

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇİLEKTE KADMIYUM TOKSİTESİ ALTINDAKİ BİTKİLER ÜZERİNE
HÜMİK ASİT VE SİLİKONUN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Meral DOĞAN

BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

Prof. Dr. İbrahim BOLAT'ın danışmanlığında, Meral DOĞAN'ın hazırladığı “Çilekte kadmiyum toksitesi altındaki bitkiler üzerine hümik asit ve silikonun etkilerinin incelenmesi” konulu bu çalışma 25/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman: Prof.Dr. İbrahim BOLAT

Üye: Doç.Dr. Kazım GÜNDÜZ

Üye: Doç.Dr. Ali İKİNCİ

Bu Tezin Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı'nda Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 17232

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 No

ÖZET.....	İ
ABSTRACT.....	İi
TEŞEKKÜR.....	İii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	İv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
SİMGELER DİZİNİ.....	Vi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.2. Yöntem.....	12
3.2.1. Morfolojik özellikler.....	13
3.2.1.1. Yaprak alanı (cm ²).....	13
3.2.1.2. Yaprak sayısı (adet/bitki).....	14
3.2.1.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı.....	14
3.2.2. Fizyolojik özellikler.....	15
3.2.2.1. Membran geçirgenliği.....	15
3.2.2.2. Yaprak oransal su kapsamı.....	15
3.2.2.3. Stoma iletkenliği.....	15
3.2.2.4. Klorofil miktarı.....	15
3.2.2.5. Yaprak sıcaklığı.....	15
3.2.3. Biyokimyasal özellikler.....	16
3.2.3.1. Prolin içeriği.....	16
3.2.3.2. Lipid peroksidasyon içeriği.....	16
3.2.4. Bitki besin elementi kapsamı.....	16
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	17
4.1. Morfolojik Özellikler.....	17
4.1.1. Yaprak alanı.....	17
4.1.2. Yaprak sayısı.....	18
4.1.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı.....	19
4.1.3.1. Taç yaş ve kuru ağırlığı.....	19
4.1.3.2. Kök yaş ve kuru ağırlığı.....	20
4.1.3.3. Tüm bitki yaş ve kuru ağırlığı.....	22
4.2. Fizyolojik Özellikler.....	24
4.2.1. Membran geçirgenliği.....	24
4.2.2. Yaprak oransal su kapsamı.....	25
4.2.3. Stoma iletkenliği.....	26
4.2.4. Klorofil içeriği.....	27
4.2.5. Yaprak Sıcaklığı.....	28
4.3. Biyokimyasal Özellikler.....	29
4.3.1. Prolin içeriği.....	29
4.3.2. Lipid peroksidasyon içeriği.....	30
4.4. Bitki Besin Elementi Kapsamı.....	31
4.4.1. Kök ve yaprak Cd kapsamı.....	31
4.4.2. Kök ile yaprak N, P, K, Ca ve Mg kapsamı.....	33
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	35
KAYNAKLAR.....	36
ÖZGEÇMİŞ.....	46

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇİLEKTE KADMIYUM TOKSİTESİ ALTINDAKİ BİTKİLER ÜZERİNE HÜMİK ASİT VE SİLİKONUN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Meral DOĞAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim BOLAT
2. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ
Yıl: 2018, Sayfa: 46

Ağır metaller neden oldukları abiyotik stresle bitkilerde büyüme, gelişme, verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Çilek, insanlar tarafından çok sevilen ve fazla tüketilen bir meyvedir. Yetiştiricilik aşamasındaki birçok uygulama çileğin ağır metaller ile temas etmesine yol açmaktadır. Bu sebeple, ağır metallerin çilek yetiştiriciliğinde oluşturduğu olumsuzlukların belirlenmesi ve giderilmesine yönelik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Sera koşullarında yürütülen bu çalışmada, Rubygem çilek çeşidinde kadmiyum (Cd), hümik asit (HA) ve silikonun (Si) yalnız ve kombine uygulamalarının bazı bitki özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Cd uygulamaları bitkide; yaprak alanında, bitki yaş ve kuru ağırlığında, yaprak sayısında, yaprak oransal su kapsamında, yaprak stoma iletkenliğinde, klorofil içeriğinde ve yaprak ile kök N, P, K, Ca ve Mg kapsamlarında farklı düzeylerde azalışa neden olmuştur. Ayrıca, kadmiyum stresindeki artışa paralel olarak membran geçirgenliği, yaprak sıcaklığı, prolin, lipid peroksidasyon ve kök ile yaprak Cd düzeyinde artış meydana gelmiştir. Diğer taraftan, HA ve Si uygulamaları kadmiyum stresinin bitki özellikleri üzerindeki olumsuz etkisini azaltıcı yönde reaksiyon göstermiştir. Her iki kimyasal solüsyon da yaprak alanında, bitki yaş ve kuru ağırlığında, yaprak sayısında, yaprak oransal su kapsamında, yaprak stoma iletkenliğinde, klorofil miktarında ve yaprak ile kök N, P, K, Ca ve Mg kapsamlarında farklı düzeylerde artış meydana getirmiştir. Ayrıca, bu maddeler Cd stresi altındaki bitkilerde membran geçirgenliği, yaprak sıcaklığı, prolin, lipid peroksidasyon ve kök ile yaprak Cd düzeylerinde ise azalışa neden olmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Çilek, kadmiyum, hümik asit, silikon, abiyotik stres

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION ON THE EFFECTS OF HUMIC ACID AND SILICON UNDER CADMIUM STRESS IN STRAWBERRY

Meral DOĞAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Horticulture**

**Supervisor: Prof. Dr. İbrahim BOLAT
2nd Supervisor: Assist. Prof. Dr. Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ
Year: 2018, Page: 46**

Abiotic stress caused by heavy metals negatively affects plants growth, development, yield and quality. Strawberry is a fruit that is much loved and consumed by people. Many applications at the cultivation stage of the strawberry cause contact with heavy metals. Therefore, studies are needed to determine and eliminate the negative effects of heavy metals from the strawberry cultivation. In this study, the effects of single and combined applications of cadmium (Cd), humic acid (HA) and silicon (Si) on some plant properties were investigated on Rubygem strawberry cultivar in greenhouse conditions. Cd applications have led to a decrease in different levels in the leaf area, plant fresh and dry weight, number of leaves, leaf relative water content, leaf stomata conductivity, chlorophyll content and leaf and root N, P, K, Ca, Mg. In parallel with the increase in cadmium stress, membrane permeability, leaf temperature, proline, lipid peroxidation and root and leaf Cd level increased. On the other hand, HA and Si applications showed a decrease in the negative effect of Cd stress on plant properties. Both chemical solutions caused different levels of increase in leaf area, plant fresh and dry weight, number of leaves, leaf relative water content, leaf stomatal conductivity, chlorophyll content and leaf and root N, P, K, Ca, Mg. In addition, these substances have caused to decrease of the membrane permeability, leaf temperature, proline, lipid peroxidation, root and leaf Cd levels in Cd stressed plants.

KEY WORDS: Strawberry, cadmium, humic acid, silicon, abiotic stress

TEŞEKKÜR

Tez konunun seçilip, yürütülmesini sağlayan ve çalıŐmalarım boyunca büyük desteğini grdğim danışman hocalarım sayın **Prof. Dr. İbrahim BOLAT** ve **Dr. Öğr. Üyesi. Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ'a**, tez sürem boyunca çalıŐmama katkı sağlayan sayın **Doç. Dr. Murat DİKİLİTAŞ**, **Prof. Dr. İzzet AÇAR** ve bölüm başkanımız sayın **Prof. Dr. Bekir Erol AK'a**, tez sürem boyunca her konuda yanımda olan sevgili arkadaŐım **Zir. Yük. Müh. Kübra KORKMAZ'a**, tezimin düzenlenme aşamasında yardımlarını esirgemeyen **Pey. Yük. Mim. İ. Halil HATİPOğLU** ve **Doç. Dr. Ali İKİNCİ'** ye, tezimin yürütülmesinde maddi olanakların karŐılanmasında katkı sağlayan **Harran Üniversitesi BAP Koordinatörlüėüne** ve son olarak eğitimim boyunca bana olan desteğini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili **ailem'e** ok teşekkür ederim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Denemenin yürütüldüğü alandan bir görüntü.....	11
Şekil 3.2. ImageJ programında çilek bitkisinin yaprak alanının belirlenmesi	13
Şekil 3.3. Çilek bitkisinin sökülme işlemleri, yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi.....	14
Şekil 4.1. Kadmiyum ve diğer kimyasal solüsyonların yaprak alanına etkileri	17
Şekil 4.2. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak sayısına etkileri.....	18
Şekil 4.3. Kadmiyum ve diğer solüsyonların taç yaş ağırlığına etkileri	19
Şekil 4.4. Kadmiyum ve diğer solüsyonların taç kuru ağırlığına etkileri	20
Şekil 4.5. Kadmiyum ve diğer solüsyonların kök yaş ağırlığına etkileri.....	21
Şekil 4.6. Kadmiyum ve diğer solüsyonların kök kuru ağırlığına etkileri.....	21
Şekil 4.7. Kadmiyum ve diğer solüsyonların tüm bitki yaş ağırlığına etkileri.....	22
Şekil 4.8. Kadmiyum ve diğer solüsyonların tüm bitki kuru ağırlığına etkileri.....	23
Şekil 4.9. Kadmiyum ve diğer solüsyonların membran geçirgenliği üzerine etkileri.....	24
Şekil 4.10. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak oransal su kapsamı üzerine etkileri	25
Şekil 4.11. Kadmiyum ve diğer solüsyonların stoma iletkenliği üzerine etkileri.....	26
Şekil 4.12. Kadmiyum ve diğer solüsyonların klorofil miktarı üzerine etkileri.....	27
Şekil 4.13. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak sıcaklığı üzerine etkileri	28
Şekil 4.14. Kadmiyum ve diğer solüsyonların prolin içeriği üzerine etkileri	29
Şekil 4.15. Kadmiyum ve diğer solüsyonların lipid peroksidasyon içeriği üzerine etkileri.....	30

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Rubygem çilek çeşidinde kadmiyum, hümik asit ve silikon uygulamaları ile oluşturulan kombinasyonlar.....	12
Çizelge 4.1. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların kök ve yaprak Cd kapsamları üzerine etkileri.....	32
Çizelge 4.2. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların kök N, P, K, Ca, Mg kapsamları üzerine etkileri.....	33
Çizelge 4.3. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların yaprak N, P, K, Ca, Mg kapsamları üzerine etkileri.....	34

SİMGELER DİZİNİ

HA	Hümik asit
Si	Silikon
Cd	Kadmiyum
Pb	Kurşun
N	Azot
P	Fosfor
K	Potasyum
Ca	Kalsiyum
Mg	Magnezyum
Fe	Demir
Zn	Çinko
Cu	Bakır
Mn	Mangan
B	Bor
EC	Elektriksel iletkenlik
pH	Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimidir

1. GİRİŞ

Stres, dünya yüzeyinde bitki dağılım ve yetiştiriciliğini sınırlandıran önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Olumsuz çevre şartlarının (abiyotik) veya bazı canlı organizmaların (biyotik) etkisiyle oluşan stres faktörleri, bitkilerde birçok fizyolojik ve metabolik değişikliklere yol açmaktadır (Mahajan ve Tuteja, 2005). Bu değişikliklerden bitki büyüme ve gelişmesi olumsuz yönde etkilenebilmekte veya engellenebilmektedir. Bitkiler canlılığını sürdürebilmek için stres faktörlerine karşı birçok savunucu tepkiler geliştirmektedir. Bu tepkiler bitkinin genetik özelliklerine ve stres faktörünün boyutlarına göre farklılık gösterebilmektedir (Korkmaz ve Durmaz, 2017).

Düşük veya yüksek sıcaklık, kuraklık, tuzluluk, su boğması, radyasyon vb. çevresel faktörler bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyen abiyotik stres faktörleri olarak gruplandırılmaktadır. Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunan ve belirli düzeyin üzerinde yer alması halinde çevre kirliliğine yol açan ve bitki büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkileyen ağır metaller de önemli abiyotik stres faktörleri içerisinde yer almaktadır (Bitiktaş, 2007).

Günümüzde giderek artan çevre kirliliği bütün canlıları tehdit eder hale gelmektedir. Özellikle ağır metal içeriğinin yüksek olduğu kimyasal gübrelerin aşırı ve düzensiz kullanılması, tarım topraklarının kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu durum besin zincirinin temelini oluşturan su kaynakları, bitkisel ve hayvansal ürünlerde ağır metal birikiminin artmasına sebep olmaktadır (Uysal, 2012). Ağır metallerin bitkilerde gelişme verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilediği birçok çalışma ile saptanmıştır (Sossé ve ark., 2004).

Kadmiyum (Cd), çeşitli kullanım alanlarıyla, çok düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etki göstermesi ve biyolojik yarılanma süresinin uzun olması nedeniyle çevre kirliliğinde gündeme gelen önemli bir elementtir. Kadmiyuma bazı gübrelerde (özellikle fosfat içerenlerde), deterjanlarda ve rafine petrol ürünlerinde sıkça

rastlanmakta ve bunların değişik alanlarda yaygın kullanımını da yüksek düzeyde ağır metal kirliliğini ortaya çıkarmaktadır (Krantev ve ark., 2008). Sulama boruları, kömür ve endüstriyel üretimlerin yol açtığı baca gazları, tohum ve ürün yetiştirme aşamasında kullanılan gübreler bitki yaşamının etkilendiği önemli kadmiyum kaynaklarıdır (Büyükkılıç, 2008). Günümüzde giderek artan nüfusun ihtiyaçlarının karşılanması ve ürün miktarının artırılması amacıyla yapılan örtüaltı yetiştiriciliğinde de kimyasal gübre kullanımlarının artması insanların kadmiyumun zararlı etkilerinden kaçınmalarını zorlaştırmaktadır. Kadmiyum ve bileşenleri insan sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ve birçok hastalığa (yüksek tansiyon, akciğer kanseri, kemik erimesi ve kansızlık vb.) sebep olmaktadır (Sheoran ve ark., 1990).

Topraktaki kadmiyum bitki kökleri tarafından kolayca alınabilmekte ve bitkinin diğer organlarına kolayca taşınabilmektedir. Bitkilerde kadmiyumun birikmesi azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirmesine neden olmaktadır (Öktüren Asri ve ark., 2014). Kadmiyum; tohum çimlenmesini, bitki büyümesini ve fotosentezi engellemekte, proteinleri ve enzimleri inaktive etmekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına, klorofil biyosentezinin bozulmasına, bitkideki besin dağılımında ve bitki-su ilişkilerinde problemler ortaya çıkarmakta ve bu durum gözle görülebilir birçok fizyolojik değişikliğe (sararma, kuruma, kök ve yaprak uçlarında kahverengileşme ve ölümlere) neden olmaktadır (Chaffei ve ark., 2004).

Çilek, dünya yüzeyinde adaptasyon kabiliyetinin yüksek olması ve insanların gittikleri her yere götürmesi nedeniyle, üzüksü meyveler içerisinde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve en fazla tüketilen türdür (Ağaoğlu ve Gerçekçioğlu, 2013). Çilek yetiştiriciliğinin önemini arttıran diğer bir önemli neden de insan sağlığı ve beslenme açısından oldukça önemli olmasıdır (Maas ve ark., 1996). Çilek C vitamini bakımından oldukça zengindir. Güçlü bir antioksidan meyvesi olan çilek, ayrıca lif bakımından da zengindir. Çileğin ellajic asit içeriğinin yüksek olması ve içerdiği fenolik bileşikler nedeniyle kansere karşı koruma özelliğine sahip olduğu da bilinmektedir (Yılmaz, 2009).

Dünyada çilek üretimi sürekli olarak artış göstermektedir, 2017 yılı verilerine göre dünya toplam çilek üretimi 9 223 815 tondur. Bu üretim içerisinde ise Türkiye 400 167 tonluk bir paya sahiptir (Anonymous, 2017). Dünyada ve ülkemizde çilek yetiştiriciliğinde sulama, gübreleme ve tarımsal mücadele yönünden çok fazla kimyasal uygulamalar yer almakta ve bu yüzden zaman zaman çilek bitkisinde ve meyvesinde Cd gibi ağır metallerin birikimi sorunuyla karşılaşılmaktadır (Nezhadahmadi ve ark., 2015).

Çevresel abiyotik stres faktörleri içerisinde giderek artan ağır metal stresini azaltmak amacıyla tarımsal yetiştiricilikte bazı iyileştirici yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde hümik asidin (HA) gübre olarak kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Hümik asit, organik maddelerin ana içeriği olan humusun en aktif maddesi olarak bilinir (Nardi ve ark., 2005; Trevisan ve ark., 2009). Hümik asit toksik ağır metal elementleriyle kuvvetli bağ oluşturması, ağır metallerin bitki gelişimi üzerine olan olumsuz etkisini gidermesi bakımından oldukça önemlidir.

Hümik asitler, bünyesindeki doğal karbon sayesinde toprakta faydalı mikroorganizmaların çoğalmasını ve faaliyet göstermesini, organik madde miktarının artmasını, besin elementleri takviyesi yaparak bitki kök bölgesinden uzaklaşmasını engeller. Toprakta serbest halde bulunan ağır metal bileşiklerini organik forma dönüştürür, metaller ile bağ oluşturarak çözünürlüğünü, biyolojik ve kimyasal elverişliliğini değiştirir. Toprağa uygulanan bitki besin maddelerinin elverişliliğini arttırarak, kökler tarafından daha kolay, yeterli ve düzenli alınımını sağlar. Toprak pH'ını düzenler, bitkilerde doğal koruma sağlayarak enfeksiyon hastalıklarına karşı daha dayanıklı olmasını ve bitki bünyesinde antibiyotik alınımını sağlar, bu sayede bitkilerde ilaç tüketimi azalır (Padem ve ark., 2003). Bazı çalışmalarda hümik asidin hücre zarı, kök hücreleri, fotosentez ve solunumu, oksijen ve fosfor alınımını etkilediğini, ayrıca toprak ve bitkideki mineral maddelerin dengede olmasını sağlayarak, verim unsurları ve kaliteye olumlu etkileri nedeniyle optimum bitki gelişimine katkı sağladığı belirlenmiştir (Akıncı, 2011).

Ağır metal stresinin iyileştirilmesi amacıyla yaygın olarak kullanılan diğer bir faktör ise silikon (Si) uygulamalarıdır. Silikon; yeryüzünde genellikle silis veya silikatlar halinde, oksijenden sonra en çok bulunan ikinci elementtir. Silikon, bitki gelişimi için gerekli makro elementler kadar yüksek konsantrasyonlarda bitki bünyesinde biriktirilebilir ve bir besin elementi gibi rol alarak, bitkide gelişmeyi artırıcı etkide bulunabilmektedir (Pereira ve ark., 2018).

Silikon, bitkilerdeki hücre duvarının ağır metallerle katyon köprüleri oluşturma özelliklerini değiştirir ve metabolizmaya verdiği zararlarını iyileştirerek, hücre organellerinin (klorofil, kloroplast vb.) dayanıklılığını ve aktivitesinin artmasını sağlamaktadır. Yapılan birçok araştırma aracılığıyla silikonun mangan, alüminyum, kadmiyum, tuz stresi ve kuraklığa karşı bitki direncini arttırdığı ve bu sayede bitki gelişimini olumlu yönde etkilediği ispatlanmıştır. Ayrıca, yeterince silikon alan bitkilerde, mantar hastalıklarına ve böcek zararlarına karşı dayanıklılığın arttığı belirlenmiştir (Krantev ve ark., 2008).

Bu çalışmada, toprak ve bitkiye değişik kaynaklardan bulaşan ağır metallerden olan kadmiyumun Rubygem çilek çeşidinde oluşturduğu stresin etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kadmiyum toksitesinin olumsuz etkisini azaltmak amacıyla uygulanan hümik asit ve silikon uygulamalarının bitkinin bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerinde meydana getirdiği etkiler araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ağır metal stresi, değişik bitki türlerinde büyümeyi sınırlandırıcı ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yapan bir stres faktörü olarak nitelendirilmektedir. Bitki yetiştiriciliğinde ağır metal grupları içerisinde çoğunlukla çinko, krom, kadmiyum, bakır, kurşun ile karşılaşmaktadır. Bunlar içerisinde ise kadmiyum gerek tek yıllık gerekse çok yıllık bitkiler içerisinde en fazla dikkat çeken element olmuştur. Kadmiyum toprak ve bitkide belirli bir düzeyin üzerinde bulunduğu toksite faktörü olarak görülmekte, bitkideki morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerde birçok olumsuz yöndeki değişimlere yol açmaktadır. Ağır metal stresinin bitkiler üzerinde oluşturduğu bu olumsuzlukların azaltılması ile ilgili geniş kapsamlı çalışmalar yapılmıştır.

Gerzabek ve Ulah (1998), mısır bitkisinde kadmiyum ve nikel toksitesi üzerine hümit ve fülvik asitin etkisini incelemişlerdir. Yetiştirme ortamında tek başına kadmiyum ve nikel uygulamaları bitki bünyesinde toksik etkiye yol açmıştır. Ağır metaller bitki büyümesinde azalmaya sebep olurken, hümit ve fülvik asitle kombine uygulanması durumunda bitki büyümesinde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang ve ark. (2003), farklı düzeyde ağır metal içeren topraklarda yetiştirilen çeltik bitkisinde yaptıkları çalışmada, bitkilerin farklı bölümlerindeki ağır metal konsantrasyonlarının köklerde en fazla, gövde ve tohumda ise daha az olduğunu belirtmiştir. Bitkilerde ağır metal alımındaki sıralamanın ise çinko> krom> kadmiyum> bakır> kurşun şeklinde olduğu ifade edilmiştir.

Treder ve Cieslinski (2005), çilekte sera koşullarında yürüttükleri bir çalışmada, yüksek kadmiyum seviyeli toprakta kadmiyum toksitesini azaltmak amacıyla silikonu topraktan veya yapraktan uygulayarak, uygulamaların kök, yaprak ve meyvelerde kadmiyum birikimine olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, kumlu topraklarda fide dikimi öncesinde toprağa silikon uygulamasının, bitkilerde aşırı kadmiyum birikimini önlemede etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Sushera ve ark. (2007), *Ceratophyllum demersum* L (Tilki Kuyruğu) bitkisinde toprak ve bitkideki Cd birikimi üzerine çinko ve hümik asit kimyasallarının etkisini incelemiştir. Araştırmacılar, toprağa uyguladıkları çinko ve hümik asit uygulamaları sonucunda bitkilerdeki Cd birikiminin, tek başına Cd uygulamasına oranla azaldığını belirlemişlerdir.

Bitiktaş (2007), marulda kadmiyum (50-100 ppm) ve çinkonun (250-500 ppm) tekli ve kombine uygulamasının bitki gelişimi ve antioksidant enzim içeriği üzerine olan etkisini incelemiştir. Araştırmacı, tek başına Cd uygulamasının bitki gelişimini engellediğini, Zn uygulamasının ise arttırdığını belirlemiştir. Ayrıca; çinkonun kadmiyumla birlikte verilmesi durumunda, bitkide kadmiyum toksitesinde kısmi bir azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan Cd uygulaması sürgünde SOD (Süperoxide dismutase) aktivitesini azaltmış, Zn ise artırmıştır. Kök ve sürgündeki GPX (Glutathiona peroxidase) düzeyinde ise her iki uygulamada da artış meydana geldiği bildirilmiştir.

Haghighi ve ark. (2010), marul bitkisinde Cd (0, 2 ve 4 mg/L) ve hümik asit (0, 100 ve 1000 mg/L) dozlarını kullanmışlardır. Araştırma sonucuna göre; artan Cd oranının enzim aktivitelerini ve yapraklardaki Cd birikimini arttırdığını ve bitki biokütlesini önemli oranda azalttığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca hümik asit ile tedavi edilen bitkilerin enzim ve biokütlelerinde olumlu gelişmeler olduğunu saptamışlardır.

Feng ve ark. (2010), hıyar bitkisinde kadmiyum ve silikonun farklı dozlarının etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar; yapılan Cd uygulamalarının, bitkilerde büyük ölçüde kloroza sebep olduğunu, tilakoid ile kloroplast membranlarının hasara uğradığını, klorofil içeriğinin azaldığını ve buna bağlı olarak da fotosentezin gerilediğini belirtmişlerdir. Diğer yandan, Si uygulamasının ise fotosentetik parametlerde meydana gelen hasarın giderilmesini sağladığını ve ayrıca kloruzu azalttığını tespit edilmiştir.

Qian ve ark. (2010), *Vallisneria spiralis* L. (Saz Bitkisi) bitkisinde kadmiyum ve bakırın alınımı üzerine hümik asidin etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, *Vallisneria spiralis* L. bitkisinin ağır metalleri topraktan önemli düzeyde uzaklaştırabildiğini ve ayrıca humik asit uygulamasının ise bitkinin topraktan kadmiyum ve bakır alınımı azalttığını tespit etmişlerdir.

Öztürk (2011), hıyarda yaptığı çalışmada kadmiyum ve hümik asit uygulamasının bitkide kadmiyum akümüülasyonu ve fide gelişimi üzerine olan etkilerini incelemiştir. Araştırmacı 0, 0.5, 2.0, 8.0 ve 32.0 ppm Cd ve 0, 1000 ve 2000 ppm hümik asit dozlarını kullanmıştır. Çalışmada, kadmiyum dozundaki artışa paralel olarak kök ve sürgünlerdeki kadmiyum kapsamında da artış ve fide gelişiminde ise gerileme meydana geldiği belirlenmiştir. Diğer taraftan hümik asit uygulamalarının ise bitkide sürgün ve kök yaş ağırlığında artışa neden olduğu saptanmıştır.

Farouk ve ark. (2011), *Raphanus sativus*, L (Turp) bitkisinde kadmiyum, hümik asit ve kitosan maddelerinin bitki gelişimi ve bitkideki bazı fizyolojik parametreler üzerine olan etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, Cd uygulamasında bitkinin yaprak sayısı, sürgün ve kök taze ve kuru ağırlığı, klorofil, toplam şeker, azot, fosfor, potasyum, oransal su kapsamı ve çözünebilir proteinler ile toplam amino asit içeriklerinin azaldığını belirlemişlerdir. Diğer yandan kitosan veya hümik asit uygulamalarının belirtilen tüm parametreleri arttırdığını ve bitki dokularındaki kadmiyum konsantrasyonunun da azaltıldığını tespit etmişlerdir.

Güllüce ve ark. (2012), sera koşullarında Cd ve Pb ile kirletilmiş topraklarda turp bitkisine 0, 500, 1000 ve 2000 ppm dozlarında hümik asit ve kontrol, A1, Osu-142 ve M3 PGPR (rizobakteri)'yi topraktan uygulamışlardır. Hasat sonrasında bitkide verim ve verim parametrelerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, Pb ile kirletilmiş topraklarda yetiştirilen turp bitkisinden optimum verim alınabilmesi için (2000 ppm hümik asit+M3) bakteri uygulaması ve Cd ile kirletilmiş topraklarda ise (1000 ppm hümik asit+Osu-142) bakteri uygulamasının gerekli olduğunu tespit etmişlerdir.

Uysal (2012), ıspanakta sera koşullarında kadmiyum (0 ve 20 μM) ve potasyum (50, 250 ve 2000 μM) uygulamalarının etkisini incelemiştir. Araştırmacı, kadmiyumun bitkide yaprak ve kök kuru madde üretimini azalttığını, K uygulaması ise hem yeşil aksam hem de köklerde Cd birikiminde azalmaya yol açtığını tespit etmiştir. Ayrıca Cd uygulaması altında yükselen K dozlarının hem askorbik asit hem de SH bileşiklerinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan Cd uygulamasının hem yaprak hem de köklerde lipid peroksidasyonu arttırdığı, K ise lipid peroksidasyonu üzerinde azaltıcı etkide bulunduğu saptanmıştır.

Patlıcan da sera koşullarında yürütülen bir çalışmada bitkilere genç dönemde humik asit (0, 500, 1000 ppm) uygulanmıştır, uygulamadan bir hafta sonra ise Cd ve diğer bazı ağır metaller içeren sulama suyu verilmiştir. Ağır metaller patlıcan genotiplerinin yeşil aksam ve köklerinin yaş ve kuru ağırlıklarında, kök ve gövde boyunda, yaprak alanı değerlerinde azalma oluşturmuş, diğer taraftan MDA (Malondialdehit) ve antioksidatif enzim aktivitelerinde hasara yol açmıştır (Kıran ve ark., 2014).

Yazıcı (2014), marulda kadmiyum (0, 50, 100, 150 ve 200 μM) ile indol asetik asit (0, 10 ve 100 μM) uygulamalarının etkisini incelemiştir. Araştırmacı indol asetik asit uygulamasının, gövde ve kökün yaş ve kuru ağırlığını azalttığını, gövdedeki kadmiyum konsantrasyonunu artırırken, köklerdeki kadmiyum içeriğinde azalmaya neden olduğunu belirlemiştir.

Özkay ve ark. (2014), marulda sera koşullarında sulama suyu ile birlikte verilen Cd ve bazı ağır metaller ile hümitik asidin etkisini incelemiştir. Yapılan uygulamaların sonucunda, topraktaki değişebilir tuz ve birçok besin elementi içeriğinde önemli derece istatistiksel değişiklikler meydana geldiği saptanmıştır. Araştırmacılar temel toprak özelliklerinde meydana gelen bu değişimlerin doğrudan bitki besin elementi alınımını da etkilediğini tespit etmişlerdir.

Muradoğlu ve ark. (2015), Camarosa çilek çeşidinde kadmiyum toksitesinin etkisini incelemiştir. Araştırmacılar, dışarıdan yapılan kadmiyum uygulamasının

hem kök ve hem de yapraktaki kadmiyum düzeyinde artışa yol açtığını, ancak kökteki kadmiyum konsantrasyonunun yapraklardan daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca Cd konsantrasyonundaki artışa paralel olarak kadmiyum uygulamalarının yaprak krolofil a ve b içeriğini azalttığını, kök ve yapraklardaki MDA (Malondialdehit) içeriğinde ise önemli artışlar olduğunu saptamışlardır. Çalışmada kadmiyum konsantrasyonlarındaki artış ile paralel olarak Süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz (CAT) aktivitelerinde de artışlar belirlemişlerdir.

Chaab ve ark. (2016), kadmiyum ve kromla kirletilmiş topraklarda yetiştirilen mısır bitkisine uygulanan kompost ve hümik asidin etkisini incelemişlerdir. Deneme sonucuna göre hümik asit topraktaki kadmiyum ve krom hareketliliği üzerine kompostdan daha etkili bulunmuştur. Toprağa uygulanan hümik asit ve kompost, kök ve sürgün gelişiminde olumlu etkilere yol açmıştır. Araştırmacılar hümik asit uygulamasının kök ve sürgün ağırlığını arttırdığını, aynı zamanda hümik asit ve kompostun ise bitki bünyesinde ağır metal birikimini azalttığını tespit etmişlerdir.

Özkay ve ark. (2016), kontrollü sera koşullarında yetiştirdikleri kıvrıcık salatada bakır, kadmiyum, kurşun ve çinko ile hümik asidin etkilerini araştırmışlardır. Uygulama sonunda bitkilerdeki en yüksek toksik etkinin 0.8 ppm Cu + 0.04 ppm Cd + 20 ppm Pb + 8 ppm Zn düzeylerinde iyon içeriklerine sahip olan karışımda meydana geldiği belirlenmiştir. Araştırmacılar, ağır metal içerikli su ile sulanan bitkilerde MDA (Malondialdehit) miktarlarının ve antioksidatif enzim aktivitelerinin arttığını tespit etmişlerdir. Ağır metal stresinin olumsuz etkisini azaltmak amacıyla uyguladıkları 4 L/da HA dozunun ise bitkinin büyüme ve gelişmesinde diğer dozlara göre daha etkili olduğunu bulmuşlardır.

İbrahim ve ark. (2017), *Orthosiphon stamineus* L. (Kedi Bıyığı) bitkisinde kadmiyum (0, 3,6 mg/kg) ve hümik asit (0, 50, 100 mg/L) uygulamasının etkisini incelemişlerdir. Deneme sonucunda kadmiyumun konsantrasyonunun giderek artması (0>6 mg/kg) halinde bitkinin toplam fenolik, flavonoid ve prolin üretiminin arttığını, ancak toplam biyokütle, yaprak alanı, net fotosentez, toplam klorofil içeriği

ve nitrat alımının ise azaldığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, deneme sonucunda hümik asit uygulamasının bitkideki Cd stresini azaltarak, olumsuz gelişmelerin giderildiğini tespit etmişlerdir.

Pereira ve ark. (2018), börülcede yaptıkları araştırmada Cd (0 ve 500 μM) ve Si (0, 1.25 ve 2.50 mM) uygulamaların etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar yapılan silikon uygulamalarında bitkilerdeki en fazla Si birikiminin köklerde olduğunu ve bunu sap ve yaprakların izlediğini saptamışlardır. Si birikiminin olduğu kök, sap ve yapraklarda Cd içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, Si'un antioksidan enzim aktivitelerinde ve fotosentetik pigmentlerde artışa, oksidan bileşiklerinde azalmaya sebep olduğu, hücre organelleri (kloroplast ve membran) gelişiminde ise olumlu etkiler yaptığı belirlenmiştir.

Yingang ve ark. (2018), tütün (*Nicotiana tabacum* L.) bitkisine üç Si seviyesi (0, 1 ve 4 g/kg) ile birlikte Cd (0, 1 ve 5 mg/kg) uygulamışlardır. Araştırmacılar, çalışmada, kadmiyum stresi altındaki bitkilere silikon uygulayarak bitki direncini ve büyümesini artırmayı amaçlamışlardır. MDA, klorofil ve karotenoid içerikleri belirlenmiş ve Si uygulanan tütün bitkilerinde, MDA içeriklerinin %5.5-%17.1 oranında azaldığı, ayrıca klorofil (%33.9-%41) ve karotenoid (%25.8-%47.3) içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışma, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümüne ait cam serada yürütülmüştür (Şekil 3.1). Araştırma 2017 yılının Eylül - Aralık ayları arasında yaklaşık dört aylık bir sürede tamamlanmıştır.



Şekil 3.1. Denemenin yürütüldüğü alandan bir görüntü

Rubygem çilek çeşidine ait tüplü fideler denemenin bitkisel materyalini oluşturmuştur. Bir kısa gün çilek çeşidi olan Rubygem orta irilikte, parlak koyu kırmızı, yüksek aromalı, tatlı, şeker asit yönünden dengede olan ve sulu meyvelere sahiptir (Herrington, 2007). Örtü altı ve açıkta yetiştiriciliğe uygun olan erkenci bir çeşittir. Bu çeşidin ayrıca fusarium solgunluğuna ve antraknoza karşı dayanıklı, külleme hastalığına ise duyarlı olduğu bildirilmektedir (Ağaoğlu ve Türemiş, 2013).

Denemede yetiştirme ortamı olarak ise torf kullanılmıştır. Yetiştirme ortamı olarak kullanılan torfun EC düzeyi 35 mS/m, pH düzeyi ise 6.5 olup, 1.0 kg/m³'ünde 14:10:18 oranlarında N:P:K bulunmaktadır. Ayrıca araştırmada kullanılan besin solüsyonlarının hazırlanmasında ise kadmiyum sülfat, hümik asit (%22'lik) ve silikon (sodyum silikat) kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Araştırmada, 5 L hacmindeki saksılara yukarıda özelliği bildirilen torfdan eşit ağırlıkta doldurulmuş ve homojen gelişme gösteren Rubygem çilek çeşidi fideleri 13 Eylül 2017 tarihinde dikilmiştir.

Denemedeki bitkilere yaklaşık dört hafta süreyle ortama alışmalarını sağlamak için eşit düzeyde sulama, gübreleme ve bakım işlemleri yapılmıştır. Bitkilerin 4-5 yapraklı döneme ulaştığı 10 Ekim 2017 tarihinde solüsyon uygulamalarına başlanmıştır. Solüsyon uygulamaları suda çözündürülen kimyasalların sulama suyu ile verilmesi şeklinde yapılmıştır. Çalışmada kadmiyum sülfat 50 ppm, hümik asit 25 ppm ve silikon ise 2.5 ppm'lik konsantrasyonlar şeklinde uygulanmıştır.

Araştırmada Çizelge 3.1'de belirtilen sekiz uygulama kombinasyonu ve her tekerrürde 4 bitki olacak şekilde, toplam 32 bitki kullanılmıştır. Bitkilere uygulanacak sulama programında ortamdaki faydalı nem düzeyi (faydalı nemin % 40'ının tüketildiği seviye) dikkate alınmıştır (Düzdemir, 2009).

Çizelge 3.1. Rubygem çilek çeşidinde kadmiyum, hümik asit ve silikon uygulamaları ile oluşturulan kombinasyonlar

	KADMİYUM	HÜMİK ASİT	SİLİKON
Kontrol	-	-	-
HA	-	+	-
Si	-	-	+
HA+Si	-	+	+
Cd	+	-	-
Cd+HA	+	+	-
Cd+Si	+	-	+
Cd+HA+Si	+	+	+

Araştırmada kullanılan bitkilere 2 hafta aralıklarla eşit miktarda gübre (%: N: 16; P₂O₅: 8; K₂O: 24; Mg: 2; SO₄: 4; Na: 0.001; Fe: 0.02; Zn: 0.002; Cu: 0.002; B: 0.01; Mn: 0.01; Mo: 0.001) ve çizelge 3.1' de belirtilen gruptaki bitkilere ise

(gübreye ek olarak) 50 ppm Cd, 25 ppm HA ve 2.5 ppm Si uygulaması yapılmıştır (Shen ve ark., 2010; Muradoğlu ve ark., 2015; İbrahim ve ark., 2017; Desoky ve ark., 2018).

Çalışma tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Çalışmada sekiz farklı uygulama (Kontrol, HA, Si, HA+Si, Cd, HA+Cd, Si+Cd, HA+Si+Cd) kombinasyonu yer almış ve her tekerrürde bir bitki kullanılmıştır. İstatistiksel değerlendirmede MİNİTAB programından yararlanılmış ve ortalamalar arasındaki farkın değerlendirilmesinde ise Tukey testi kullanılmıştır.

Uygulamaların bitki gelişimi üzerine olan etkileri aşağıdaki özellikler incelenerek belirlenmeye çalışılmıştır.

3.2.1. Morfolojik özellikler

3.2.1.1. Yaprak alanı (cm²)

Bitkilerde bu amaç için Şekil 3.2’de görüldüğü gibi olgun trifoliat yapraklar kullanılmış, ImageJ programı yardımı ile yaprak alanı cm² cinsinden hesaplanarak bulunmuştur (Klamkowski ve Treder, 2008).



Şekil 3.2. ImageJ programında çilek bitkisinin yaprak alanının belirlenmesi

3.2.1.2. Yaprak sayısı (adet/bitki)

Deneme sonunda sökülen bitkilerin yaprakları tek tek sayılıp bitki başına ortalama yaprak sayısı belirlenmiştir.

3.2.1.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı

Deneme sonunda farklı uygulamalara ait bütün saksılardan sökülen bitkiler iyice temizlenmiş, hassas terazide tartımları yapılmış ve daha sonra, 65-70 °C'deki etüvde 48 saat bekletilerek kurutulmuştur. Taç (toprak üstü) kısmının kurutma işleminden önce yapılan tartım ile yaş ağırlığı, kurutmadan sonra yapılan tartım ile ise kuru ağırlığı tespit edilmiştir (İpek ve ark., 2009).

Aynı işlemler bitkinin toprak altı (kök) bölgesi için de yapılarak kök yaş ve kuru ağırlıkları bulunmuştur. Tüm bitki yaş ve kuru ağırlığı ise taç ve kök değerleri üzerinden yapılan hesaplamalarla belirlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3. 3. Çilek bitkisinin söküm işlemleri, yaş ve kuru ağırlıklarının belirlenmesi

3.2.2. Fizyolojik özellikler

3.2.2.1. Membran geçirgenliği

Uygulamalardaki her bitkiden deneme bitiminde alınan 0.5 g yaprak örneği saf su içerisinde 40°C’de bekletilerek EC₁ değeri belirlenmiştir. Aynı örnekler daha sonra 100°C’de kaynatılmış ve EC₂ değerleri ölçülerek $[[EC_1 / EC_2] \times 100]$ formülü ile membran geçirgenliği hesaplanmıştır (Lutts ve ark., 1996).

3.2.2.2. Yaprak oransal su kapsamı

Her saksıdaki bitkiden alınan yaprak örneklerinin yaş ağırlıkları (YA) tespit edilerek, 24 saat süreyle 100 mL su içeren petrielerde bekletilip turgor ağırlığı (TA) bulunmuştur. Daha sonra örnekler 65-70°C’de etüvde kurutulmuş ve kuru ağırlıkları (KA) belirlenmiştir. Yaprak oransal su kapsamı ise $[[YA-KA]/[TA-KA] \times 100]$ formülü ile hesaplanmıştır (Sanchez ve ark., 2004).

3.2.2.3. Stoma iletkenliği

Her saksıda belirlenen gelişmiş yaprakların aynı konumlarından “Leaf Porometer” cihazı ile gündüz 12.00-14.00 saatleri arasında mmol/m²s cinsinden ölçülerek tespit edilmiştir (Kuşçu, 2006).

3.2.2.4. Klorofil miktarı

SPAD-502 Plus cihazı ile trifoliat yaprak ayasının orta kısmından yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir (Khan ve ark., 2004).

3.2.2.5. Yaprak sıcaklığı

İnfrared termometre yardımıyla öğle saatlerinde ölçüm yolu ile belirlenmiştir (Mancuso ve Azzarello, 2002).

3.2.3. Biyokimyasal özellikler

3.2.3.1. Prolin içeriği

Yaprak prolin içeriği Bates ve ark. (1973)'nin bildirdiği yöntem yardımıyla spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Prolin miktarı µg/g taze ağırlık cinsinden belirlenmiştir.

3.2.3.2. Lipid peroksidasyon içeriği

Yaprak malondialdehit (MDA) içeriği Sariam and Sxena (2000)'nin bildirdiği yöntem yardımıyla spektrofotometrik olarak ölçülmüştür. Değerler nmol/g taze ağırlık cinsinden belirlenmiştir.

3.2.4. Bitki besin elementi kapsamı

Deneme bitiminde uygulama kombinasyonlarındaki her saksıda kullanılan bitkilerde gelişimini tam olarak tamamlamış yapraklardan örnekler alınarak, 65 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, daha sonra porselen havanda iyice ezilerek öğütülmüştür. Öğütülen örneklerden alınan bitkisel materyaldeki N içeriği Kjeldahl destilasyon yöntemiyle (Bremner, 1965), P içeriği Vanadomolibdo Fosforik Sarı Renk Yöntemi ile belirlenmiştir (Kaçar ve İnal, 2008). Bitkisel materyaldeki K, Ca, Mg ve Cd kapsamı yaş yakma (nitrik asit-perklorik asit karışımı) yöntemi sonrasında ICP cihazında okunmak suretiyle tespit edilmiştir (Kaçar ve İnal, 2008).

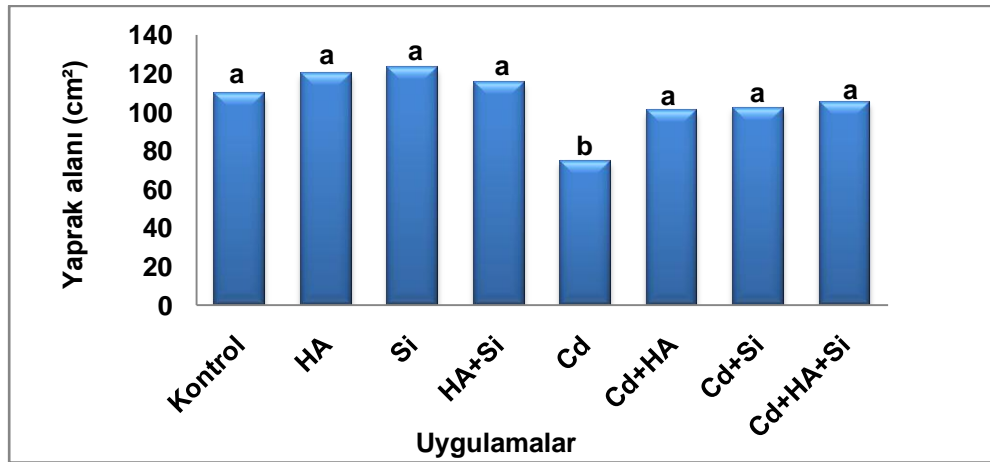
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışmada, Rubygem çilek çeşidinde bitkilere bir ağır metal olan kadmiyum ve Cd'un yol açtığı stresi azaltabilmek amacıyla hümik asit ve silikon uygulamaları yapılmıştır. Araştırmada, uygulamaların bitkinin bazı morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri ile makro besin elementi kapsamaları üzerine etkileri ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu alanda yapılan çalışmalardan faydalanılarak konu tartışılmaya çalışılmıştır.

4.1. Morfolojik Özellikler

4.1.1. Yaprak alanı (cm²)

Uygulamaların yaprak alanında meydana getirdiği değişimlerle ilgili sonuçlar Şekil 4.1'de verilmiştir. Kimyasal uygulamaların yaprak alanı üzerine olan etkileri istatistiksel olarak ($p < 0.05$ düzeyinde) önemli bulunmuştur. Rubygem çilek çeşidinde uygulamalardaki yaprak alanı değerleri 74.65 cm² (Cd) – 123.08 cm² (Si) aralığında yer almıştır. En düşük yaprak alanı Cd uygulamasında meydana gelirken, en yüksek değerler ise Si, HA, HA+Si ve Kontrol uygulamalarında bulunmuştur. Diğer taraftan Cd ile birlikte uygulanan HA, Si ve HA+Si karışımları yaprak alanında Cd stresinin olumsuz etkisini değişik düzeylerde azaltmıştır.

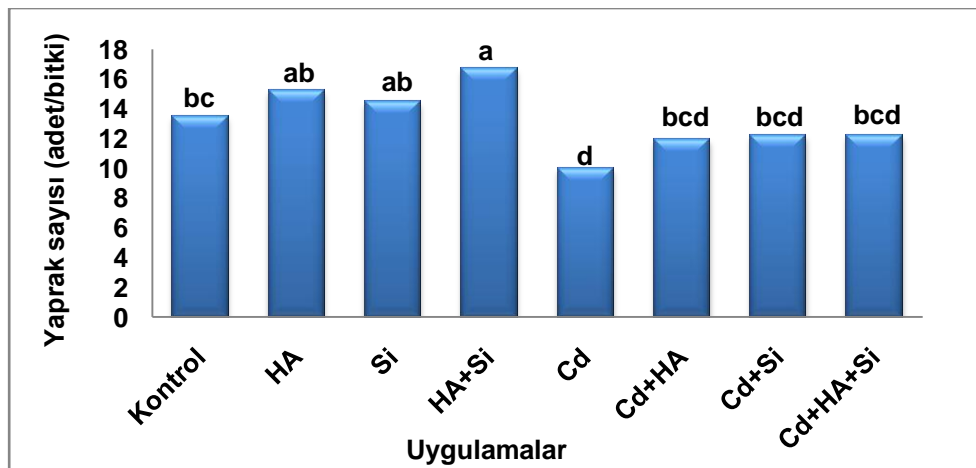


Şekil 4.1. Kadmiyum ve diğer kimyasal solüsyonların yaprak alanına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Farklı türlerde (domates, şalgam, çim bitkisi, buğday, susam, pamuk) yapılan çalışmalarda Cd uygulanmasının bitkilerde stres oluşturması nedeniyle, büyüme ve gelişmede gerilemeye neden olarak yaprak alanını azalttığı tespit edilmiştir (Jalil ve ark., 2008; Hashem ve ark., 2013; Li ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2014; Liu ve ark., 2015; Abdallah ve ark., 2017). Yine çilek bitkisinde ve değişik türlerde (fasulye ve pirinç) yapılan çalışmalarda HA ve Si uygulamalarının abiyotik stres etkilerini azaltarak yaprak alanında artırıcı yönde etkiler gösterdiği araştırmacılar tarafından saptanmıştır (Arancon ve ark., 2003; Aydın ve ark., 2012; Agostinho ve ark., 2017). Farklı türlerde yapılan bu çalışmalar araştırmamızın yaprak alınma ilişkin sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

4.1.2. Yaprak sayısı (adet/bitki)

Uygulamaların yaprak sayısına etkisi istatistiksel olarak ($p < 0.05$ düzeyinde) önemli bulunmuştur. Kimyasal uygulamalar sonucunda en düşük yaprak sayısı Cd uygulamasında (10.00 adet/bitki) belirlenmiştir, en yüksek yaprak sayısı ise HA+Si (16.75 adet/bitki) uygulamasından alınırken, bunu HA (15.25 adet/bitki) ve Si (14.50 adet/bitki) uygulamaları izlemiştir (Şekil.4. 2).



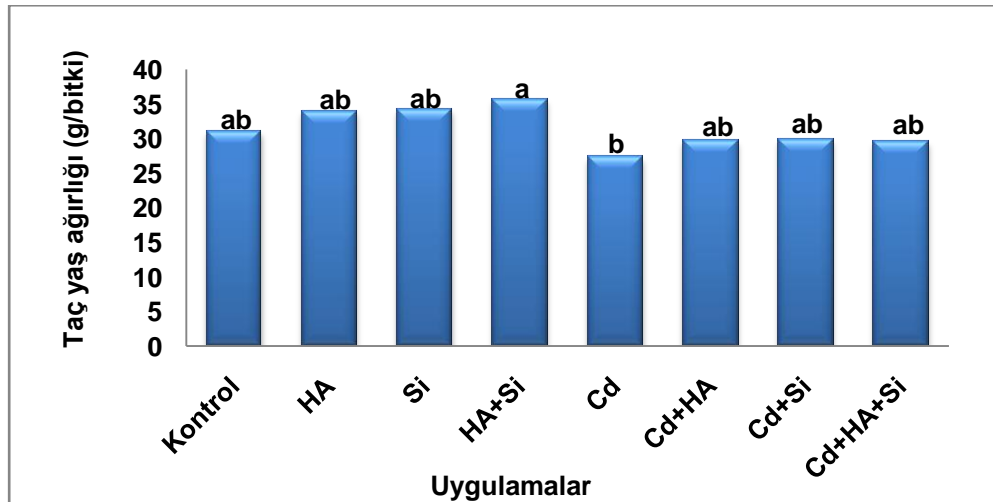
Şekil 4.2. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak sayısına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Farklı türlerde (nohut, hıyar) yapılan araştırmalarda kadmiyum stresi altındaki bitkilerde yaprak sayısının azaldığı belirlenmiştir. Hümik asit ve silikon kimyasallarının ise bitkilerin büyüme ve gelişimlerine olumlu etkilerinin olduğu ve bu uygulamaların bitkilerde stres etkisini azaltarak yaprak sayısını arttırdığı bildirilmiştir (Allister, 1987; Öztürk, 2011; Faizan ve ark., 2011). Stres altındaki bitkilerde yaprak sayısının azalması, diğer yandan organik maddelerin uygulanmasıyla stres etkisinin iyileştirilmesinin gözlemlendiği farklı çalışmalar yaptığımız çalışmayı desteklemektedir.

4.1.3. Bitki yaş ve kuru ağırlığı

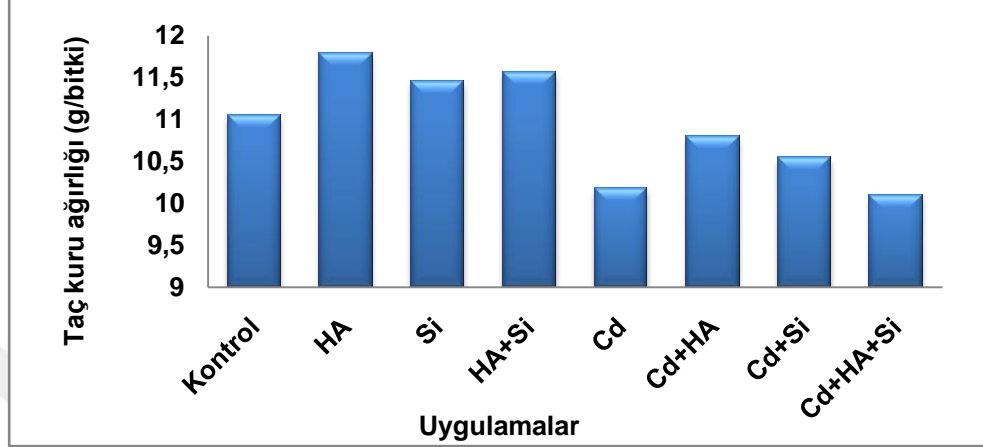
4.1.3.1. Taç yaş ve kuru ağırlığı

Rubygem çilek çeşidinde farklı uygulamaların taç yaş ağırlığı üzerine etkisi ile ilgili bulgular Şekil 4.3'te verilmiştir. Uygulama sonuçlarına göre en düşük taç yaş ağırlığı Cd (27.35 g/bitki) uygulamasından alınırken, en yüksek değer HA+Si (35.73 g/bitki) uygulamasından alınmıştır, bunu Si (34.20 g/bitki) ve HA (33.99 g/bitki) izlemiştir. Bu durumda Cd ile beraber uygulanan HA, Si ve HA+Si karışımlarının bitkideki Cd stresini azaltarak taç yaş ağırlığında artışa yol açtığı belirlenmiştir.



Şekil 4.3. Kadmiyum ve diğer solüsyonlarının taç yaş ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

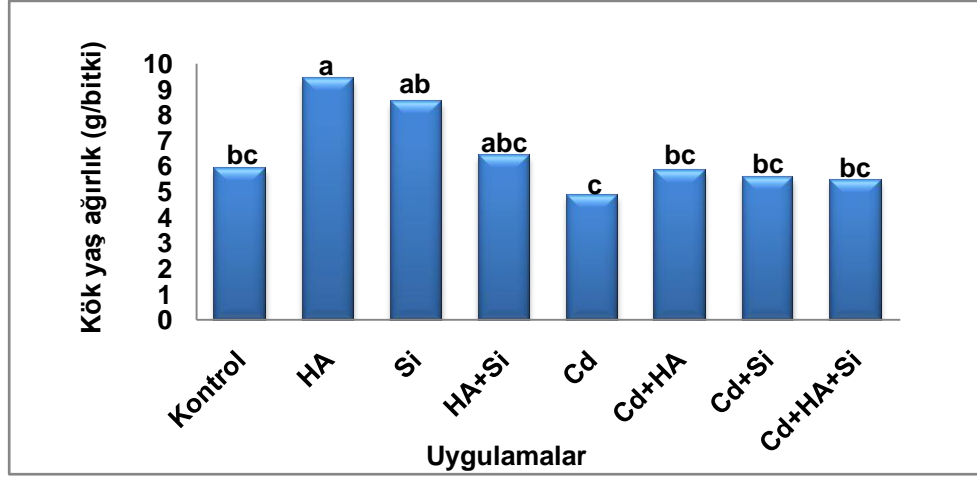
Yapılan uygulamaların taç kuru ağırlığına olan etkileri ise Şekil 4.4'te verilmiştir. Taç kuru ağırlık değerleri üzerinde uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuş olup, taç kuru ağırlıkları 10.17 g/bitki (Cd) ile 11.90 g/bitki (HA) arasında değişim göstermiştir.



Şekil 4.4. Kadmiyum ve diğer solüsyonların taç kuru ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark, istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemsizdir)

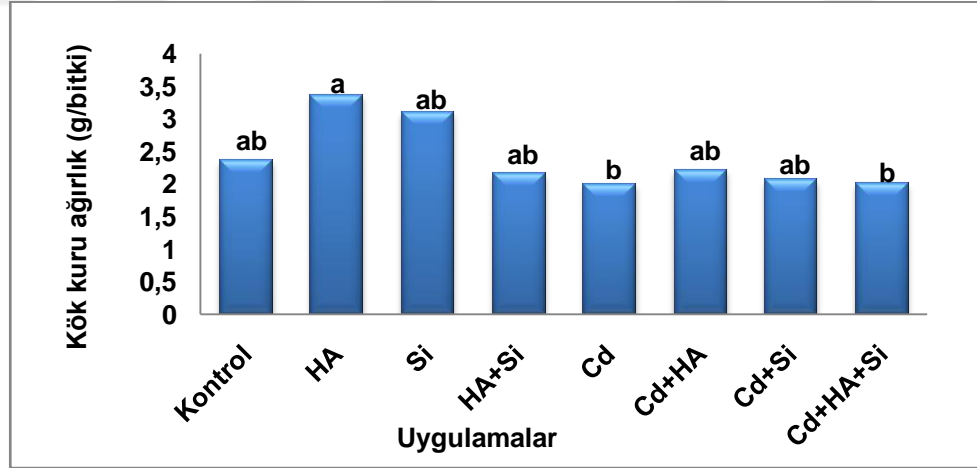
4.1.3.2. Kök yaş ve kuru ağırlığı

Kök yaş ağırlığı üzerine kimyasal uygulamaların etkisi istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemli bulunmuştur. Kök yaş ağırlığında en yüksek değer HA (9.42 g/bitki) uygulamasından, en düşük değer ise Cd (4.86 g/bitki) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.5). Cd stresi altındaki bitkilere uygulanan HA, Si ve HA+Si uygulamalarının stres etkisini azalttığı ve bu değerlerin başlangıç (kontrol) değerlerine yaklaştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. Kadmiyum ve diğer solüsyonların kök yaş ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

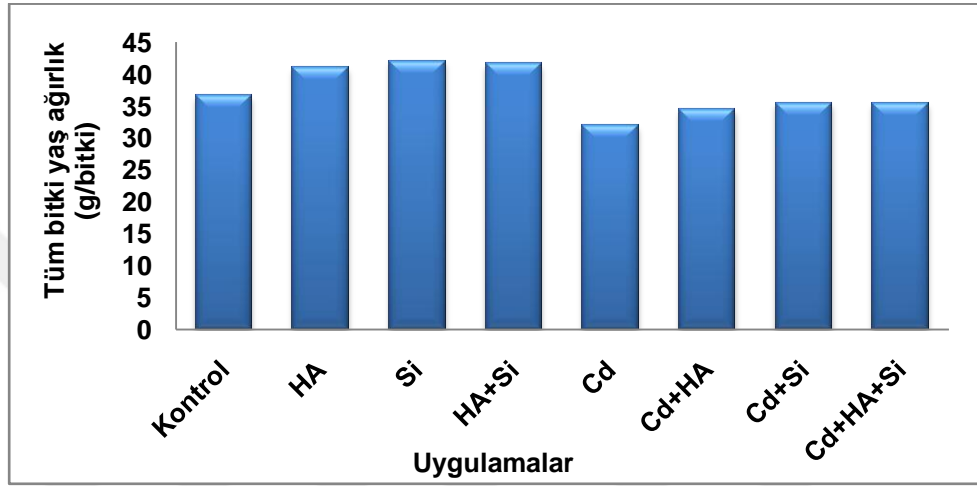
Kök kuru ağırlığında en düşük değerler Cd+HA+Si (2.01 g/bitki) ve Cd (2.03 g/bitki) uygulamalarından, en yüksek değer ise HA (3.37 g/bitki) uygulamasından elde edilmiştir. Kök kuru ağırlığı üzerine kimyasal uygulamaların etkisi istatistiksel ($p < 0.05$) olarak önemli bulunmuştur (Şekil 4. 6).



Şekil 4.6. Kadmiyum ve diğer solüsyonların kök kuru ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

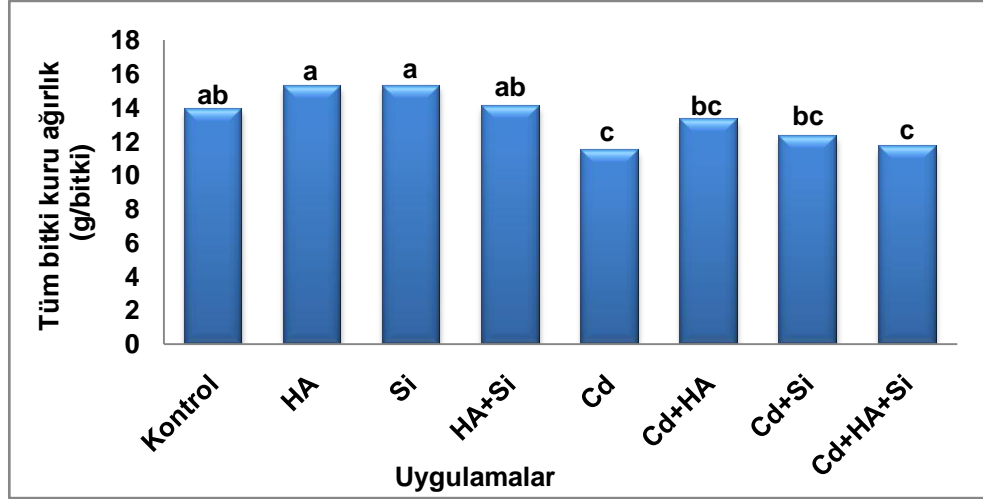
4.1.3.3 Tüm bitki yaş ve kuru ağırlığı

Rubygem çilek çeşidinde tüm bitki yaş ağırlıklarının ortalama değerleri incelendiğinde, değerler 32.00 g/bitki (Cd) ile 42.12 g/bitki (Si) arasındadır. (Şekil 4.7). Değerler incelendiğinde uygulamaların tüm bitki yaş ağırlığına etkisi istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.



Şekil 4.7. Kadmiyum ve diğer solüsyonların tüm bitki yaş ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiki olarak ($p < 0.05$) önemsizdir)

Tüm bitki kuru ağırlığına farklı uygulama düzeylerinin etkisinin istatistiki açıdan önemli olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.8). Uygulamalar arasında en yüksek değer Si (15.31 g/bitki) ve HA (15.30 g/bitki) uygulamalarından elde edilmiştir. Cd uygulamasında ise en düşük değer (11.50 g/bitki) bulunmuştur. Diğer yandan, Cd stresi altındaki bitkilere uygulanan HA, Si ve HA+Si kimyasal uygulamalarının tüm bitki kuru ağırlığında artış meydana getirdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. Kadmiyum ve diğer solüsyonların tüm bitki kuru ağırlığına etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

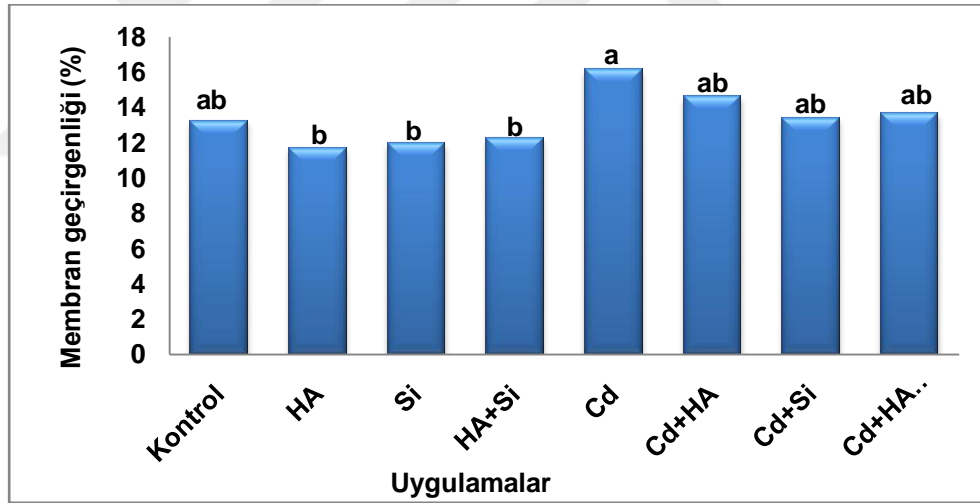
Kadmiyumun yüksek düzeyde toksik etki gösteren bir ağır metal olması sebebiyle, bitki büyüme ve gelişimini olumsuz yönde etkileyerek, bitkide gerilemeye sebep olduğu bildirilmektedir (Okçu ve ark., 2009). Bu durumun bitkilerde kadmiyum etkisiyle fotosentez ve fotosentetik ürünlerin birikim ve taşınmasında, bitkide bazı metabolik olaylarda ortaya çıkan sorunların bir sonucu olarak meydana gelebileceği ifade edilmiştir (Stobart ve ark., 1985; Vassilev ve ark., 1993; Cieslinski ve ark., 1996; Mobin ve Khan, 2007; Iqbal ve ark., 2010). Araştırmacılar farklı bitki türlerinde (buğday, fasulye ve nohut) yaptığı birçok çalışmada Cd'un bitkide yaş ve kuru ağırlık üzerine azaltıcı etki gösterdiğini saptamışlardır (Milone ve ark., 2003; Syed ve ark., 2007; Mohammad ve ark., 2010; Pıršelová ve ark., 2016). Ayrıca, araştırmacılar değişik bitki türlerinde (çilek, ıspanak, domates ve bezelye) organik madde, hümitik asit ve silikon uygulamalarından bitkinin büyüme ve gelişiminin olumlu yönde etkilendiğini ve bitkinin yaş ve kuru ağırlığında artışa neden olduğunu bildirmişlerdir (Allister, 1987; Senesi ve ark., 1990; David ve ark., 1994; Wang ve ark., 1998).

Araştırmamız, abiyotik stres altındaki bitkilerde yaş ve kuru ağırlıkların azaldığı ayrıca bitkilere uygulanan hümitik asit, silikon ve diğer bazı organik maddelerin bitkilerde tedavi edici etkisinin belirlendiği önceki çalışmalarla benzer sonuçlar göstermektedir.

4.2. Fizyolojik Özellikler

4.2.1. Membran geçirgenliği

Rubygem çilek çeşidinde yapılan uygulamaların hücre membran geçirgenliği üzerine olan etkileriyle ilgili sonuçlar Şekil 4.9'da verilmiştir. Membran geçirgenliği üzerine Cd ve kimyasal uygulamaların etkileri istatistikî olarak ($p<0.05$) önemli bulunmuştur. Cd uygulamasının yol açtığı stres, membran geçirgenliğinde artışa neden olmuştur. Kontrol uygulamalarında % 13.20 olan membran geçirgenlik değeri, Cd uygulamasında meydana gelen stresinin etkisiyle % 16.11'e yükselmiştir. Ayrıca, Cd stresinin etkisini azaltmak amacıyla yapılan HA, Si ve HA+Si uygulamalarında ise hücre membran geçirgenliği değerlerinin azalan stres etkisiyle kontrol uygulaması değerlerine yaklaştığı saptanmıştır.



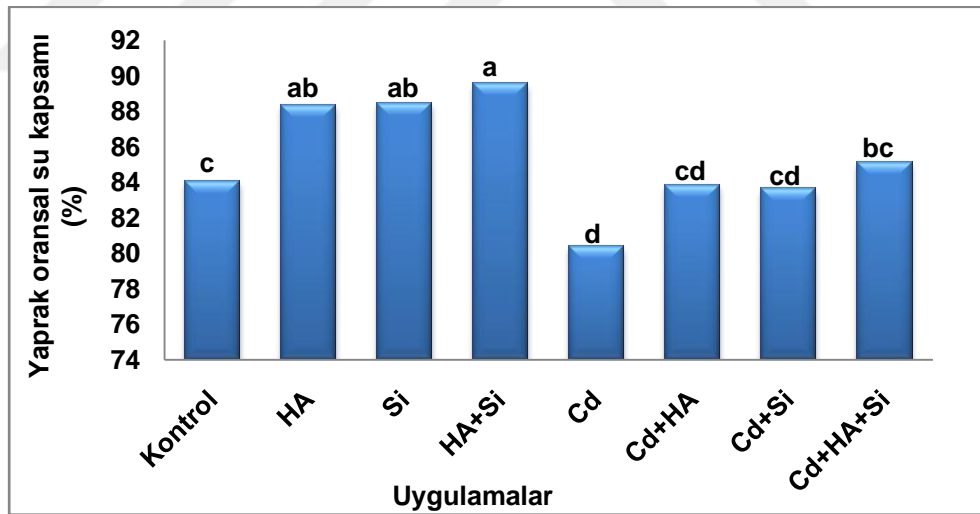
Şekil 4.9. Kadmiyum ve diğer solüsyonların membran geçirgenliği üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortamlar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemlidir)

Farklı bitki türlerinde (mısır, ayçiçeği, adaçayı ve lotus çiçeği) membran geçirgenliği üzerine yapılan çalışmalarda Cd uygulamasının yaprak membran geçirgenliğini arttırdığı bildirilmiştir (Azevedo ve ark., 2005; Krantev ve ark., 2008; Tian ve ark., 2017). Benzer sonuçlar çalışmamızda da elde edilmiştir. Diğer taraftan, abiyotik stres altındaki farklı bitki türlerinde HA ve Si uygulamalarının stres etkisini

azaltarak, membran geçirgenlik değerinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir (Samson ve Visser, 1989; David ve ark., 1994; Liang ve ark., 1996; Ma ve ark., 2001; Ma, 2004).

4.2.2. Yaprak oransal su kapsamı

Yaprak oransal su kapsamı içeriği üzerine yapılan uygulamaların etkisi istatistikî ($p<0.05$) olarak önemli bulunmuştur. Yapılan kimyasal uygulamalar içerisinde en yüksek yaprak oransal su kapsamı değerleri HA+Si (% 89.56), HA (% 88.35), Si (% 88.46) kombinasyonlarından, en düşük değer ise meydana gelen stres nedeni ile tek başına Cd (% 80.40) uygulamasından tespit edilmiştir (Şekil 4.10). Diğer taraftan; HA, Si ve HA+Si'un Cd ile kombine olarak uygulanmasındaki yaprak oransal su kapsamı değerleri, Cd'un tek başına uygulanmasındaki değerden daha yüksek bulunmuştur. Yani bu uygulamaların tek başına Cd uygulamasının stres etkisini azaltarak, yaprak oransal su kapsamında artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.



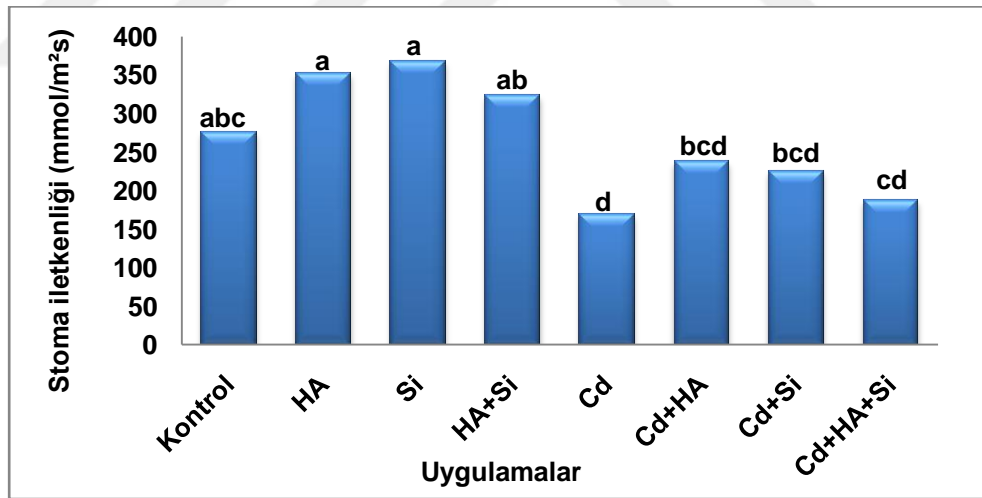
Şekil 4.10. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak oransal su kapsamı içeriği üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemlidir)

Fasülye, domates ve buğdayda yapılan benzer çalışmalarda da Cd uygulamasının etkisiyle yaprak oransal su kapsamının azaldığı tespit edilmiştir (Çekiç, 2004; Irfan ve ark., 2014; Semida ve ark., 2015). Ayrıca HA ve Si uygulamalarının pirinç ve muz bitkilerindeki yaprak oransal kapsamında artışa yol

açtığı bildirilmiştir (Henriet ve ark., 2006; Akıncı, 2011; Ming ve ark., 2012). Çalışmamızdaki yaprak oransal su kapsamına ilişkin sonuçların benzer çalışmalar ile aynı doğrultuda olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Stoma iletkenliği

Rubygem çilek çeşidinde uygulamaların stoma iletkenliği üzerine etkisi istatistikî olarak önemli bulunmuştur. Tek başına Cd uygulanması strese sebep olmuştur. Dolayısı ile stoma iletkenliğinde en düşük değer (Cd 169.63 mmol/m² s) elde edilmiştir. Diğer taraftan HA, Si, HA+Si uygulamalarının yalnız ve Cd ile kombine olarak uygulamasındaki stoma iletkenlik değerlerinin de Cd'un tek başına uygulandığı kombinasyondaki değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. (Cd+HA 237.79 mmol/m² s, Cd+Si 225.73 mmol/m² s). Yani HA ve Si uygulamaları stoma iletkenliğinde, Cd stresinin olumsuz etkisini azaltıcı yönde tepkiler göstermiştir (Şekil 4.11).



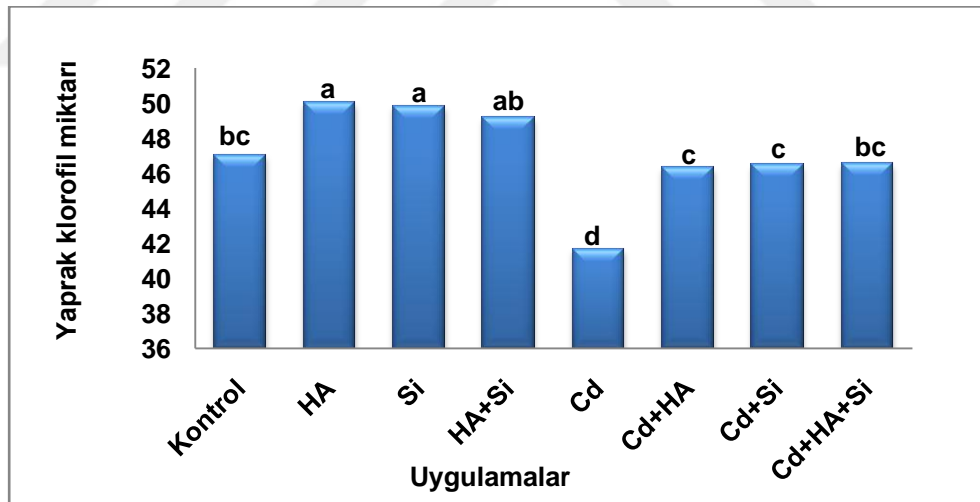
Şekil 4.11. Kadmiyum ve diğer solüsyonların stoma iletkenliği üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Cd'un bitkilerde oluşturduğu abiyotik stres göstergelerinden birisi de yaprak stoma iletkenliği üzerinde oluşturduğu olumsuz etkidir. Nitekim farklı türlerde (*Arabidopsis thaliana* L, hıyar, fıstık) yapılan çalışmalarında araştırmamızla uyumlu olduğu, Cd'un bitki metabolizmasına zarar vererek, stoma iletkenlik değerini

düşürdüğü görülmüştür. (Seregin ve Ivanov, 2001; Barbeoch ve ark., 2002; Burzyński ve Klobus, 2004; Shi ve Cai, 2008). Diğer taraftan, HA ve Si'un domateste stoma iletkenlik değerleri üzerine olumlu etkide olduğu bildirilmektedir. Bu kimyasalların (HA ve Si) bitki metabolizmasında yaptığı olumlu etkilerle birçok abiyotik stres faktörüne karşı bitki gelişimine olumlu katkılar sağladığı bildirilmektedir (Chen ve Aviad, 1990; Haghghi ve Pessarakli, 2013).

4.2.4. Klorofil miktarı

Yaprak klorofil içeriği üzerine Cd uygulaması ve Cd stresini azaltıcı kimyasal solüsyonların etkileri istatistikî olarak önemli bulunmuştur. Uygulama sonuçlarına göre en düşük klorofil içeriği Cd (41.71), en yüksek klorofil içeriği ise HA (50.05) ve Si (49.86) uygulamalarından elde edilmiştir. Diğer taraftan, HA, Si ve HA+Si uygulamaları kontrole göre yaprak klorofil içeriğinde artış meydana getirmiştir (Şekil 4.12).



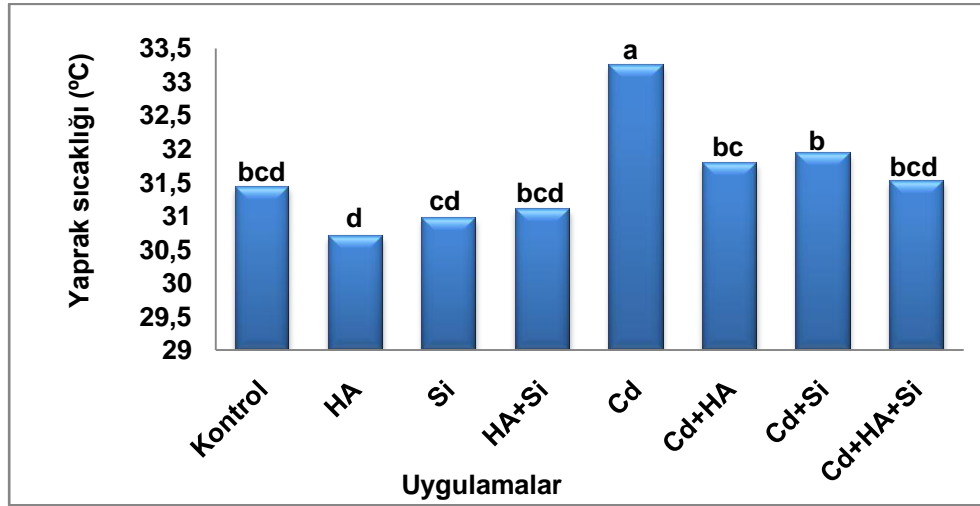
Şekil 4.12. Kadmiyum ve diğer solüsyonların klorofil miktarı üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Pamuk, domates, mısır ve fasülye bitkilerinde yapılan çalışmalarda kadmiyum uygulamaları ile yaprak klorofil miktarının azaldığı bildirilmiştir (Çekiç, 2004; Krantev ve ark., 2008; Liu ve ark., 2015; Semida ve ark., 2015; Pıršelová ve ark., 2016). Bu azalmanın ise bitkide fotosentezde ve karbon fiksasyonunda gerilemeye

yol açtığı ifade edilmektedir (Hassan ve ark., 2005). Diğer taraftan, çilekte ve diğer bazı bitki türlerinde (hıyar, turp) yürütülen çalışmalarda, HA ve Si uygulamalarının klorofil içeriğini ve buna bağlı olarak bitki büyümesini arttırdığı bildirilmiştir (Wang ve ark., 1998; Feng ve ark., 2010; Farouk ve ark., 2011; Ameri ve ark., 2012). Abiyotik stres koşullarında bitkilerde klorofil içeriğinin azaldığı, hümitik asit ve silikon uygulamalarının ise bu stres etkilerini belirgin düzeyde azaltarak klorofil içeriğini arttırdığı bildirilen bu çalışmalar araştırmamızla benzer sonuçlar göstermektedir.

4.2.5. Yaprak sıcaklığı

Rubygem çilek çeşidinde yaprak sıcaklık ölçümleri incelendiğinde, uygulamaların etkisinin istatistikî olarak önemli olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.13). Uygulamaların sonucuna göre bitkide stres faktörü olarak rol alan tek başına Cd uygulaması, yaprak sıcaklık değerinin yükselmesine neden olmuştur. Diğer yandan HA, Si ve HA+Si'nin Cd ile kombine olarak uygulanmasında stres etkisinin azaldığı ve yaprak sıcaklık değerinin düştüğü belirlenmiştir.



Şekil 4.13. Kadmiyum ve diğer solüsyonların yaprak sıcaklığı üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

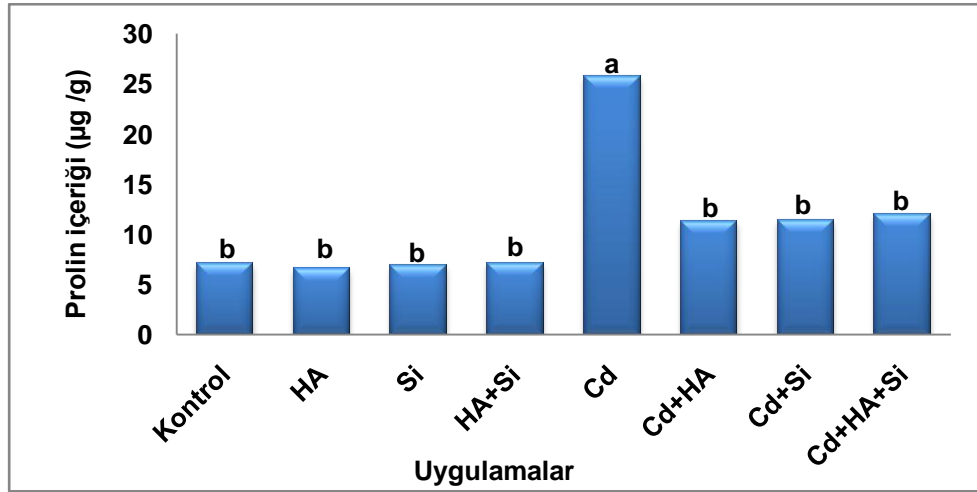
Farklı bitki türlerinde (mısır, *Acer saccharinum* L., tütün ve kavak) yapılan Cd uygulamasına tepki olarak bitkilerdeki yüzey sıcaklıklarının arttığı saptanmıştır

(Bazzaz ve ark., 1974; Lamoreaux ve Chaney, 1978; Sergeant ve ark., 2014; Liu ve ark., 2015). Diğer taraftan, bitkilerdeki abiyotik stres tepkilerini gidermek amacıyla uygulanan hümik asit ve silikon uygulamalarının ise bitki yüzey sıcaklığını azalttığı bildirilmiştir (Adatia, 1986; Akıncı, 2017; Desoky ve ark., 2018). Yaprak sıcaklığına ilişkin yapılan önceki çalışmalar araştırmamızla uyum içerisindedir.

4.3. Biyokimyasal Özellikler

4.3.1. Prolin içeriği

Denemede yapılan uygulamaların yaprak prolin içeriği üzerine etkisi istatistikî olarak ($p < 0.05$) önemli bulunmuştur. Araştırmamızda, Cd stresinin Rubygem çilek çeşidinde prolin miktarını arttırdığı tespit edilmiştir. Şekil 4.14 incelendiğinde, prolin içeriğindeki en yüksek değerin Cd (25.802 $\mu\text{g/g}$) uygulamasında, en düşük değerin ise HA (6.627 $\mu\text{g/g}$) ve Si (6.919 $\mu\text{g/g}$) uygulamalarında meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan; HA, Si ve HA+Si'un Cd ile birlikte uygulanmasında Cd'un tek başına uygulanmasına göre daha düşük düzeyde prolin tespit edilmiştir.

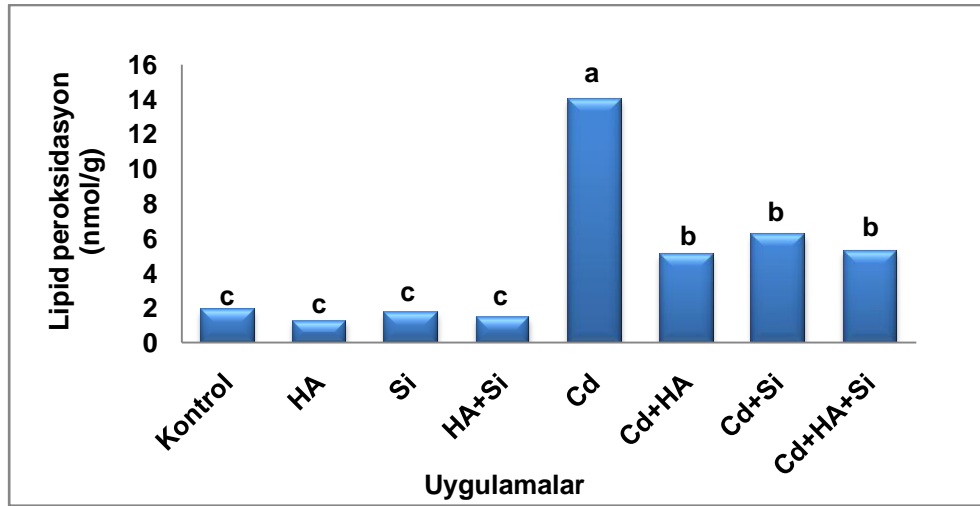


Şekil 4.14. Kadmiyum ve diğer solüsyonların prolin içeriği üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Nohut ve mısır bitkilerinde yapılan çalışmalarda da araştırmamıza benzer olarak, Cd uygulaması ile oluşan stresin yaprak prolin miktarında artışa neden olduğu bildirilmektedir (Krantev ve ark., 2008; Faizan ve ark., 2011; Kausar ve ark., 2013; İrfan ve ark., 2014). Diğer taraftan buğdayda yapılan benzer bir çalışmada ise Cd stresi (Cd prolin içeriğini arttırmış) altındaki bitkilere HA ve Si uygulanmasının yaprak prolin içeriğini azalttığı bildirilmiştir (Shen ve ark., 2010; Shi ve ark., 2014).

4.3.2. Lipid peroksidasyon içeriği

Rubygem çilek çeşidinde lipid peroksidasyon (MDA) içeriği üzerine yapılan kimyasal uygulamaların etkisi incelenmiştir. Lipid peroksidasyonu üzerine uygulamaların etkileri istatistikî olarak önemli bulunmuştur. Araştırmada kullanılan Rubygem çilek çeşidinde Cd stresinin etkisiyle MDA içeriğinin (Cd 14.03 nmol/g) arttığı görülmüştür (Şekil 4.15). Cd stresini azaltmak amacıyla kimyasal solüsyonların (HA, Si ve HA+Si) uygulanması, MDA içeriğini azaltmıştır. En düşük MDA içeriği HA (1.27 nmol/g) ve Si (1.76 nmol/g) uygulamalarında bulunmuştur.



Şekil 4.15. Kadmiyum ve diğer solüsyonların lipid peroksidasyon içeriği üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Cd uygulması yapılan bazı bitkilerde (buğday, pamuk, mısır ve fasülye) stres etkisiyle yapraklarda lipid peroksidasyon düzeyinde artış olduğu bulunmuştur. (Krantev ve ark., 2008; Yadav ve Singh, 2013; Liu ve ark., 2015; Semida ve ark., 2015). Hümik asit ve silikon uygulamalarının ise birçok bitkide stres azaltıcı etkiyle birlikte lipid peroksidasyon içeriğinde de azalmaya neden olduğu saptanmıştır (Hannan ve ark., 2016). Daha önce yapılmış bu çalışmaların bulguları araştırma sonuçlarımızla benzerlik göstermektedir.

4.4. Bitki Besin Elementi Kapsamı

4.4.1. Kök ve yaprak Cd kapsamı

Araştırmamızda çilek bitkisinin kök ve yaprak kadmiyum içeriklerine ait analiz sonuçları incelendiğinde, kimyasal uygulamaların etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Rubygem çilek çeşidinde kök Cd içerikleri en düşük HA (3.75 mg/kg) ve Si (4.45 mg/kg) uygulamalarından, en yüksek ise Cd (83.75 mg/kg) uygulamasından elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre en yüksek kök Cd içeriğinin tek başına Cd uygulamasında meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan HA, Si ve HA+Si'un Cd ile kombine uygulanmasında kökte daha düşük Cd değerlerinin meydana geldiği saptanmıştır.

Yaprak Cd içeriğine ilişkin değerler incelendiğinde ise Cd içeriğinin en yüksek değerinin tek başına Cd (2.00 mg/kg) uygulamasında ve en düşük Cd değerinin ise Si (0.24 mg/kg) ve HA (0.29 mg/kg) uygulamalarında meydana geldiği belirlenmiştir. Diğer taraftan, Cd stresini azaltmak amacıyla yapılan Cd+Si, Cd+HA ve Cd+HA+Si uygulama kombinasyonlarında yaprak Cd içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların kök ve yaprak Cd içeriklerine etkileri. (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemlidir)

Uygulamalar	Kök Cd kapsamı (mg/kg)	Yaprak Cd kapsamı (mg/kg)
Kontrol	4.79 c	0.31 d
HA	3.75 c	0.29 d
Si	4.45 c	0.24 d
HA+Si	5.19 c	0.26 d
Cd	83.75 a	2.00 a
Cd+HA	20.17 bc	0.65 c
Cd+Si	22.91 bc	0.62 c
Cd+HA+Si	44.5 b	1.02 b

Farklı bitki türlerinde yapılan birçok çalışmada da araştırmamıza benzer olarak; kadmiyum gerek tek başına gerekse bazı solüsyonlarla birlikte uygulamasının bitkide Cd içeriği üzerine farklı etkiler meydana getirdiği bildirilmektedir. Nitekim bezelye, havuç, tarhun, fesleğen, sarmısak, brokoli, ıspanak, dereotu, sorgum ve patates türlerinde yapılan çalışmalarda, dışarıdan Cd uygulamasının bitkinin yeşil aksam (yaprak ve gövde), kök ve yumru bölgesindeki Cd içeriğini arttırdığı bildirilmektedir (Blaskova, 1994; Sandalio ve ark., 2001; Vivek ve ark., 2001; Pinto ve ark., 2004; Bakhshayesh ve ark., 2014). Ayrıca birçok araştırmacı, organik madde, hümik asit ve silikon uygulamalarının toprak ve bitki bünyesinde Cd kapsamını azalttığını ve bitki büyüme-gelişmesine katkı sağladığını, ayrıca farklı bitki tür ve toprak tiplerine göre değişmekle beraber, hümik ve silikat maddelerinin ağır metallere kompleksler oluşturarak, ağır metallerin bitkiler tarafından alınımını azalttığını bildirmişlerdir (Pujola ve ark., 1992; Arancon ve ark., 2003; Shehata ve ark., 2011).

4.4.2. Kök ile yaprak N, P, K, Ca ve Mg kapsamaları

Çalışmamızda Rubygem çilek çeşidinde farklı uygulamaların kök ve yapraktaki N, P, K, Ca ve Mg içerikleri üzerine olan etkisi istatistikî olarak önemli bulunmuştur. Yapılan uygulamaların etkisi incelendiğinde (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3) Cd'un tek başına uygulanmasında bitkinin kök ve yaprağındaki N, P, K, Ca ve Mg kapsamalarının kontrol uygulamasına göre azaldığı saptanmıştır.

Diğer yandan; HA ve Si kimyasallarının tek başına veya HA+Si şeklinde kombine olarak uygulamasında, çilek bitkisinin kök ve yaprak bölgesindeki bitki besin elementi kapsamalarına yönelik olumlu gelişmeler ortaya çıktığı gözlenmiş ve bu kombinasyonlardaki içeriklerin kontrol uygulamasıyla kıyaslandığında ise N, P, K, Ca ve Mg içerik değerlerinin arttığı bulunmuştur.

Cd'un çilek bitkisinin kök ve yapraklarında meydana getirdiği stresi azaltmak amacıyla Cd ile kombine olarak uygulanan HA, Si ve HA+Si kimyasalların bitkideki stresi azaltarak, tek başına Cd uygulamasına oranla kök ve yapraktaki N, P, K, Ca ve Mg içeriklerini arttırdığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3).

Çizelge 4.2. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların kök N, P, K, Ca, Mg elementleri üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p < 0.05$) önemlidir)

Uygulamalar	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
Kontrol	2.07 a	0.97 ab	2.27 abc	0.79 abc	0.97 abc
HA	2.10 a	1.01 a	2.33 abc	0.88 a	1.00 abc
Si	1.97 ab	0.99 a	2.49 a	0.88 a	1.03 a
HA+Si	2.03 ab	0.94 abc	2.42 ab	0.85 ab	1.013 ab
Cd	1.85 b	0.80 d	1.91 d	0.61 d	0.86 d
Cd+HA	1.95 ab	0.89 bcd	2.16 c	0.71 cd	0.91 bcd
Cd+Si	1.99 ab	0.87 cd	2.23 bc	0.74 bcd	0.90 cd
Cd+HA+Si	1.94 ab	0.92 abc	2.25 bc	0.80 abc	0.92 bcd

Çizelge 4.3. Rubygem çilek çeşidinde Cd ve diğer kimyasal solüsyonların yaprak N, P, K, Ca, Mg üzerine etkileri (Sütunlar arasında değişik harfler ile gösterilen ortalamalar arasındaki fark istatistiksel olarak ($p<0.05$) önemlidir)

Uygulamalar	N(%)	P(%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)
Kontrol	2.71ab	1.34 a	2.78 ab	2.13 ab	0.40 abc
HA	2.82 a	1.42 a	2.86 a	2.56 ab	0.43 ab
Si	2.81 a	1.39 a	2.87a	2.22 a	0.45 a
HA+Si	2.78 ab	1.29 ab	2.73 abc	2.13ab	0.44 a
Cd	2.48 c	1.14 b	2.43 e	1.77 d	0.34 d
Cd+HA	2.65 abc	1.30 a	2.58 d	2.05 ab	0.37 bcd
Cd+Si	2.64 abc	1.30 a	2.64 bcd	2.03 bc	0.36 cd
Cd+HA+Si	2.60 bc	1.27 ab	2.59 cd	1.86 cd	0.35 cd

Bitkilerde Cd birikiminin makro ve mikro elementlerinin absorpsiyon ve transpirasyon aşamasında olumsuzluk oluşturduğu ve bu durumun gözle görülebilir zararlanma belirtilerinin ortaya çıkmasıyla veya ölümlerle sonuçlandığı benzer çalışmalarla bildirilmiştir. Ayrıca çilek ve farklı türlerde yapılan önceki çalışmalarda da Cd stresinin etkisiyle bitkinin kök ve yapraklarında değişik düzeylerde N, P, K, Ca ve Mg kapsamlarının azaldığı bildirilmiştir (Sanita diToppi ve Gabbrielli, 1999; Anjum ve ark., 2008; Muradoğlu ve ark., 2015).

Diğer taraftan mısır, çilek, üzüm ve domates türlerinde yapılan çalışmalarda araştırma sonuçlarımıza uyumlu olarak, humik asit ve silikon uygulamalarının bitkilerin bitki besin elementi alımını attırdığı saptanmıştır. Araştırmacılar ayrıca organik madde, silikon ve humik asit maddelerinin topraktaki N, P, K, Ca ve Mg elementlerinin bitki tarafından yeterli ve düzenli olarak alınımını sağladığını bildirmişlerdir (Tan ve Nopamombodi, 1979; Bernardoni ve ark., 1990; Wang ve ark., 1991; Lobartini ve ark., 1997; Ameri and Tehranifar, 2012; Ameri ve ark., 2013).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Topraksız kültür şartlarında, Rubygem çilek çeşidinde yapmış olduğumuz bu araştırmadan elde ettiğimiz sonuçlar doğrultusunda; Cd stresinin çilek bitkisinde yaprak alanının, yaprak sayısının, bitki yaş ve kuru ağırlıklarının ve klorofil içeriğinin azalmasına, stomaların kapanarak stomatal iletkenlik değerinin düşmesine neden olduğu ayrıca yaprak sıcaklığı, membran geçirgenliği, prolin ve lipid peroksidasyon içeriklerinin artışına yol açtığı ve bitki bünyesinde Cd birikimini arttırarak diğer bazı bitki besin elementlerinin (N, P, K, Ca, ve Mg) miktarlarının azaldığı saptanmıştır. Diğer yandan Cd'un neden olduğu stres etkisini azaltmak amacıyla çilek bitkisine uygulanan HA ve Si uygulamalarının, bitkideki bazı morfolojik (yaprak alanı, yaprak sayısı, taç yaş ve kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı ile tüm bitki yaş ve kuru ağırlığı), fizyolojik (membran geçirgenliği, stoma iletkenliği, klorofil içeriği, yaprak oransal su kapsamı, yaprak sıcaklığı) ve biyokimyasal (prolin ve lipid peroksidasyon içeriği) özellikler ile bitki besin elementi miktarlarıyla ilgili parametrelerde Cd stresinin etkisini azaltıcı yönde bulgular elde edilmiştir.

Bu veriler ışığında, günümüzde çevre kirliliğine sebep olan ağır metallerdeki artışlara bağlı olarak tarımsal yetiştiricilikte kadmiyumun neden olduğu abiyotik stres ile bitkide yol açtığı olumsuzlukların azaltılmasında veya ortadan kaldırılmasında olumlu etkilerinden dolayı hümitik asit ve silikon uygulamalarından faydalanabilme olasılığı bulunmaktadır. Ayrıca araştırmada elde edilen sonuçların, ağır metaller ile yapılabilecek benzer çalışmalara katkı sağlayacağı ve organik materyallerin kullanımının yaygınlaşmasında yararlı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ABDALLAH, E.F., HASHEM, A., ALQARAWI, A.A ., WIRTH, S. and EGAMBERDIEVA, D., 2017. Calcium Application Enhances Growth and Alleviates the Damaging Effects Induced by Cd Stress in Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Journal of Plant Nutrition*, 12(1): 237-243.
- ADATIA, M. H. and BESFORD, R.T., 1986. The Effects of Silicon on Cucumber Plants Grown in Recirculating Nutrient Solution. *Ann Bot*, 58: 343–51.
- AGOSTINHO, F.B., TUBANA, B.S., MARTINS, M.S. and DATNOFF, L.E., 2017. Effect of Different Silicon Sources on Yield and Silicon Uptake of Rice Grown Under Varying Phosphorus Rates. *Plants*, 6- 35.
- AĞAOĞLU, S.Y. ve TÜREMİŞ, N., 2013. Üzümsü Meyveler. Tomurcuk Bağ. Ltd. Şti. Eğitim Yayınları. No: 1, Ders Kitabı. Ankara, 55-115.
- AĞAOĞLU, S.Y., ve GERÇEKÇİOĞLU, R., 2013. Üzümsü Meyveler. Tomurcuk Ltd. Şti. Eğitim Yayınları, No: 1. Ders Kitabı, Ankara, 55-115.
- AKINCI, Ş., 2011. Hüyük Asitler, Bitki Büyümesi ve Besleyici Alımı. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 23(1): 46-56.
- AKINCI, Ş., 2017. Hüyük Asitlerin Stres Altındaki Bitkilerin Büyümesine ve Besleyicilerin Alınmasına Etkileri I: Tuzluluk. Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 4: 134-143.
- ALLISTER, M.J., 1987. A Practical Guide to Novel Soil Amendments. Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania. 124.
- AMERI, A. and TEHRANIFAR, A., 2012. Effect of Humic Acid on Nutrient Uptake and Physiological Characteristic *Fragaria ananassa* var: Camarosa. *J. Biol. Environ. SCI.*, 6(16): 77-79.
- AMERI, A., AMINIFARD, M. H., FATEMI, H. and AROIEE, H., 2013. Response of Growth and Yield of Ocimum Basilicum with Application of Humic acid. *Angewandten Biologie Forschung*, 1(1): 1-6.
- ANJUM, N.A., S. UMAR, A. AHMAD, and M. IQBAL., 2008. Responses of Components of Antioxidant System in Moongbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Genotypes to Cadmium Stress. *Commun Soil Sci Plant Anal*, in Press. 52.
- ANJUM, N.A., S. UMAR, A. AHMAD, M. IQBAL, and KHAN. N.A., 2008. Ontogenic Variation in Response of Brassica Campestris L. to Cadmium Toxicity. *Journal of Plant Interact* DOI: 10.1080/17429140701823164.
- ANONYMOUS, 2017. Statistical Database. Available: [http : / / www. fao. Org / home / en /](http://www.fao.org/home/en/), (20.11.2018).
- ARANCON, N.Q., EDWARDS, C.A. and BIERMAN, P., 2006. Influences of Vermicomposts on Field Strawberries: Part 2. Effects on Soil Microbiological and Chemical Properties. *Bioresource Technology*, 97, 831-840.
- ARANCON, N.Q., LEE, S., EDWARDS, C.A. and ATIYEH, R., 2003. Effects of Humic Acids Derived From Cattle, Food and Paper-Waste Vermicomposts on Growth of Greenhouse Plants. *Pedobiologia*, 47 (5–6): 741-744.

- AYDIN, A., KANT, C. and TURAN, M., 2012. Humic Acid Application Alleviate Salinity Stress of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants Decreasing Membrane Leakage. African Journal of Agricultural Research, 7(7): 1073-1086.
- AZEVEDO, H., GOMES, C. and SANTOS, C., 2005. Cadmium Effects in Sunflower: Membrane Permeability and Changes in Catalase and Peroxidase Activity in Sunflower Leaves and Calluses. Journal of Plant Nutrition, 28(12): 2233-2241.
- BAKSHAYESH, B.E., DELKASH M. and SCHOLZ M., 2014. Response of Vegetables to Cadmium Enriched Soil. Water, 1246-1256.
- BARBEOCH, L. P., VAVASSEUR, L. and FORESTIER, C., 2002. Heavy Metal Toxicity: Cadmium Permeates Through Calcium Channels and Disturbs the Plant Water Status. Plant J., 32(4): 539-48.
- BATES, L.S., WALDREN, R.P. and TEARE, I.D., 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies. Plant and Soil, 39: 205-207.
- BAZZAZ, F.A., ROLFE, G.L., CARLSON, R.W., 1974. Effect of Cd on Photosynthesis and Transpiration of Excised Leaves of Corn and Sunflower. Physiologia Plantarum, 32(4), 373-376.
- BERNARDONI, C., CERORRI, G., FABBRI, A., PAOLETTI, M., 1990. Fertigation Experiments in Horticulture. Coltre Protette, 19: 12.
- BİTİKTAŞ, A., 2007. Çinko ve Kadmiyum Toksikitesinin Marul Bitkisinde Gelişme ve Bazı Antioksidant Enzimlerin Aktivitesine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van, 36s.
- BLASKOVA, E., 1994. Cadmium, Lead, Mercury, in the Soil and in Potatoes under Irrigated Conditions. Vedecke Prace Vyskumneho Ustavu Zavlaho Hospodarstva v Bratislava, 21: 127-138.
- BREMNER, J.M. 1965. Methods of Soil Analysis. Agronomy, Am. Soc. of Agron. Inc., USA., 9: 1149-1178.
- BURZYNSKI, M. and KLOBUS, G., 2004. Changes of Photosynthetic Parameters in Cucumber Leaves Under Cu, Cd, and Pb Stress. Photosynthetica 42, 505-510.
- BÜYÜKKILIÇ, A., 2008. Harran Ovası Topraklarının ve Makarnalık Buğdaylarının Kadmiyum İçerikleri. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 124s.
- CHAAB, A., MOEZZI, A.A., SAYYAD, G.A., CHOROM, M., 2016. Effect of Compost and Humic Acid in Mobility and Concentration of Cadmium and Chromium in Soil and Plant. Global J. Environ. Sci. Manage., 2(4): 389-396.
- CHAFFEI, C., PAGEAU, K., SUZUKI, A., GOUIA, H., GHORBEL, M.H and MASCLAUX-DAUBRESSE, C., 2004. Cadmium Toxicity Induced Changes in Nitrogen Management in Lycopersicon Esculentum Leading to a Metabolic Safeguard Through an Amino Acid Storage Strategy. Plant Cell Physiol, 45(11):1681-1693.
- CHEN, Y. and AVIAD, T., 1990. Effects of Humic Substances on Plant Growth. Soil Science Society of America, p: 161-186.

- CIESLINSKI, G., NEILSEN, G and HOGUE, G.H., 1996. Effect of Soil Cadmium Application and pH on Growth and Cadmium Accumulation in Roots, Leaves and Fruit of Strawberry Plants (*Fragaria × ananassa* Duch.). EJ Plant and Soil 180: 267.
- ÇEKİÇ, F.Ö., 2004. Tuz (NaCl) ve Ağır Metal (Kadmiyum) Stresine Maruz Bırakılan Domates Bitkisinde Bazı Fizyolojik Parametrelerin ve Antioksidant Savunma Sisteminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye.
- DAVID, P.P., NELSON, P.V., SANDERS, D.C., 1994. A Humic Acid Improves Growth of Tomato Seedling in Solution Culture. Journal of Plant Nutrition, 17(1): 173–184.
- DESOKY, E. M., RADY, M.M. and MERWAD, M.A., 2018. Response of Water Deficit-Stressed Vigna Unguiculata Performances to Silicon, Proline or Methionine Foliar Application. Scientia Horticulturae, 228: 132–144.
- DUZDEMİR, O., UNLUKARA, A. and KURUNÇ, A., 2009. Response of Cow Pea to Salinity and Irrigation Regims. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, New Zealand, 37: 271-280.
- FAIZAN, S., KAUSAR, S. and PERVEEN, R., 2011. Varietal Differences for Cadmium-Induced Seedling Mortality, Foliar Toxicity Symptoms, Plant Growth, Proline and Nitrate Reductase Activity in Chickpea (*Cicer arietinum* L) . Biology and Medicine, 3(2) 196-206.
- FAROUK, S., MOSA, A.A., TAHA, A.A., HEBA, M., IBRAHIM, A. and EL-GAHMERY, M., 2011. Protective Effect of Humic Acid and Chitosan on Radish (*Raphanus sativus*, L. var. sativus) Plants Subjected to Cadmium Stress. Ournal of Stress Physiology & Biochemistry, 7(2): 99-116.
- FENG, J., SHI, Q., WANG., X., WEI, M., YANG, F. and XU, H., 2010. Silicon Supplementation Ameliorated the Inhibition of Photosynthesis and Nitrate Metabolism by Cadmium (Cd) Toxicity in *Cucumis sativus* L. Scientia Horticulturae, 123(4): 521-530.
- GERZABEK, M.H. and ULAH, S.M., 1998. Influence of Fulvic and Humic Acids on The Zn Uptake by Corn (*Zea mays* L.) from Nutrient Solution. Mitteilungen der Deutschen Badenkundlichen Gesellschaft. 56: 141–146.
- GÜLLÜCE, M., AGAR, G., ŞAHİN, F., TURAN, M., GÜNEŞ, A., DEMİRTAŞ, A., ESRİNGÜ, A., KARAMAN, M.R., TUTAR, A. ve DİZMAN, M., 2012. Pb ve Cd ile Kirletilmiş Alanlarda Yetiştirilen Turp Bitkisinin Verim Parametreleri Üzerine Humik Asit ve Ppgr Uygulamalarının Etkilerinin Belirlenmesi. SAÜ Fen Edebiyat Dergisi, 1: 509-517.
- HAGHIGHI, M., KAFI, M., FANG, P., GUI-XIAO, L., 2010. Humic Acid Decreased Hazardous of Cadmium Toxicity on Lettuce (*Lactuca Sativa* L.), Vegetable Crops Research Bulletin, 72, 49-61.
- HAGHIGHI, M. and PESSARAKLI, M., 2013. Influence of Silicon and Nano-Silicon on Salinity Tolerance of Cherry Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at Early Growth Stage. Scientia Horticulturae, 161: 111-117.

- HANNAN, F., ALI, S., AHMAD, R., RIZWAN, M., IQBAL, M., RIZVI, H. and ZIA-UR-REHMAN, M., 2016. Silicon and Cadmium Toxicity in Plants an Overview . Research gate, 245-264.
- HASHEM, H.A., HASSANEIN, R.A., EL-DEEP, M.H., and SHOUMAN, A.I., 2013. Irrigation with Industrial Waste Water Activates Antioxidant System and Osmoprotectant Accumulation in Lettuce, Turnip and Tomato Plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95: 144–152.
- HASSAN, M.J., SHAO, G. and ZHANG, G., 2005. Influence of Cadmium Toxicity on Growth and Antioxidant Enzyme Activity in Rice Cultivars with Different Grain Cadmium Accumulation. *Journal of Plant Nutrition*, 28(7):1259-1270.
- HENRIET, C., DRAYE, X., OPPITZ, I., SWENNEN, R., and DELVAUX, B., 2006. Effects, Distribution and Uptake of Silicon in Banana (*Musa* spp.) under Controlled Conditions. *Plant and Soil*, 287(1-2): 359–374.
- HERRINGTON, ME., C.K., CHANDLER, J.A., MOISANDER and REID, C.E., 2007. 'Rubygem' Strawberry. *HortScience*, 42: 1482-1483.
- IBRAHIM, M.H., ISMAIL, A., OMAR, H. and AMALINA, N., ZAIN, M., 2017. Application Effects of Cadmium and Humic Acid on the Growth, Chlorophyll Fluorescence, Leaf Gas Exchange and Secondary Metabolites in Misai Kucing (*Orthosiphon stamineus*) Benth. *Annual Research & Review in Biology*, 18(3): 1-14.
- IQBAL, N., MASOOD, A., NAZAR, R., SYEED, S. and KHAN NA., 2010. Photosynthesis, Growth and Antioxidant Metabolism in Mustard (*Brassica juncea* L.) Cultivars Differing in Cadmium Tolerance. *Agric Sci China*, 9: 519–527.
- IRFAN, M., AHMAD, A., and HAYAT, S., 2014. Effect of Cadmium on the Growth and Antioxidant Enzymes in two Varieties of *Brassica juncea*. *Saudi J Biol. Sci*, 21(2): 125–131.
- İPEK, M., PIRLAK, L., EŞİTKEN, A., DÖNMEZ, M.F. ve ŞAHİN, F., 2009. Kireçli Topraklarda Yetiştirilen Çilekte Bitki Büyümesini Artıran Bakterilerin (BBAB) Verim ve Gelişme Üzerine Etkileri. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu Kahramanmaraş, 73-77.
- JALIL, A., SELLES, F. and CLARKE, J.M., 2008. Effect of Cadmium on Growth and the Uptake of Cadmium and other Elements by Durum Wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 17(11): 1839-1858.
- KACAR, B. and INAL, A., 2008. *Plant Analysis*. Nobel Publiciaton Disturibution, Ankara, 675.
- KAUSAR, F., SHAHBAZ, M. and ASHRAF, M., 2013. Protective Role of Foliar Applied Nitric Oxide in Triticum Aestivum under Saline Stress. *Turk. J. Bot.*, 37: 1155-1165.
- KHAN, A.N., QURESHI, R.H. and AHMAD, N., 2004. Salt Tolerance of Cotton Cultivars in Relation to Relative Growth Rate in Saline Environments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 6(5): 786-787.
- KIRAN, S., ÖZKAY, F., KUŞVURAN, Ş. ve ELLİALTIOĞLU, Ş.Ş., 2014. Ağır Metal İçeriği Yüksek Sularla Sulanan Patlıcan Bitkilerine Uygulanan Humik Asidin Bazı Morfolojik, Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikler Üzerine Etkisi. *Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(6): 280-288.

- KLAMKOWSKI, K. and TREDER, W., 2008. Response to Drought Stress of Three Strawberry Cultivars Grown Under Greenhouse Condition. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16: 179-188.
- KORKMAZ, H. ve DURMAZ, A., 2017. Bitkilerin Abiyotik Stres Faktörlerine Verdiği Cevaplar. *Güfbed/Gustij*, 7(2): 192-207.
- KRANTEV, A., YORDANOVA, R., JANDA, T., SZALAI, G., and POPOVA, L., 2008. Treatment with Salicylic Acid Decreases the Effect of Cadmium on Photosynthesis in Maize Plants. *Journal of Plant Physiology*. (165): 920-93.
- KUŞÇU, A., 2006. Yazlık Ekmeklik Buğday (*Triticum aestivum* L.) Veriminde Son Çeyrek Yüzyılda Gerçekleşen İlerlemelerin Morfolojik ve Fizyolojik Esasları. Doktora Tezi, Çukurova üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü., 59-60.
- LAMOREAUX, R.J. and CHANEY, W.R., 1978. The Effect of Cadmium on Net Photosynthesis, Transpiration, and Dark Respiration of Excised Silver Maple Leaves. *Physiologia Plantarum*, 43(3): 231-236.
- LI, S., WANG, F., RU, M. and NI, W., 2014. Cadmium Tolerance and Accumulation of *Elsholtzia argyi* Originating from a Zinc/Lead Mining Site a Hydroponics Experiment. *International Journal of Phytoremediation*, 16: 1257–1267.
- LIANG, Y., SHEN, Q., SHEN, Z., and MA, T., 1996. Effects of Silicon on Salinity Tolerance of two Barley Cultivars. *Journal of Plant Nutrition*, (19)1: 173-183.
- LIU, L.T., SUN, H.C., CHEN, J., ZHANG, Y.J., WANG, X.D., LI, D.X. and LI, C.D., 2015. Cotton Seedling Plants Adapted to Cadmium Stress by Enhanced Activities of Protective Enzymes. *Plant Soil Environ*, 62(2): 80–85.
- LIU, Z.P., ZHANG, Q.F., HAN, T.Q., DING, Y.F., SUN, J.W., WANG, F.J. and ZHU, C., 2016. Heavy Metal Pollution in a Soil-Rice System in the Yangtze River Region of China. *Int J Environ Res Public Health*, 13:63.
- LOBARTINI, J.C., ORIOLI, G.A. and TAN, K.H., 1997. Characteristics of Soil Humic Acid Fractions Separated by Ultrafiltration. *Corn. Soil Sci. Plant Anal.*, 28(9-10): 787-796.
- LUTTS, S., KINET, J.M. and BOUHARMONT, J., 1996. NaCl-Induced Senescence in Leaves of Rice (*Oryza Sativa* L.) Cultivars Differing in Salinity Resistance., *Annals of Botany*, 78: 389-398.
- MA, J.F., 2004. Role of Silicon in Enhancing The Resistance of Plants to Biotic and Abiotic Stresses. *Soil Sci. Plant Nutr*. 50: 11–18.
- MA, J.F., MIYAKE, Y. and TAKASHI, E., 2001. Silicon as a Beneficial Element for Crop Plant. *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 17 -39.
- MAAS, J.L., WANG, S.Y., and GALLETA, G.J., 1996. Heath Enhancing Properties of Strawberry Fruit, in: Pritts, M.P., Chandler, C.K. and C Rucker , T.E. (eds). *Proceeding of the V North American Strawberry Conference*, Orlando, Florida, 11-18.
- MAHAJAN, S. and TUTEJA, N., 2005. Cold, Salinity and Drought Stresses: An Overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 444: 139–158.
- MANCUSO, S. and AZZARELLO, E., 2002. Heat Tolerance in Olive. *Adv. Hort. Sci.*, 16(3-4): 125-130.

- MILONE, M.T., SGHERRI, C., CLIJSTERS, H. and NAVARI-IZZO, F., 2003. Antioxidative Responses of Wheat Treated with Realistic Concentration of Cadmium. *Environmental Experimental Botany*, 50: 265–276.
- MING, D.F., PEI, Z.F., NAEEM, M.S., GONG, H.J. and ZHOU, W.J., 2012. Silicon Alleviates PEG-Induced Water-Deficit Stress in Upland Rice Seedlings by Enhancing Osmotic Adjustment. *Journal Agronomy and Crop Science*, 198(1): 14-26.
- MOBIN, M., and KHAN, N.A., 2007: Photosynthetic Activity, Pigment Composition and Antioxidative Response of two Mustard (*Brassica juncea*) Cultivars Differing in Photosynthetic Capacity Subjected to Cadmium Stress. *J. Plant Physiol.* 164, 601-610.
- MOHAMMAD, M., BARKET, A., SHAMSUL, H. and AQIL, A., 2010. The Effect of Chloroindole Acetic Acid on Some Growth Parameters in Mung Bean under Cadmium Stress. *Turk J Biol.*, 34: 9-13.
- MURADOĞLU, F., GUNDOĞDU, M., ERCİŞLİ, S., TARIK, E., BALTA, F., JAFAR, H.Z. and ZIA-UL-HAK, M., 2015. Cadmium Toxicity Affects Chlorophyll a and b Content, Antioxidant Enzyme Activities and Mineral Nutrient Accumulation in Strawberry. *Biological Research*, 48: 11.
- NARDI, S., TOSONI, M., PIZZEGHELLO, D., PROVENZANO, M.R., CILENTI, A., STURARO, A., RELLA, R. and VIANELLO, A., 2005. Chemical Characteristics and Biological Activity of Organic Substances Extracted from Soilsby Root Exudates. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 69, 2012–2019.
- NEZHADAHMADI, A., FARUQ, G. and RASHID, K., 2015. Influence of Drought Stress on Leaf Traits Of Different Strawberry (*Fragaria ananassa* L.) Varietiesın Natural Environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 46: 1249-1262.
- OKCU, M., TOZLU, E., KUMLAY, A.M. ve PEHLUVAN, M., 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alınteri*, 17(B): 14-26.
- ÖKTÜREN ASRİ, F., SÖNMEZ, S. ve ÇITAK, S., 2014. Kadmiyumun Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Derim*, 24(1), 32-39.
- ÖZKAY, F., KIRAN, S., KUŞVURAN, Ş.Ş. ve ELLİALTIOĞLU, Ş., 2016. Hüyük Asit Uygulamasının Kıvırcık Salata Bitkisinde Ağır Metal Stresi Zararını Azaltma Etkisi. *Türk Tarım–Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(6): 431-437.

- ÖZKAY, F., KIRAN, S., TAŞ, İ., PETEKKAYA, İ., SEÇMEN, M.H., AĞAR, A. ve KALINBACAK, K., 2014. Ağır Metal İçerikli Sulama Sularının Hümik Asit Uygulanan Topraktaki Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 2(1): 34–41.
- ÖZTÜRK, E., 2011. Farklı Dozlarda Humik Asit ve Kadmiyum Uygulamalarının Hıyar (*Cucumis Sativus* L.) Bitkisinde Kadmiyum Birikimine ve Fide Gelişimine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Van,40s.
- PADEM, H., ÜNLÜ, H. ve TAKKA, H.İ., 2003. *Agaricus bisporus* L. Üretiminde Ağaç İşleme Sanayi Atık Maddeleri ve Humik Asit Uygulamalarının Verim ve Kaliteye Etkisi, *Ekoloji Çevre Dergisi*, 12,(46): 8-11.
- PEREIRA, T.S., SOUZA, C.L., LIMA, E.J.A., BATISTA, B.L. and LOBATO, A.K.S., 2018. Silicon Deposition in Roots Minimizes the Cadmium Accumulation and Oxidative Stress in Leaves of Cowpea Plants. *Physiol Mol Biol Plants*, 24(1): 99–114.
- PINTO, A.P., MOTA, A.M., DE VARENNES, A. and PINTO, F.C., 2004. Influence of Organic Matter on the Uptake of Cadmium, Zinc, Copper and Iron by Sorghum Plants. *Sci Total Environ* 326: 239–274.
- PIRŠELOVÁ, B., KUNA, R., LUKÁČ, P. and HAVRLETOVÁ, M., 2016. Effect of Cadmium on Growth, Photosynthetic Pigments, Iron and Cadmium Accumulation of Faba Bean (*Vicia Faba* Cv. Aštar). *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 62(2): 72-79.
- PUJOLA, M., SANA, J., SENESI, N. and MIANO, T.M., 1992. Effects of Organic Fertilizer on Functional Groups of Humic Acid in Soil. *Humic Substances in the Global Environment and Implications on Human Health. Proceedings of the 6 th International Meeting of the International Humic Substances Society*, 695-700.
- QIAN, W., ZHU, L., SHUIPING, C., and ZHENBIN, W., 2010. Influence of Humic Acids on the Accumulation of Copper and Cadmium in *Vallisneria spiralis* L. from Sediment Environmental Earth Sciences, 61(6): 1207-1213.
- SAIRAM, R.K. and D. SEXENA, 2000. Oxidative Stress and Antioxidants in Wheat Genotypes: Possible Mechanism of Water Stress Tolerance. *J. Agron. Crop. SCI.*, 184: 55-61.
- SAMSON, G. and VISSER, S.A., 1989. Surface-Active Effects of Humic Acids on Potato Cell Membrane Properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 21(3):343-347.
- SANCHEZ, F.J., ANDRES, E.F., TENORIO, J.L. and AYERBE, L., 2004. Growth of Epicotyls, Turgor Maintenance and Osmotic Adjustment in Pea Plants (*Pisum sativum* L.) Subjected to Water Stres. *Field Crops Research*, 86: 81-90.
- SANDALIO, L.M., DALURZO, H.C., GOMEZ, M., ROMERO-PUERTAS, M.C. and DEL RIO, L.A., 2001. Cadmium-Induced Changes in the Growth and Axidative Metabolism of Pea Plants. *Journal of Experimental Botany*, 52(364): 2115-2126.
- SANITA DI TOPPI, L. and GABBRIELLI, R., 1999. Response to Cadmium in Higher Plants. *Environ. Exp. Bot.*, 41:105-131.

- SEMIDA, W.M., RADY, M.M., EL-MAGEED, T.A., HOWLADAR, S.M., ABDELHAMID, M.T., 2015. Alleviation of Cadmium Toxicity in Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Plants by the Exogenous Application of Salicylic Acid. *J Horticult Sci. Biotechnol* 90(1):83–91.
- SENESI, N., LOFFREDO, E. and PADONAVA, G., 1990. Effects of Humic Acid. Herbicide interactions on the Growth of *Pisum Sativum* in Nutrient Solution. *Plant and Soil*, 127: 41-47.
- SEREGIN, I.V. and IVANIOV, V.B., 2001. Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 48: 606-630.
- SERGEANT, K., KIEFFER, P., DOMMES, J., HAUSMAN, J.F. and RENAUT, J., 2014. Proteomic Changes in Leaves of Poplar Exposed to both Cadmium and Low-Temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 106: 112–123.
- SHEHATA, S.A., GHARIB, S.A., EL-MOGY, M.M., GAWAD, A. and SHALABY, E., 2011. Influence of Compost, Amino and Humic Acids on the Growth, Yield and Chemical Parameters of Strawberries. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(11): 2304-2308.
- SHEN, X., ZHOU, L., DUAN, Z.Y., LI, A., ENEJI, E. and LI, J., 2010. Silicon Effects on Photosynthesis and Antioxidant Parameters of Soybean Seedlings Under Drought and Ultraviolet-B Radiation. *J. Plant Phys.*, 167: 1248–1252.
- SHEORAN, I.S., SINGAL, H.R., and SINGH, R., 1990. Effect Of Cadmium and Nickel On Photosynthesis and Enzymes Of The Photosynthetic Carbon Reductioncycle In pigeonpea (*Cajanuscajan* L.). *Photosynthesis Research*, 23, 345-351.
- SHI, Y., ZHANG, Y., YAO, H.J., WU, J.W., SUN, H. and GONG, H.J., 2014. Silicon Improves Seed Germination and Alleviates Oxidative Stress of Bud Seedlings in Tomato Under Water Deficit Stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 78: 27–36.
- SHI, G.R. and CAI, Q.S., 2008. Photosynthetic and Anatomic Responses of Peanut Leaves to Zinc Stress. *Photosynthetica*, 46(4): 627-630.
- SOSSÉ, B.A., GENET, P., DUNAND-VINIT, F., TOUSSAINT, L.M., EPRON, D. and BADOT, P.M., 2004. Effect of Copper on Growth in Cucumber Plants (*Cucumis Sativus*) and Its Relationships With Carbohydrate Accumulation and Changes in Ion Contents. *Plant Science*, (166):1213-1218.
- STOBART, A.K., GRIFFITHS, W.T., AMEEN-BUKHARI, A. and SHERWOOD, R.P., 1985. The Effect of Cd on the Biosynthesis of Chlorophyll in Leaves of Barley. *Physiol. Plant.* 63, 291-293.
- SUSHERA, B., PRAYAD, P., GUY, L.R., JULIAN, F., TYSON KRUATRACHUE, M., XING, B. and SUCHART, U., 2007. Influences of Cadmium and Zinc Interaction and Humic Acid on Metal Accumulation in *Ceratophyllum Demersum*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 180.(1-4): 225-235.
- SYED, A.H., BARKET, A., SHAMSUL, H. and AQIL, A., 2007. Cadmium-Induced Changes in the Growth and Carbonic Anhydrase Activity of Chickpea. *Turk J Biol.*, 31: 137-140.

- TAN, H.K. and NOPAMOMBODI, V., 1979. Effect of Different Levels of Humic Acids on Nutrient Content and Growth of Corn (*Zea mays* L.). *Plant and Soil*, 51(2): 283-287.
- TIAN, D., LIU, A. and XIANG, Y., 2017. Effects of Biochar on Plant Growth and Cadmium Uptake: Case Studies on Asian Lotus (*Nelumbo nucifera*) and Chinese Sage (*Salvia miltiorrhiza*), <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.68251>.
- TREDER, W. and CIESLINSKI, G., 2005. Effect of Silicon Application on Cadmium Uptake and Distribution in Strawberry Plants Grown on Contaminated Soils. *Journal of Plant Nutrition*, 28: 917-929.
- TREVISAN, S., PIZZEGHELLO, D., RUPERTI, B., FRANCIOSO, O., SASSI, A., PALME, K., QUAGGIOTTI, S. and NARDI, S., 2009. Humic Substances Induce Lateral Root Formation and Expression of the Early Auxin-Responsi and IAA 19 Gene and DR5 Synthetic Element in Arabidopsis. *Plant Biol.* 12: 604-614.
- UYSAL, B., 2012. Ispanakta Kadmiyum Toksisitesine Bağlı Oksidatif Stres Üzerine Potasyum Beslenmesinin Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 77s.
- VASSILEV, A., KERIN, V. and YORDANOV, I., 1993. The Effect of Cd Stress on the Growth and Photosynthesis of Young Barley Plants (*H. vulgare* L.). *Bulg. J. Plant Physiol.*, 19(1-4), 22-29.
- VIVEK, D., VIVEK, P. and RADHEY, S., 2001. Differential Antioxidative Responses to Cadmium in Roots and Leaves of Pea (*Pisum sativum* L. Cv. Azad). *Journal of Experimental Botany*, 52(358): 1101-1109.
- WANG, C.D., CHAN, H.T. and LAY, C.L., 1991. Effects of Organic Manures on the Yield and Quality of Grapes. *Bulletin of Taichung District Agricultural Improvement Station*, 3: 41-48.
- WANG, C.X., MO, Z., WANG, H., WANG, Z.J. and CAO, Z.H., 2003. The Transportation, Time Dependent Distribution of Heavy Metals in Paddy Crops. *Chemosphere*, 50: 717-723.
- WANG, S.Y. and GALLETTA, G.J., 1998. Foliar Application of Potassium Silicate Induces Metabolic Changes in Strawberry Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 21(1):157-167.
- YADAV, K. and SINGH, N.B., 2013. Effects of Benzoic Acid and Cadmium Toxicity on Sheat Seedlings. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(2): 168-174.
- YAZICI, G., 2014. Kadmiyum Birikimi Üzerine Marul (*Lactuca Sativa*.) Bitkisinde İndol Asetik Asidin Etkisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 69s.
- YILMAZ, H., 2009. Çilek, HasadYayıncılık Ltd. Şti., İstanbul, 348s.
- YINGANG, L., JUN, M., YING, T., JUNYU, H., CHRISTIE, P., LINGJIA, Z., WENJIE, R., MANYUN, Z., and DENG, S., 2018. Effect of Silicon on Growth, Physiology, and Cadmium Translocation of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) in Cadmium-Contaminated Soil. *Pedosphere*, 28(4): 680-689.

ZHANG, X., ZHANG, X., GAO, B., LI, Z., XIA, H., LI, H. and LI, J., 2014. Effect of Cadmium on Growth, Photosynthesis, Mineral Nutrition and Metal Accumulation of an Energy Crop, King Grass (*Pennisetum americanum* x *P. purpureum*). *Biomass and Bioenergy*, 67: 179-187.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı soyadı : Meral DOĞAN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa / 23.08.1993
e-mail : dogan651@hotmail.com

EĞİTİM

Lise: H. Sebiha Özlek Lisesi / Şanlıurfa (2008-2011)
Üniversite: Harran Üniversitesi / Şanlıurfa (2012-2016)

UZMANLIK ALANI

Bahçe Bitkileri, Meyvecilik Anabilim Dalı

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR:

BOLAT, I., DOĞAN, M., İKİNCİ, A. and KORKMAZ, K., 2018. Relations Between the Water Stress and Irrigation Period, Climate, Soil and Plant Properties in Temperate Fruit Crops. 1. International Gap Agriculture & Livestock Congress, 275.

BOLAT, I., KORKMAZ, K., İKİNCİ, A. and DOĞAN, M., 2018. Effects of Deficit Irrigation on Development of Different Organs of Stone Fruits. 1. International Gap Agriculture & Livestock Congress, 274.

HATİPOĞLU, İ.H., AK B.E., DOĞAN, M., 2018. Şanlıurfa'da Dış Mekan Süs Bitkilerinin Peyzaj Planlama ve Tasarım Çalışmalarında Değerlendirilmesi. I.Uluslararası Gap Tarım ve Hayvancılık Kongresi. 25-27 Nisan 2018, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Şanlıurfa, 299.

HATİPOĞLU, İ.H., DOĞAN, M., GÜRSÖZ, S., 2018. Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsünde 'Hortikültürel Terapi' Kavramı Işığında Peyzaj Planlamalarında Engelli Erişilebilirliğinin İrdelenmesi. I.Uluslararası Gap Tarım ve Hayvancılık Kongresi. 25-27 Nisan 2018, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Şanlıurfa, 300.