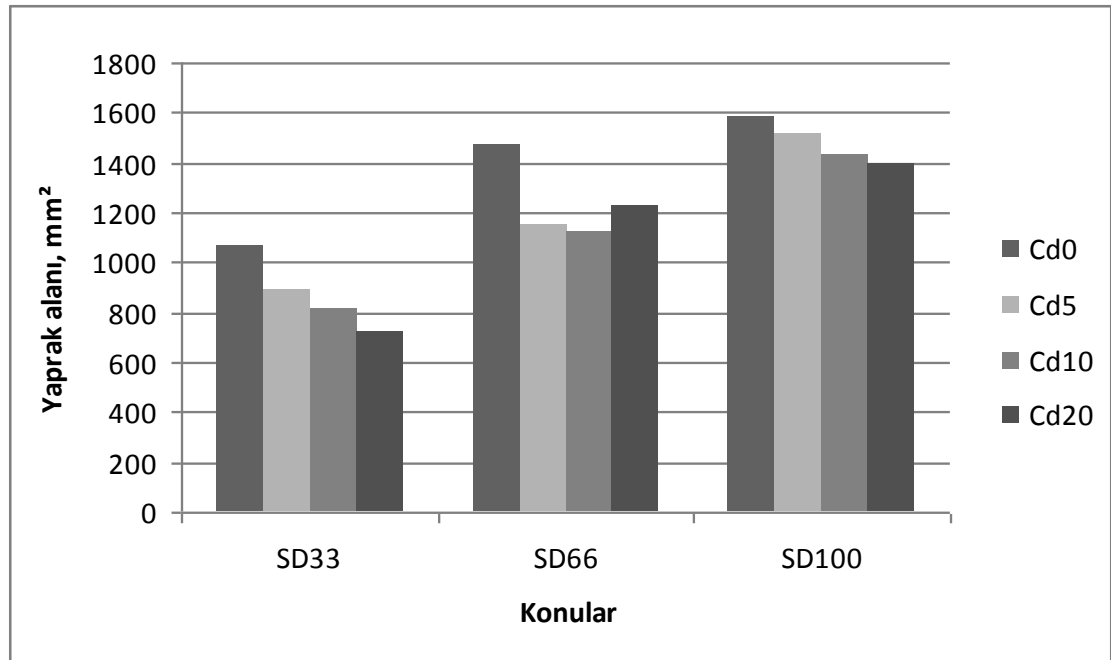
Konular	Yaprak sayısı, adet				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	99.00	78.25	75.25	67.50	80.00
SD ₆₆	99.50	88.50	86.00	77.00	87.75
SD ₁₀₀	103.00	94.50	93.75	82.00	93.31
Cd _{ort}	100.50	87.08	85.00	75.50	



Şekil 4.10. Konulara ilişkin yaprak sayısı

Çizelge 4.8. Konulara ilişkin yaprak alanı

Konular	Yaprak alanı, mm ²				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	1066	887	811	720	871
SD ₆₆	1469	1152	1129	1232	1245
SD ₁₀₀	1580	1522	1431	1394	1482
Cd _{ort}	1372	1187	1124	1115	



Şekil 4.11. Konulara ilişkin yaprak alanı

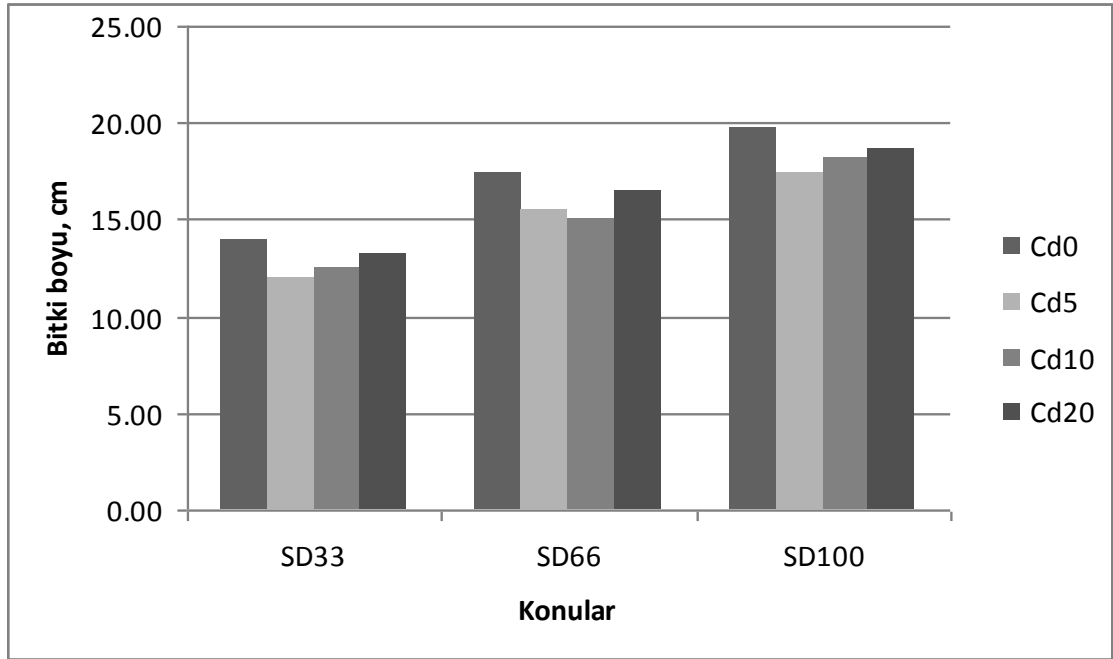
Çizelge 4.9. Konulara ilişkin yaprak sayısı ve yaprak alanının istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Yaprak Sayısı	715,271 **	1274,021 **	45,354 ns
Yaprak Alanı	1516371.187 **	170655.243 **	20543.493 ns

Bitki boylarında da yine konulara göre farklılık gözlemlenmiştir. Bitki boyunun konulara göre değişimi Çizelge 4.10'da verilmiştir. Sulama düzeyleri arttıkça bitki boylarında da artış olmuştur. Bitki boyu, SD₃₃ konusundan SD₆₆ ve SD₁₀₀ konusuna doğru benzer şekilde artmıştır. Aynı sulama düzeyi içerisinde en yüksek bitki boyu Cd uygulanmayan bitkilerde gözlemlenmiştir. Kadmiyum uygulanan bitkilerde ise, Cd dozları arttıkça bitki boylarında da artış gözlenmiştir. Bosiacki (2008) yaptığı çalışmada toprağa uygulanan Cd miktarı arttıkça *Helianthus annuus* ve *Salvia splendens* bitkilerinin boylarında artış tespit ederken, *Tagetes erecta* bitkisinde azalma tespit etmiştir.

Çizelge 4.10. Konulara ilişkin bitki boyunun değişimi

Konular	Bitki boyu (cm)				
	Cd0	Cd5	Cd10	Cd20	SDort
SD33	14.0	12.0	12.5	13.3	12.9
SD66	17.5	15.5	15.0	16.5	16.1
SD100	19.8	17.5	18.3	18.8	18.6
Cdort	17.1	15.0	15.3	16.2	



Şekil 4.12 Konulara ilişkin bitki boyunun değişimi

İstatistiksel analizler sonucunda bitkilere uygulanan sulama düzeylerinin bitki boylarına etkisi % 1 önem seviyesinde önemli bulunurken, uygulanan Cd düzeylerinin bitkilerin boylarına etkisi % 5 önem seviyesindedir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 Bitki boyunun değişiminin istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Bitki Boyu	127,312 **	10,806 *	0,368 ns

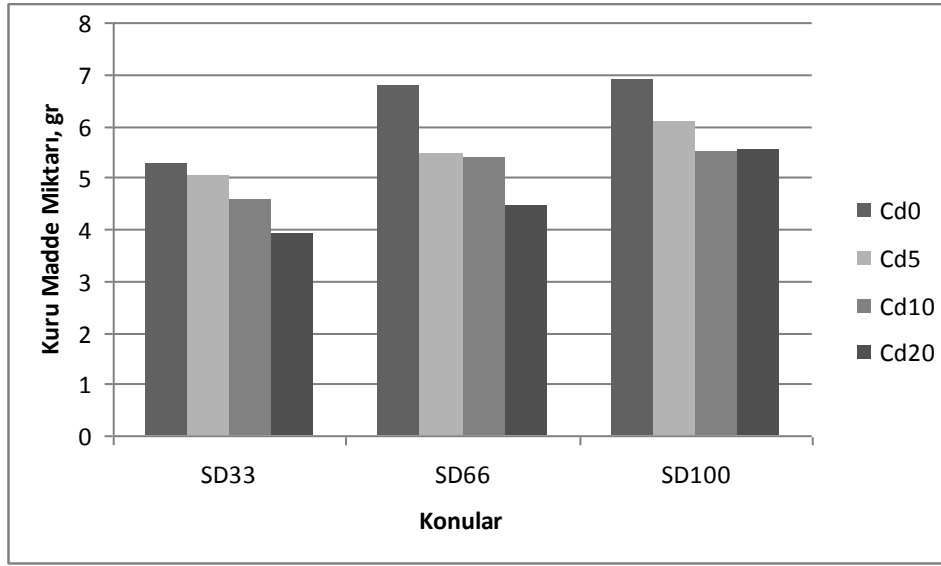
4.5. Sulama ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitki Kuru Ağırlığı Üzerine Etkileri

Sulama düzeyleri ve Cd dozlarının bitki kuru ağırlığına etkisi Çizelge 4.12’de verilmiştir. Sulama düzeylerindeki artışla birlikte bitkilerin kuru ağırlıkları artarken, Cd dozlarındaki artışla azalma göstermiştir. En fazla kuru ağırlık SD₁₀₀ sulama düzeyi uygulamasından elde edilmiştir. Uygulanan Cd dozu arttıkça, kuru madde miktarının azaldığına ilişkin benzer sonuçlar Bosiacki (2008)’de de ortaya konmuştur. Bosiacki (2008), *Helianthus annuus*, *Salvia splendens* ve *Tagetes erecta* bitkileri üzerine yaptığı çalışmada, toprağa 0, 1, 5, 10 mg Cd dm⁻³ ağır metal uygulamıştır. Yapılan çalışmada *Helianthus annuus* ve *Salvia splendens* bitkilerinde Cd dozu artışıyla kuru madde miktarlarında azalma olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.12. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkilerin kuru ağırlıkları.

Konular	Kuru Ağırlık (g/bitki)				
	Cd0	Cd5	Cd10	Cd20	SDort
SD33	5.3	5.0	4.6	3.9	4.7
SD66	6.8	5.5	5.4	4.5	5.5
SD100	6.9	6.1	5.5	5.6	6.0
Cdort	6.3	5.5	5.2	4.7	

Kadmiyum dozları arttıkça kuru madde miktarında göreceli olarak azalma olmuştur. Her sulama düzeyinde en yüksek kuru madde miktarı Cd uygulanmayan konudan(Cd₀) elde edilmiştir(Şekil 4.13). Bazı bitkilerin Cd’a toksisitesinden dolayı biyomas üretimi ve fotosentez aktivitesinde azalmalar meydana gelmektedir(Januskaitiene, 2010).



Şekil 4.13. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkilerin kuru ağırlıklarındaki değişim

Bitkilere uygulanan sulama düzeyleri ve Cd dozlarının istatistiksel analiz sonucunda bitkilerin kuru ağırlığı üzerine etkisi % 1 oranında önemli bulunmuştur. Söz konusu bilgiler Çizelge 4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkilerin kuru ağırlıklarındaki değişimin istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Kuru Ağırlık	6,901 **	6,007 **	0,401 ns

4.6. Sulama ve Kadmiyum Uygulamalarının Bitkideki Bitki Besin Elementi Alımına Etkileri

Araştırma konularına ait bitki örneklerinde yapılan analizler sonucunda belirlenen ağır metallardan Cd, Cu, Mn, Fe, Zn, P, K ve N konsantrasyonları Çizelge 4.14-4.26' da verilmiştir.

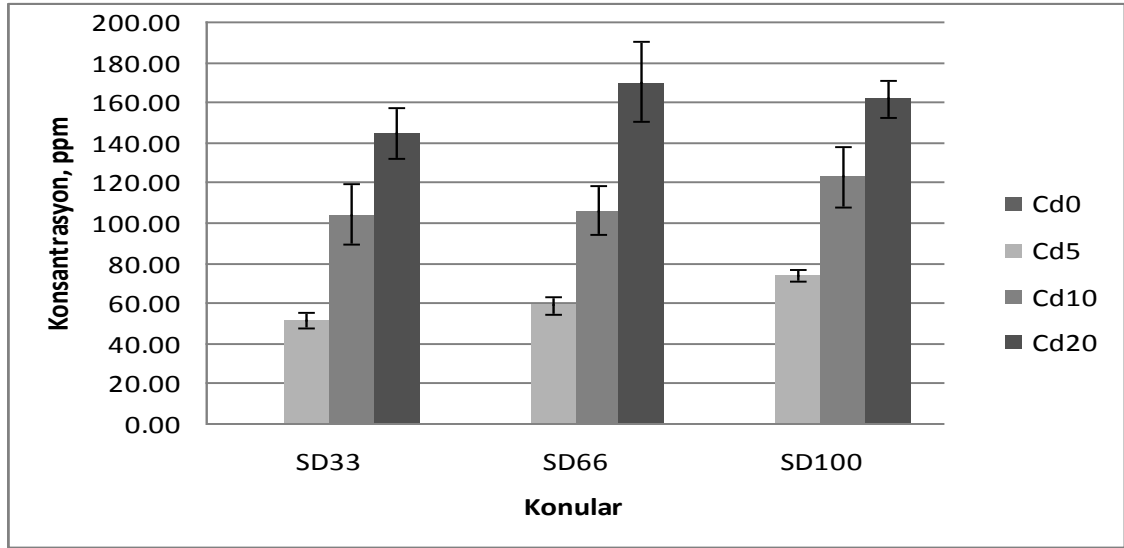
Kadmiyum uygulanmayan konunun ortalama Cd konsantrasyonu 1 ppm'in altında olması sebebiyle ölçülemediği. Bitkideki Cd konsantrasyonları Cd₅, Cd₁₀ ve Cd₂₀ konularında sırasıyla 61.36, 111.13 ve 158.92 ppm olarak bulunmuştur. Kadmiyum dozunun 5 ppm'den 10 ppm'e çıkması ile bitkideki Cd konsantrasyonu çok büyük oranda değişmiştir. Benzer tavır Cd dozunun 10 ppm'den 20 ppm'e çıktığında da gözlenmiştir. Dolayısıyla, uygulanan Cd dozu katlanarak artmasına karşın bitkideki Cd konsantrasyonu artış eğiliminde azalma görülmektedir.

Sulama düzeylerine göre, en stresli konudan en stressiz konuya doğru, bitkideki Cd konsantrasyonları artmaktadır. En fazla Cd alımı SD₁₀₀ konularında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Cd konsantrasyonları

Konular	Cd (ppm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD_{ort}
SD ₃₃	*	51.45	104.26	144.62	100.11
SD ₆₆	*	58.85	106.26	170.14	111.75
SD ₁₀₀	*	73.79	122.87	162.00	119.55
Cd _{ort}	*	61.36	111.13	158.92	

(*):Cd konsantrasyonu 1 ppm'in altında olması sebebiyle ölçülemediği.



Şekil 4.14. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Cd konsantrasyonları

İstatistiksel olarak uygulanan sulama düzeyleri ve Cd düzeylerinin bitkilerin Cd konsantrasyonlarına etkisinin % 1 önem seviyesinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Bitkideki Cd konsantrasyonlarına yönelik istatistiksel analiz sonucu

Konular	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Cd	1148.901 **	28553.853 **	233.259 ns

Bitkilerdeki kuru madde miktarına bağlı olarak Cd içeriği incelendiğinde (Çizelge 4.16) en az Cd içeriği $222.21 \text{ mg bitki}^{-1}$ ile SD₃₃ sulama düzeyinin Cd uygulanmayan konusunda, en fazla Cd içeriği ise $896.73 \text{ mg bitki}^{-1}$ ile SD100 sulama düzeyinin 20 mg Cd kg^{-1} konusunda olduğu görülmüştür. Çizelge 4.16 incelendiğinde hem sulama suyu miktarındaki artış hem de Cd dozlarındaki artışın bitkinin Cd içeriğinde artışa sebep olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum suda çözünürlüğü yüksek olan

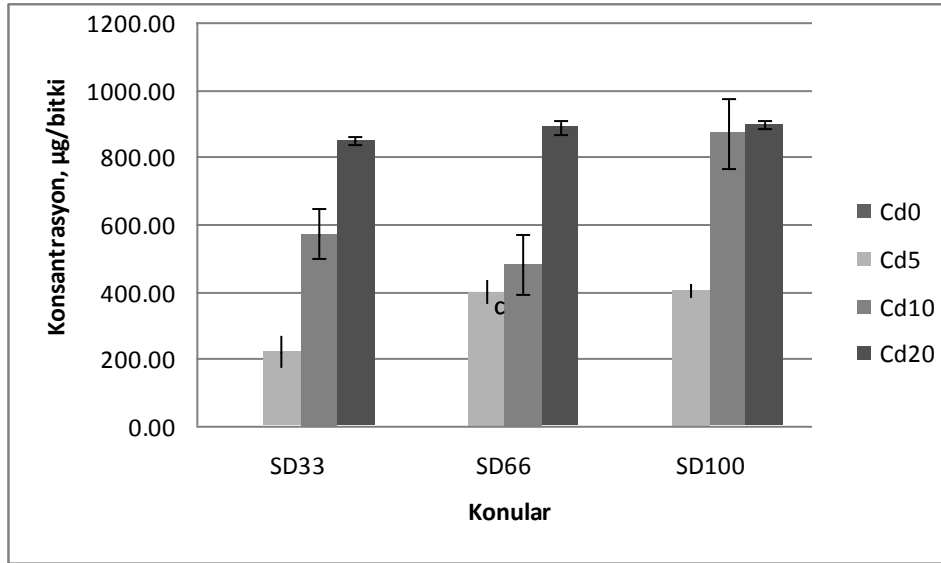
bir metaldir. Sulama düzeylerinde artışla birlikte Cd alımı artmıştır. Bu sonuç su düzeylerindeki artışla birlikte bitki biyomasında görülen nispi artışla (Çizelge 4.13) ilişkili olabilir.

Bosiacki (2008), topraktan en fazla Cd ağır metal alımını *Tagetes erecta* bitkisinin gerçekleştirdiğini saptamıştır. Yapılan bu çalışmada 3 farklı süs bitkisinde de toprağa uygulanan ağır metal oranı arttıkça topraktan alınan ağır metal oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.16. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin kuru madde miktarına bağlı olarak bitkideki Cd içeriği

Konular	Cd ($\mu\text{g/bitki}$)				
	Cd0	Cd5	Cd10	Cd20	SD_{ort}
SD ₃₃	*	222.21	573.22	848.93	548.12
SD ₆₆	*	400.59	482.28	889.98	590.95
SD ₁₀₀	*	404.71	872.54	896.73	724.66
Cd _{ort}	*	342.50	642.68	878.55	

(*):Cd konsantrasyonu 1 ppm'in altında olması sebebiyle ölçülemediği.

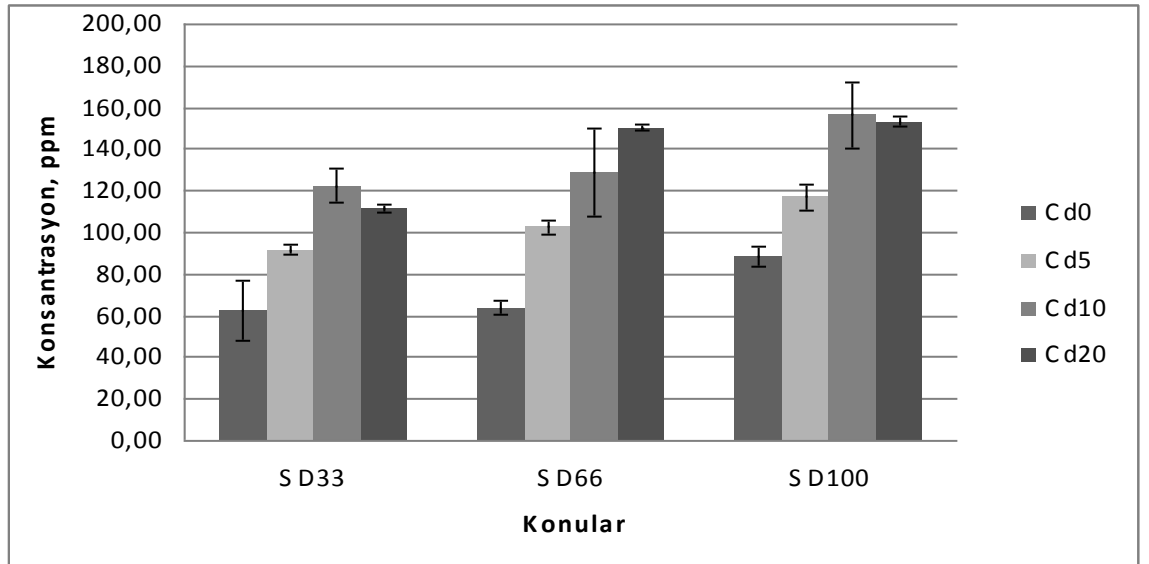


Şekil 4.15. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin kuru madde miktarına bağlı olarak bitkideki Cd içeriği

Bitkilerin Mn konsantrasyonları incelendiğinde, sulama düzeyleri ve Cd dozları arttıkça Mn konsantrasyonlarında da artış olduğu gözlenmiştir. Bitkilerdeki Cd konsantrasyonları arttıkça doğru orantılı olarak Mn konsantrasyonlarında artış göstermiştir. Sulama düzeyleri arttıkça Mn konsantrasyonlarında çok az bir artış gözlenirken, Cd dozunun artışıyla Mn konsantrasyonunda daha fazla bir artış olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.17 ve Şekil 4.16).

Çizelge 4.17 Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Mn konsantrasyonları

Elementler	Mn (ppm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	62.45	91.76	122.42	111.79	97.11
SD ₆₆	63.89	102.83	128.92	150.33	111.49
SD ₁₀₀	88.37	116.92	156.33	153.14	128.69
Cd _{ort}	71.57	103.84	135.89	138.42	



Şekil 4.16. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Mn konsantrasyonları

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda bitkilere uygulanan sulama düzeylerinin ve Cd düzeylerinin bitkilerin Mn konsantrasyonlarına etkisinin % 1 önem seviyesinde önemli olduğu saptanmıştır, Buna karşın, sulama düzeyi ve Cd etkileşiminin % 5 önem seviyesinde olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Mn konsantrasyonlarına yönelik istatistiksel analiz sonucu

Element	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Mn	3059.240 **	10867.527 **	419.966 *

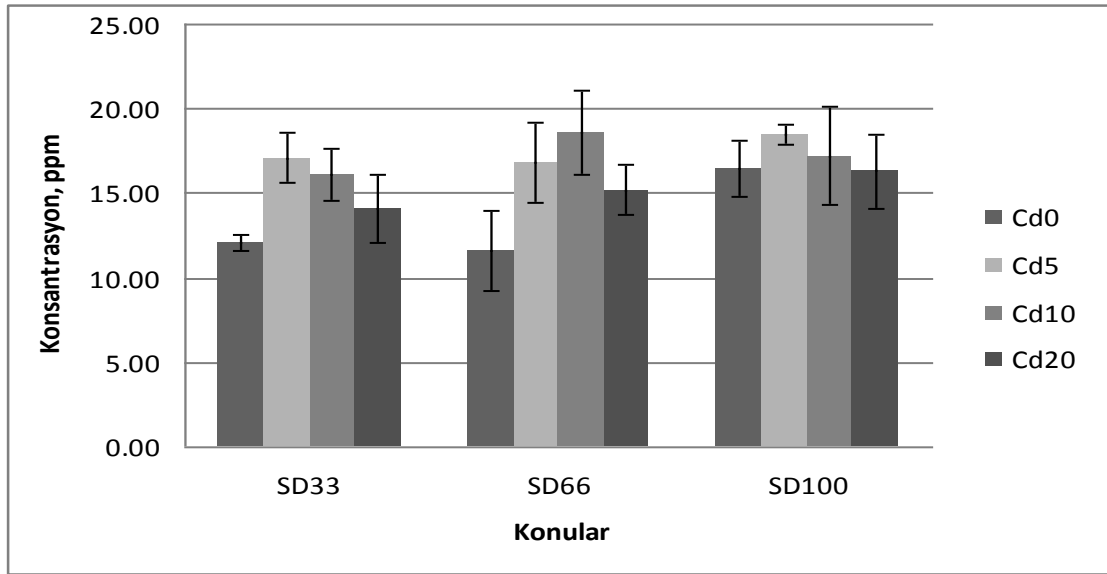
Bitkilerin Zn konsantrasyonları hem SD₃₃ hem SD₆₆ hem de SD₁₀₀ sulama düzeylerinde 5 mg Cd kg⁻¹ ve 10 mg Cd kg⁻¹ konularında en yüksek değerdedir. En düşük Zn konsantrasyonu 11.60 ppm ile SD₆₆ sulama düzeyinin 0 mg Cd kg⁻¹ konusunda gerçekleşmiş olmasına karşın en yüksek Zn konsantrasyonu 18.60 ppm ile SD₆₆ sulama düzeyinin 10 mg Cd kg⁻¹ konusunda belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak toprağa uygulanan sulama miktarları ve Cd dozları ile Zn konsantrasyonları arasında ilişki olmadığı tespit edilmiştir. Angle ve ark.(2003) ile Göksün(2009) tarafından yapılan çalışmalarda da paralel sonuçlar elde edilmiştir.

Cd konsantrasyonu 20 mg Cd kg⁻¹ dozuna kadar artış gösterirken Zn konsantrasyonu 10 mg Cd kg⁻¹ dozundan sonra azalma göstermiştir (Çizelge 4.19 ve Şekil 4.17).

Sulama düzeyleri ve Cd dozlarının bitkilerin Zn konsantrasyonlarına etkisi % 1 önem seviyesinde önemli olduğu tespit edilirken Sd x Cd etkileşiminin % 5 önem seviyesinde istatistiksel olarak önemli olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.19. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Zn konsantrasyonları

Konular	Zn (ppm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	12.10	17.10	16.10	14.10	14.85
SD ₆₆	11.60	16.80	18.60	15.20	15.55
SD ₁₀₀	16.50	18.50	17.20	16.30	17.13
Cd _{ort}	13.40	17.47	17.30	15.20	



Şekil 4.17. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Zn konsantrasyonları

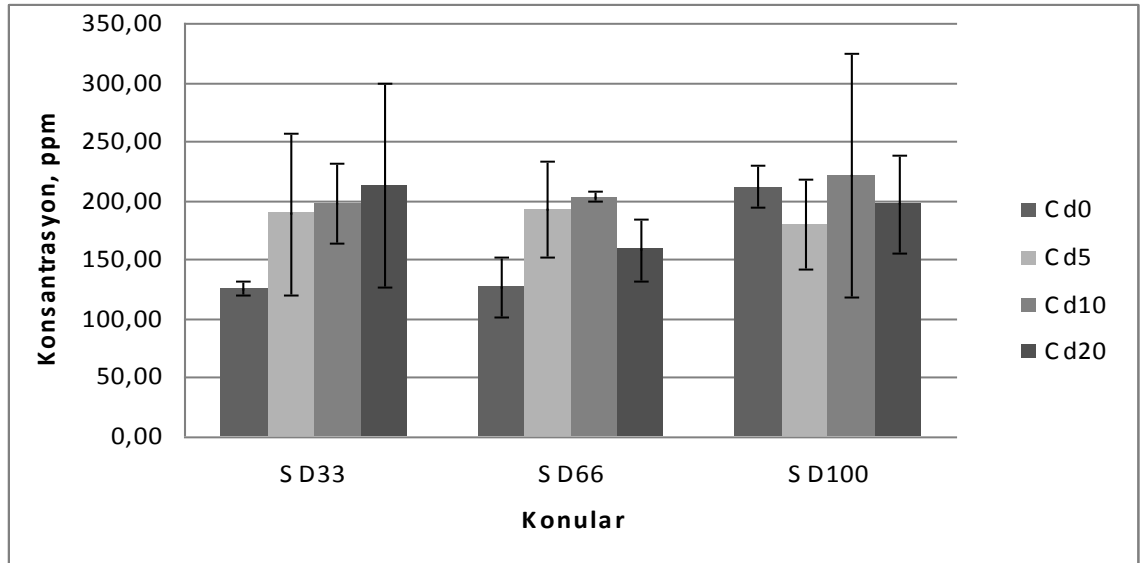
Çizelge 4.20. Farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Zn konsantrasyonlarına yönelik istatistiksel analiz sonucu

Elementr	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Zn	30.039 **	45.644 **	6.052 *

En fazla Fe konsantrasyonu, SD₁₀₀ sulama düzeyinin 5 mg Cd kg⁻¹ konusundan elde edilmiştir. En düşük Fe konsantrasyon değeri ise SD₃₃ sulama düzeyinin 0 mg Cd kg⁻¹ konusundan tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bitkilerdeki Fe konsantrasyonları toprağa uygulanan Cd dozları 20 mg Cd kg⁻¹ değerine kadar artış gösterirken, Cd₂₀ konusunda azalma yönünde bir tavır sergilemiştir. Sulama süzeylerinden en düşük Fe içeriği SD₆₆ sulama düzeyindeki konulardan elde edilmiştir (Çizelge 4.21 ve Şekil 4.18).

Çizelge 4.21. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Fe konsantrasyonları

Konular	Fe (ppm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	125.78	188.62	197.73	213.27	181.35
SD ₆₆	127.16	192.79	203.56	158.45	170.49
SD ₁₀₀	211.91	179.57	222.20	197.25	202.73
Cd _{ort}	154.95	186.99	207.83	189.66	



Şekil 4.18. Farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Fe konsantrasyonları

Bitkilerin Fe konsantrasyonu üzerine sulama düzeyleri ile SdxCd interaksyonu istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bunun yanında Cd dozlarının bitkideki Fe konsantrasyonlarına etkisi %5 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Fe konsantrasyonlarına yönelik istatistiksel analiz sonucu

Element	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
Fe	4033.930 ns	17376.819 *	9317.455 ns

Ağır metaller Fe'in yapraklara alınım ve taşınması dahil bazı bitki besin elementlerinin bitki tarafından alım ve dağıtımını da engellerler (Januskaitiene, 2010).

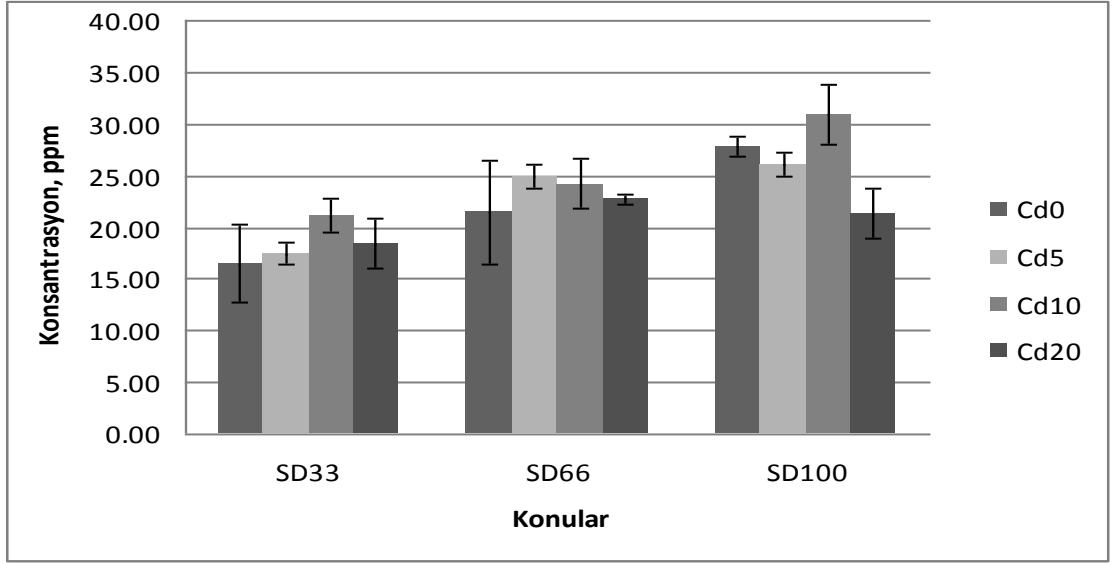
Elde edilen Cu konsantrasyonları incelendiğinde 10 mg Cd⁻¹ konusuna kadar aynı sulama düzeyi içerisinde Cu konsantrasyonları artış göstermiştir. Sadece 20 mg Cd

kg^{-1} uygulanmış topraklardaki bitkilerin Cu konsantrasyonlarında azalma görülmüştür. Aynı durum Fe konsantrasyonları içinde benzer şekilde gerçekleşmiştir. Sulama düzeylerinin ortalamaları 20 mg Cd kg^{-1} konularının Cu konsantrasyonları ile yakın sonuç vermiştir. Benzer durum kadmiyum dozlarının ortalaması ile SD_{66} sulama düzeyinin farklı Cd dozları arasında da mevcuttur (Çizelge 4.23 ve Şekil 4.19)

Liu ve ark. (2011)'nin *Lonicera japonica* bitkisi üzerine yaptıkları çalışmada Cd ağır metali konsantrasyonunun artışı ile Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonları arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kadmiyum dozu arttıkça *Lonicera japonica* bitkisinin Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarında azalmalar görülmüştür. Benzer şekilde *Calendula officinalis* bitkisinde de Zn konsantrasyonlarında 10 mg Cd kg^{-1} dozundan sonra Cu, Fe, Mn konsantrasyonlarında ise, 20 mg Cd kg^{-1} dozlarında azalmalar görülmüştür.

Çizelge 4.23. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Cu konsantrasyonları

Konular	Cu (ppm)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	16.52	17.42	21.16	18.41	18.38
SD ₆₆	21.44	24.92	24.24	22.73	23.33
SD ₁₀₀	27.77	26.00	30.92	21.29	26.49
Cd _{ort}	21.91	22.78	25.44	20.81	



Şekil 4.19. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Cu konsantrasyonları

Yapılan istatistiksel analiz sonucunda sulama düzeylerinin ve Cd dozlarının bitkilerin Cu konsantrasyonuna etkisi % 1 önem düzeyinde önemli bulunurken, SD x Cd etkileşimi % 5 oranında önemli bulunmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki Cu konsantrasyonlarına yönelik istatistiksel analiz sonucu

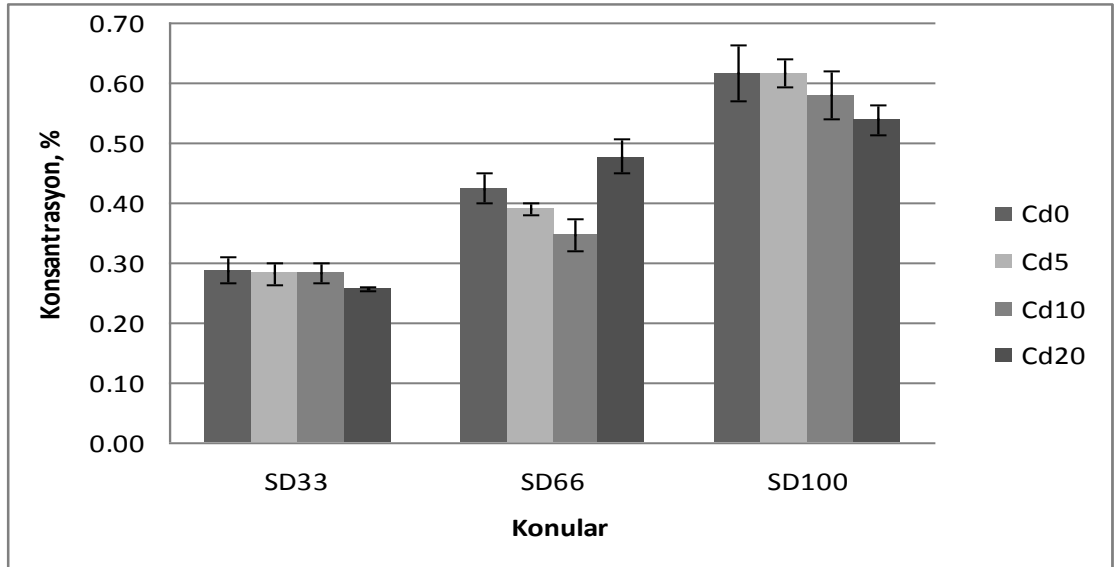
Element	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Dozu	SD x Cd
Cu	267.865 **	46.743 **	21.865 *

Bitkilerdeki P konsantrasyonu, su stresi uygulanan konularda tam sulama konusuna kıyasla azalmaktadır. Cd dozları arasında belirgin bir tavır gözlenmemektedir. Ancak, Cd dozları arttıkça P konsantrasyonu azalma eğilim göstermiş ama Cd20 konusuna gelindiğinde ise artış görülmüştür.

Cd konsantrasyonundan farklı olarak aynı sulama düzeyleri arasında toprağa uygulanan Cd dozunda artış oldukça azalma gösterirken, Cd konsantrasyonuna paralel olarak sulama düzeyleri arttıkça bitkilerde ki P yüzdeleride artış göstermiştir. SD₃₃ sulama düzeyinin 20 mg Cd kg⁻¹, SD₆₆ sulama düzeyinin 5 ve 10 mg Cd kg⁻¹, SD₁₀₀ sulama düzeyinin 10 ve 20 mg Cd kg⁻¹ konuları aynı sulama düzeylerine göre daha düşük P yüzdesine sahiptir (Çizelge 4.25 ve Şekil 4.20.).

Çizelge 4.25. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki P yüzdeleri

Elementler	P (%)				
Konular	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	0.29	0.28	0.28	0.26	0.28
SD ₆₆	0.42	0.39	0.35	0.48	0.41
SD ₁₀₀	0.62	0.62	0.58	0.54	0.59
Cd _{ort}	0.44	0.43	0.40	0.42	



Şekil 4.20. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki P yüzdeleri

İstatistiksel olarak sulama düzeylerinin, Cd dozlarının ve SD x Cd etkileşiminin bitkilerdeki P konsantrasyonlarına etkisinin % 1 önem düzeyinde olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki P yüzdelere yönelik istatistiksel analiz sonucu

Element	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Dozu	SD x Cd
P	0.387 **	0.003 **	0.008 **

Bitkilerin K yüzdeleri SD₃₃ sulama düzeyinde Cd dozları arttıkça azalma göstermiştir(Çizelge 4.27). SD₆₆ sulama düzeyinin 5 mg Cd kg⁻¹ ve 20 mg Cd kg⁻¹ konusunda diğer iki Cd dozlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Çizelge 4.28 incelendiğinde Cd düzeylerindeki farklılıkların bitkilerdeki K yüzdesine üzerine etkileri % 1 önem düzeyinde, sulama düzeyleri ve SD x Cd etkileşiminin bitkilerdeki K yüzdesi üzerine etkisi % 5 önem düzeyinde önemli bulunmuştur.

N yüzdeleri ise, sulama düzeylerinin azalmasıyla birlikte azalma eğilimi göstermiştir. Kadmiyum dozları yönünden N yüzdeleri değişken bir yapı sergilemiştir (Çizelge 4.27 ve Şekil 4.20). Benzer şekilde sulama düzeylerinin bitkilerdeki N yüzdesine etkisi % 1 ve SD x Cd etkileşiminin % 5 oranında önemli olduğu bulunurken Cd düzeylerinin bitkideki N yüzdesine etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.27. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki K ve N yüzdeleri

Elementler	K (%)					N (%)				
	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}	Cd ₀	Cd ₅	Cd ₁₀	Cd ₂₀	SD _{ort}
SD ₃₃	4.03	3.93	3.85	3.17	3.75	1.68	2.20	2.40	2.36	2.16
SD ₆₆	3.47	3.65	3.22	3.59	3.48	2.66	2.69	2.43	2.61	2.60
SD ₁₀₀	3.66	4.02	3.71	3.46	3.71	3.01	2.70	2.51	2.84	2.77
Cd _{ort}	3.72	3.87	3.59	3.41		2.45	2.53	2.45	2.60	

Çizelge 4.28. Sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarına ilişkin bitkideki K ve N yüzdelere yönelik istatistiksel analiz sonuçları

Elementler	Hata Kareler Ortalaması		
	Sulama Düzeyi, SD	Cd Düzeyi	SD x Cd
K	0,333 *	0,457 **	0,270 *
N	1,484 **	0,063 ns	0,256 *

Bitki tarafından su ve birçok besin elementlerinin (Ca, Mg, P ve K) alımı, taşınması ve kullanımının engellendiği saptanmıştır. Bitki sisteminde, Cd'un toksik etkileri Zn, Ca, Fe, Cu ve Mn gibi besin elementleri tarafından engellendiği veya alımının azaldığı gözlenmiştir (Das ve ark., 1997).

Asri ve Sönmez, (2011), Veselov ve ark. (2003)' ün yaptıkları bir çalışmada, buğday fidelerinin yetiştirildiği ortama Cd ilave edilmesinin bitkilerin K ve nitrat alımını azalttığı ve sürgün gelişimini engellediğini saptadıklarını bildirmişlerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Topraklar her geçen gün ağır metal ve diğer nedenlerden dolayı daha fazla kirliliğe maruz kalmaktadır. Toprakların temizlenmesi için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada biyolojik yöntemlerden biri olan, bitki yetiştirilerek toprakların temizlenmesi olarak bilinen fitoremediasyon yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmada bitki materyali olarak Asteraceae familyasının bir türü olan *Calendula officinalis* bitkisi kullanılmıştır. Hem dünyanın her bölgesinde rahatlıkla yetiştirilebilmesi hem de dayanıklı olması bitki için avantaj sağlamaktadır. Elde edilen bulgulara göre *Calendula officinalis* bitkisinin fitoremediasyon yöntemi ile toprakların temizlenmesinde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda aşağıda ifade edilen sonuçlar elde edilmiştir.

Bitkilere deneme süresince toplam 11 defa sulama yapılmıştır. Yapılan bu sulamalarda SD₃₃, SD₆₆ ve SD₁₀₀ konularına toplam olarak sırasıyla, 2283, 3188 ve 4114 gr su uygulanmıştır. Uygulanan Cd dozlarına bağlı olarak Cd₀ konusuna ortalama 3416 mm, Cd₅ konusuna 3251 mm, Cd₁₀ konusuna 2976 mm ve Cd₂₀ konusuna ise 3137 mm sulama suyu uygulanmıştır.

Bitkinin gelişme süresince yapılan gözlemlerde 20 mg Cd kg⁻¹ gibi oldukça yüksek bir doz Cd olması durumunda, su stresinin yüksek olduğu koşulda (SD₃₃ konusunda) çiçek ve tomurcuk oluşmamaktadır. SD₆₆ ve SD₁₀₀ konularını içeren orta stres veya stressiz koşullarda ise tomurcuk oluşmakta ama çiçek açmamaktadır. Bitki üzerine metal ve su su stresi etkisinin az olduğu için bitki büyüme ve gelişmesine devam etme eğilimine girerken, yüksek metal dozu ve su stresi karşısında bitki yaşamsal döngüsünü sona erdirmeye yönelmiş olacağı düşünülmektedir.

Su stresinin olduğu koşullarda (SD₃₃ ve SD₆₆ konuları) bitkilerin üst yapraklarında su stresine dayalı herhangi bir belirti görülmemekle birlikte alt yapraklarında kısmi buruşmalar meydana gelmiştir.

Analizlerin sonucunda, bitki yüksek oranda Cd metali biriktirmesine rağmen bitki besin elementleri alımında önemli sayılabilecek derece de bir düşüşe ya da artışa rastlanılmamıştır. En fazla Cd, SD₁₀₀ sulama düzeyinin 20 mg Cd kg⁻¹ konusu

tarafından absorbe edilmiştir. Sulama suyu miktarları arttıkça Mn ve P besin elementleri de aynı doğrultuda artış göstermiştir.

Topraklara uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça topraktan ağır metal alımı artmıştır. Sulama suyu miktarı ve Cd dozları bitki gelişiminde ve çiçeklenme sayısında önemli rol oynamıştır. Bitkilere uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça bitki gelişimi ve çiçeklenme sayısı artmış, uygulanan Cd dozu arttıkça bitki gelişimi ve çiçeklenme sayısı azalma göstermiştir.

Yukarıda verilen bilgilere bağlı olarak, *Calendula officinalis* bitkisi su ve metal stres koşullarında, stres arttıkça biyomas üretiminde azalma gösterirken, Cd alımı artmış, bunun yanı sıra bazı elementlerin (Mn, Zn, P ve Cu) kontrol bitkisine göre alımı da artarken bazı elementlerin alımında (Fe, K ve N) önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu bitkinin hem su hem de Cd toksisite stresine karşı dayanıklılık göstermesi ve Cd birikim yeteneği olduğu saptanmıştır. Dolayısıyla fitoremediasyon tekniği için umut vaat eden bir bitki olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde *Calendula officinalis* bitkisiyle ilgili çalışan Bağdat ve Eid (2007) ile Liu ve ark. (2008), Cd ile kirlenmiş toprakların fitoremediasyon ile temizlenmesinde *Calendula officinalis* bitkisinin kullanılma potansiyeline sahip olduklarını bildirmişlerdir.

Sonuç olarak; *Calendula officinalis* bitkisi kullanılarak fitoremediasyon yöntemi ile ağır metalli toprakların temizlenmesi üzerine yapılacak çalışmalarda hem sulama düzeylerine ek sulama düzeyleri, hem de toprağa uygulanacak Cd dozunda 20 mg'ın üzerine daha yüksek Cd dozları ilave edilerek yeni çalışmalar yapılabilir. Ayrıca, fitoremediasyon yöntemiyle bir defada kaldırılabilen ağır metal konsantrasyonları düşük olduğu için benzer denemelerin ardı ardına tekrar edilerek toplamda ne kadar etkin olduğunun araştırılmasında yarar vardır..

KAYNAKLAR

- Alloway, B.J., 1995. Heavy metals in soils. Second edition. Chapman and Hall India, Australia.
- Alparslan, M., Güneş, A. ve İnal, A., 2005. Deneme tekniği. **Ank. Üni. Zir. Fak. Yayınları** = 1543, Ders Kitabı = 496. Ank. Üni. Basımevi, Ankara.
- Andrade, J. C. M., Mahler, C. F., 2002. Soil Phytoremediation. **In 4th International Conference on Engineering Geotechnology**. Rio de Janeiro, Brazil.
- Andreas, V., Barmettler, K., Kretzschmar, R., 2003. Heavy metal release from contaminated soil. Comparison of column leaching and batch extraction results. **Journal of Environmental Quality**, 32:865-878.
- Angle, S.J., Baker, A.J.M., Whiting, S.N., Chaney, R.L., 2003. Anonim, 1999. <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/minimize/cadmium.pdf>
- Anonim, 2008a. <http://www.bozdoğan.gov.tr/kurumlar/tedbir.html>.
- Anonim, 2008b. Metallerle Kirilenmiş Toprakların Temizlenmesinde Fitoremediasyon Tekniği. http://www.inepo.com/english/uplFiles_resim/A%C4%9EIR.
- Anonim, 2008c Kirleticiler-1, Ağır Metaller, 2006. Çevre için hekimler derneği, www.cevrehekim.org.
- Anonim, 2008d. <http://cicek-cicekci-cicekcilik.blogspot.com/2008/11/portakal-nergisi-calendula.html>
- Asri, F. Ö. ve Sönmez, S., 2011. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri www.batem.gov.tr/yayinlar/derim/2006/36-45.pdf.
- Bağdat, R. B. Ve Eid, E. M., (2007). Phytoremediation Behavior of Some Medicinal and Aromatic Plants to Various Pollutants. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi. Cilt:16, www.tarlabitkileri.gov.tr/arsiv/16_CILT.pdf
- Başkaya, H.S. ve Teksoy, A., 1997. Topraklarda ağır metaller ve ağır metal kirliliği, **I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu**, Bursa, 763-771.
- Booyoucou, G. J., 1952. **A recalibration of hidrometer for making mechanical analysis of soils**. Agron. J. 43, 434-438.

- Bosiacki, M., 2008. Accumulation of cadmium in selected species of ornamental plants. University of life sciences in Ponzan. **Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus** 7(2) 2008, 21-31.
- Bosiacki, M., 2009. Phytoextraction of cadmium and lead by selected cultivars of *Tagetes erecta* l. part I. effect of Cd and Pb on yielding. **Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus**, 8(2) 2009, 3-13.
- Cook, C. M., Sgardelis, S. P., Pantis, J. D., Lanaras, T., 1994. Concentrations of Pb, Zn and Cu in *Taraxacum spp.* in relation to urban pollution. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.** 53:204-210.
- Cunningham, S. D., Berti, W. R., and Huang, J. W., 1995. Phytoremediation of contaminated soils. **Trends in Biotechnology**, vol. 13, no. 9, p. 393-397.
- Dağhan, H., 2004. **Phytoextraction of heavy metal from contaminated soils using genetically modified plants**. PhD thesis, Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften Fakultät der RWTH-Aachen.
- Dağhan, H. 2007. Fitoremediasyon: Bitki kullanılarak kirlenmiş alanların temizlenmesi. **GAP V. Tarım Kongresi Kitabı**, sf: 362-367 (17-19 ekim 2007) Urfa.
- Das, P., Samantaray, S. And Rout, G. R., (1997. Studies on Cadmium Toxicity in Plants: A Review. *Environmental Pollution*, 98 (1): 26-36.
- Dawaki, M. U., Alhassan, J., 2007. Irrigation and heavy metals pollution in soils under urban and peri-urban agricultural systems. **International Journal of Pure and Applied Sciences**, Vol 1, No 3
- Diatta, J. B., Grzbisz, W., Apolinarska, K., 2003. A study of soil pollution by heavy metals in the city of Ponzan (Poland) using dandelion (*Traxacum officinale* WEB) as a bioindicator. **Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**.
- Doğan, M. ve Saygıdeğer, S. D., (2009). Kadmiyumun *Ceratophyllum demersum* L. Üzerindeki Bazı Fizyolojik ve Morfolojik Etkileri. *Ekoloji* 18, 71, 57-64 (2009)
- Dökmen, F. 2000. İhsaniye yöresi su kaynaklarında ağır metal içeriği ve sulama suyu kullanımına etkileri. **GAP Çevre Kongresi Bildiri Kitabı**, Şanlıurfa, 215-216

- EPA (2000). Introduction to phytoremediation. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Technology.
- Göksün, V., 2009. **Tütün bitkisinin farklı sulama düzeyleri ve kadmiyum dozlarında topraktan ağır metal alımının araştırılması.** Yüksek Lisans tezi, MKÜ Fen Bilimleri Ens., Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilimdalı, Hatay.
- Gruenwald, J., Brendler, T., Jaenicke, C., et al. PDR For Herbal Medicines. 2nd ed, Thompson-Physicians' Desk Reference; 2000: 497-500.
- Haktanır, K., 1989. Ağır metal ve pestisitlerin toprak organizmaları üzerindeki etkileri. **TÇSV. Yayını**, Ankara.
- Henson, D.Y., Newman, S.E and Hartley, D.E. (2006). Performance of selected herbaceous annual ornamentals grown at decreasing levels of irrigation. *Hortscience*,41(6):1481-1486.
- Howari, F. M., Abu-Rukab, Y., Goodel, P. C., 2004. Heavy Metal Pollution of soils along North Shuna-Aquba Highway, Jordan. **International Journal of Environment and Pollution**, Vol. 22, No.5 pp.597-607
- Istriteanu, D.,ve Nita, V., 2007. Phytoextraction of metals using *Calendula officinalis*, *Zea mays* and *Plantago lanceolata*, **Workshop of WG2 and WG4 and Management Committee Meeting**, Energy Research and Modernizing Institute, Bucharest, Romania, Institute for Plants Research, Fundulea, Romania, Sayfa: 114.
- Januskaitiene, I., (2010). Impact of Low Concentration of Cadmium on Photosynthesis and Growth of Pea and Barley. *Environmental Research, Engineering and Management*, 3 (53):24-29.
- Kaçar, B., 1972. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri = II._ Bitki analizleri. **Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları** . Ank. Üni. Basımevi, Ankara.
- Kaçar, B., 1995. Bitki ve toprağın kimyasal analizleri, III. Toprak analizleri. **A.Ü. Ziraat Fak. Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları** No:3, Ankara,704 s.
- Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S, 2004. Metallerin Çevresel Etkileri-I, *Metalurji Dergisi*, 136.Sayı.

- Kemper, K. J., 1999. (*Calendula*) *Calendula Officinalis*. **The Longwood Herbal Task Force and The Center for Holistic Pediatric Education and Research.**
- Kızıloğlu, F. T. ve Bilen, S., 2000. Çevre Kirliliği, **Atatürk Üniv. Zir. Fak. Yay.** No:220.
- Kocaer, F. O., Başkaya, H. S., 2003. Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 8, Sayı 1.
- Korukçu, A. ve Kanber, R., 1981. **Su-verim ilişkileri**. Topraksu Araştırma, Ana Projesi, No:435-1, Tarsus. 49s.
- Lewandowski, J., Leitschuh, S. and KoB, V., 1997. **Schadstoffe im Boden**. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lin, CC., Lai, H.Y., and Chen, Z.S., (2010). Bioavailability assesment and accumulation by five garden flower species grown in artificially cadmium contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 12:454–467.
- Liu, D. H., Wang, M., Zhou, J. H. And Jiang, W. S. (2006). Uptake and Accumulation of Cadmium and Some Nutrient Ions by Root and Shoots of Maize (*Zea Mays* L.). *Pak. J. Bot.*, 38 (3): 701-709.
- Liu, J. N, Zhou, Q. X., Sun, T., Ma, L. Q. And Wang, S., (2008). Identification and chemical Enhancement of Two Ornamental Plants for Phytoremediation. *Bul Environ Contam Toxicol*, 80: 260-265
- Liu, Z., He, X., and Chen, W., (2011). **Effects of cadmium hyperaccumulation on the concentrations of four trace elements in *Lonicera japonica* Thunb.** Chinese Academy of Sciences.
- Loeppert, R. H. and Suarez, D. L., 1996. **Carbonate and Gypsum in methods of soil analysis**. Part 3, Chemical Methods, pp. 437-474. Edited by J. M. Bigham. Madison: Soil Science Society of America (SSSA) and American Society of Agronomy (ASA).
- Madyiwa,S., 2006. **Modelling lead and cadmium uptake by star grass under irrigation with treated wastewater**. Philosophiae Doctor. University of Pretoria.

- Merian, E., 1984. Introduction on environmental chemistry and global cycles of chromium, nickel, cobalt, beryllium, arsenic, cadmium, and selenium, and their derivatives. **Toxicol. Environ. Chem.** 8 9-38.
- Meos, A., Jürjado, T., Matto, V., Raal, A., 2010. Lead content in pot marigold (*Calendula officinalis* L.) Inflorescences and leaves: impact of precipitations and vicinity of motorway. Department of Pharmacy, University of Tartu, Estonia.
- Moreno, A. M., Prerez, L., Gonzales, J., 1994. Soil parameters contributing to heavy metal dynamics in perimetropolitan farmland areas. **Geomicrobiology J.**, 11:325-332.
- Olsen, S. R. and Sommers, E.L., 1982. **Phosphorus Soluble in Sodium Bicarbonate, Methods of Soil Analysis.** Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Edit: A.L. Page, R.H. Miller, D.R. Keeney, 404- 430
- Önder,S., Gümüş,Z., Önder, D., 2002. Su kaynaklarının havzalar düzeyinde değerlendirilmesi. **Su Havzalarında Toprak ve Su Kaynaklarının Korunması, Geliştirilmesi ve Yönetimi Sempozyumu.** 18-20 Eylül 2002.Antakya. s:203-209.
- Önder, D., ve Dağhan, H., 2007. **Tarımsal uygulamalar ve su kirliliği ilişkileri.** 5. GAP Tarım Kongresi. 17-19 Ekim. Şanlıurfa.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., 1993. Toprak Bilimi (Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U.,'dan Çevrilerek). **Ç.Ü.Z.F. Genel Yayın N: 73, Ders Kitapları** Yayın N: 16, Ç.Ü.Z.F. Ofset ve Teksir Atölyesi, Adana, 816 S.
- Purakayastha, T. J., Viswanath, T., Bhadraray, S., Chhonkar, P. K., Adhikari, P. P. ve Suribabu, K., (2008). Phytoextraction of zinc, copper, nickel and lead from contaminated soil by different species of Brassica. *International Journal of Phytoremediation*, 10:1, 61-72.
- Risser, J. A. and Baker, D. E. 1990. **Testing soil for toxic metals. In soil testing and plant analysis.** Third Edition edn, pp. 275-298. Madison: Soil Science Society of America (SSSA) and American Society of Agronomy (ASA).

- Sarıyer, G., Sütölüinar, N., Meriçli, F., Çubukçu, B., Meriçli, A., Mat, A., 2002. Fitoterapi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi.
- Solange, C. M. V., Trufen, S. F. B., 2004. Effects of air and soil pollution on the root system of the *Tibouchina pulchra* Cogn. (Melastomataceae): arbascular mycorrhizal associations and morphology in Atlantic Forest Area. **Revista Brasileira de Botanica**. Vol: 27, No:2, Sao Paulo.
- Swadish, T., Marnasidis, A., Zachariasidis, G., Stratis, J., 1995. A study of air pollution with heavy metals in Thessaloniki city (Greece) using trees as biological indicators. **Arch. Environ. Contam. Toxicol**, 28:118-124.
- Uruç, K., Demirezen Yılmaz, D., 2008. Farklı bitki tohumlarının çimlenme, imbibisyon ve su alımına kadmiyum, kurşun, ve nikelin etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 17, ISSN 1302-3055.
- Vanlı, Ö. ve Yazgan, M., 2008. Ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde fitoremediasyon tekniği.
<http://www.tarimsal.com/fitoremediasyon/fitoremediasyon.htm>
- WHO, 2002. Monographs on Selected Medicinal Plants, Vol 2, Geneva World Organisation.

TEŞEKKÜR

Bana bu konuda çalışma da gerekli bütün olanakları sağlayan, her türlü bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sermet ÖNDER'e, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Derya ÖNDER'e ve laboratuvar çalıŐmalarımnda özveri ve sabırla bana gereken her türlü olanağı sağlayan, yardımcı olan ve bilgilerini paylaşan Sayın Yrd. Doç. Dr. Hatice DAĞHAN'a, bu tezin oluşmasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Zir. Yük. Müh. Abdullan EREN, Zir. Müh. Akif KESKİNKILIÇ, Zir. Müh. Adem ORAL, Zir. Müh. Duygu ERSAN ve Zir. Müh. Bilal ÖZTÜRK 'e teşekkürlerimi sunarım.

Her alanda olduğu gibi bu tezin oluşmasında ve diğer tüm aşamalarında manevi desteklerini benden esirgemeyen, ailem ve niŐanlım Ayşegül KAPAN'a da teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılının Mayıs ayında Konya’da doğdum. İlkokul öğrenimimi Şeker İlköğretim Okulunda, ortaokul öğrenimimi Selçuklu İmam Hatip Lisesi’nde ve lise öğrenimimi de Yabancı Dil Ağırlıklı Selçuklu lisesi’nde tamamladım. Lisans öğrenimime 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümünde başladım ve 2008 yılında mezun oldum. Yüksek Lisans Öğrenimime 2008-2009 akademik yılının bahar yarıyılında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında başladım ve halen aynı bölümde Yüksek Lisans öğrenimime devam ediyorum.