

Kadmiyum Stresi Altındaki Çilek (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) Bitkisinde Metil Jasmonat Uygulamalarının Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri

Ferhad MURADOĞLU*¹, Rana BAYTIN², İbrahim BAŞAK³, Gökhan AKKUŞ⁴

ÖZET: Ağır metaller bitki için temel besin maddesi olmayan genellikle toksik etkiye sahip elementlerdirler. Kadmiyum bitki büyüme ve gelişmesini ciddi sınırlandırabilen ve çevreye olumsuz etkileri olduğu iyi bilinen en önemli toksik metallere biridir. Bitkisel hormonlar, bitki bünyesindeki hormonların üretim, dağıtım veya sinyal çevrimini değiştirerek çevre koşullarına karşı değişen tepkiyi vermesi yanında bitki büyüme ve gelişmesini düzenleyen küçük moleküllerdirler. Jasmonatlar (JAs) birçok ileri bitki süreçlerini düzenlemekte ve olumsuz çevresel stres faktörlerine karşı bitki savunma mekanizmasında aktif bir rol oynamaktadırlar. Bu çalışmada, ağır metal (kadmiyum) stresinde dışsal metil jasmonat (MeJa) uygulamalarının çilek (Camarosa) bitkisinde bazı büyüme parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada kadmiyum konsantrasyonunun artışına paralel olarak çilek bitkisinde incelenen büyüme parametrelerinde düşüş belirlenmiştir. Bununla birlikte, metil jasmonat uygulamalarının kadmiyum toksitesini hafiflettiği ve uygulama dozuna bağlı olarak çilek bitkisinde kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı ve yaprak alanında artış sağladığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kadmiyum uygulamalarının çilek bitkisinin büyümesi üzerine olumsuz etkilerinin olduğu ve metil jasmonat uygulamalarının ise kadmiyum stresinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal toksitesi, kadmiyum, metil jasmonat, çilek

The Effect of Methyl Jasmonate Applications on Some Growth Parameters in Strawberry (*Fragaria x ananassa* “Camarosa”) Plant under Cadmium Stress

ABSTRACT: Heavy metals which are not the essential plant nutrients for plants generally have toxicity effect. Cadmium is one of the most important toxin metals well known to have a negative impact on the environment and can severely limit plant growth and development. Plant hormones are small molecules that regulate plant growth and development, as well as changing the production, distribution or signal cycle of the hormones within the plant, changing the environmental conditions. Jasmonates (JAs) regulate many advanced plant processes and play an active role in plant defense mechanisms against adverse environmental stress. The present study was aim to test the effect of exogenously applied methyl jasmonate (MeJa) on some growth parameters of strawberry (Camarosa cv.) plant exposed to heavy metal (Cd) stress. In study, growth parameter of the strawberry plant was decreased parallel with the application of increasing concentrations of Cd. On the other hand, exogenously applied of methyl jasmonate was modify of cadmium toxicity and root number, root weight, body weight, and leaf weight rose with depending on methyl Jasmonate dose. The results presented in this work suggested that Cd treatments have a negative effect on growth and methyl jasmonate apply plays an important role in the strawberry decreasing to cadmium stress.

Keywords: Heavy metal toxicity, cadmium, Methyl Jasmonate, strawberry

¹ Ferhad MURDOĞLU (Orcid ID: 0000 0001 6595 7100), Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu.

² Rana BAYTIN (Orcid ID: 0000 0002 2814 2110), Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Başkale Meslek Yüksek Okulu, Van

³ İbrahim BAŞAK (Orcid ID: 0000 0002 5160 3229), Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu İl Müdürlüğü, Van

⁴ Gökhan AKKUŞ (Orcid ID: 0000 0003 0675 755X), GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Şanlıurfa.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Ferhad MURADOĞLU, e-mail: muradogluf@ibu.edu.tr

GİRİŞ

Ağır metal kirliliği, çevreye olumsuz etkilerinden dolayı büyük bir küresel sorun olarak görülmekle birlikte bitki büyümesini engellemekte, ürün ve verim üzerine olumsuz etkileri olmaktadır (Kranner ve Colville, 2011; Singh ve Prasad, 2014). Kadmiyum gibi bu metallerin çoğunun düşük konsantrasyonları bile bitkilerde toksik etkilere sahip olmaktadır. Çevre kirliliğine sebep olan kadmiyumun temel kaynağı hem doğal hem de insan kaynaklı olan; metal açısından zengin kayalar, madencilik, elektrik santralleri, belediye atıkları, fosil yakıtlar, böcek ilaçları, mineral gübreler (özellikle fosfat gübre), aşırı atık su kullanımı ve tarım amaçlı arıtma çamurudur (Özbek ve ark., 2014; Hassan ve Mansoor, 2014). Kadmiyum bitki sistemine girdiğinde, ilk belirti olarak, nekroz, kök ve sürgün büyümesinin azalması nihayetinde ise fitotoksositeye yol açmaktadır (Dias ve ark., 2013).

Kadmiyum çeşitli enzimleri inaktive ederek, fizyolojik ve biyokimyasal olaylarda anahtar rol oynamaktadır. Kadmiyumun fotosentetik fonksiyonlar, su alımı (Mishra ve ark., 2006), mineral element alımı (Muradoğlu ve ark., 2015), yaprak kıvrılması, kloroz, kök ve gövde uzunluğunun sınırlanması (Mishra ve ark., 2006), hormon dengesi ve membran fonksiyonları (Chen ve ark., 2003) üzerine olumsuz etkileri olmaktadır. Kadmiyum toksisitesi, lipid peroksidasyonunu uyararak bitkilerde oksidatif hasara neden olan ve hücrenin diğer biyomoleküllerini etkileyen reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumunu uyarmaktadır (Cho ve Seo, 2005; Muradoğlu ve ark., 2015).

Bitkisel hormonlar, indol asetik asit, gibberellik asit, absisik asit, sitokininler, jasmonik asit (JA), salisilik asit (SA), brassinosteroidler vb. dahil olmak üzere birçok bitki hormonu, bitki büyümesinin sürdürülmesi, stres şartlarında tolerans potansiyelinin iyileştirilmesi amacıyla fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerin kontrollü bir şekilde yok edilmesini sağlayan koordineli ve entegre bir şekilde büyümeyi düzenleyen bileşiklerdir (Iqbal ve ark., 2014). Bitkisel hormonlar, stres altında bulunan bitkilerde büyüme ve gelişmede etkili olan önemli stres ajanlarıdır ve stres altındaki bitkilerde, oksin, sitokinin ve gibberellik asit miktarında düşüşler bunun yanında absisik veya jasmonik asit içeriğinde artış sıklıkla görülmektedir (Bajguz, 2009). Bu nedenle, abiyotik stres faktörlerini iyileştirmek için alternatif bir strateji olarak fitohormonlar ve bitki büyüme düzenleyiciler dışsal olarak kullanılmaktadır.

Bitkiler aleminde büyüme ve gelişme üzerine ümit verici olarak kullanılan hormonlardan biride jasmonik asittir. Jasmonik asit (JA) ve onun metil esteri olan metil jasmonat (MeJa), bitkilerde doğal olarak oluşmakta ve bir çok fizyolojik, biyokimyasal oluşumda düzenleyici olarak rol almaktadır. JA/MeJa uygulamalarının stres koşullarına karşı savunma mekanizmalarını harekete geçirerek stresin zararlı etkilerini önleyebildiği özellikle abiyotik strese karşı toleransı artırdığı (Ahmad ve ark., 2016), herbisite karşı savunma oluşturduğu (Kaya ve Doğanlar, 2016), abiyotik streslerden UV, kuraklık, ağır metal, ozon, soğuk, yüksek ısı ve tuz streslerini hafiflettiği (Dar ve ark., 2015) ve mantari patojenlere karşı dayanıklılık (Li ve ark., 2014) gibi bazı biyolojik aktiviteler üzerine etki etmektedir. Sanayileşme ve kentleşme sonucunda artan ağır metal ve pestisit kullanımı bitkilerdeki bazı fizyolojik ve morfolojik süreçleri etkileyerek, hücre organellerine ve verimin azalmasına neden olmaktadır. Jasmonik asidin bitkileri çeşitli abiyotik streslerin zararlı etkilerine karşı koruyucu rolünün olduğu belirlenmiştir. Fakat jasmonik asit ve türevlerinin (MeJa) dışsal uygulamalarının ağır metal stresine etkileri üzerine yapılan çalışmalar henüz yeterli düzeyde değildir.

Bu çalışmada kadmiyum stresi altındaki Camarosa çilek çeşidine dışsal metil jasmonat uygulamalarının çilek bitkisindeki bazı fizyolojik gelişimler üzerine etkileri belirlenerek metil jasmonat uygulamalarının kadmiyum stresinin tolerans potansiyelleri araştırılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma materyalini oluşturan Camarosa çilek çeşidi su kültüründe ve iklim odasında yetiştirilmiştir. Deneme üç tekerrürlü ve her tekerrürde 20 bitki olacak şekilde tam şansa bağlı deneme desenine göre yürütülmüştür. Frigo fide olarak temin edilen Camarosa çilek fidelerinde dikim öncesi kök budaması yapılmıştır. Fideler, birer hafta arayla değiştirilen 1/2 Hogland çözeltisi içerisinde tutulmuştur. Ağır metal konsantrasyonları Hogland besin çözeltisiyle birlikte uygulanmış ve ağır metal uygulamasına başladıktan 2 hafta sonra Metil Jasmonate (MeJa) uygulamaları fidelere sprey şeklinde uygulanmıştır. Denemede,

- 1-kontrol,
- 2- 0.25 mM kadmiyum,
- 3- 0.50 mM kadmiyum
- 4- 0.01 mM MeJa
- 5- 0.1 mM MeJa
- 6-0.25 mM kadmiyum+0.01 mM MeJa
- 7- 0.25 mM Kadmiyum +0.1 mM MeJa
8. 0.50 mM Kadmiyum +0.01 mM MeJa
- 9- 0.50 mM kadmiyum +0.1 mM MeJa kombinasyonları kullanılmıştır.

Bitkilerde büyüme parametrelerine (kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı, yaprak ağırlığı ve yaprak sayısı) ait veriler MeJa uygulamasından on beş gün sonra alınmıştır. Kadmiyum ve MeJa uygulamalarında her tekerrürde altı bitki şansa bağlı seçilmiş, kök, gövde ve yaprak ağırlıkları 1/10000 hassasiyetteki dijital terazide tartılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler SPSS 23.0 istatistik paket programında değerlendirilmiş ve standart hatalar tek yönlü ANOVA testine tabi tutulmuştur. Kontrol ve uygulamalar arasındaki farklılığın belirlenmesinde ise Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

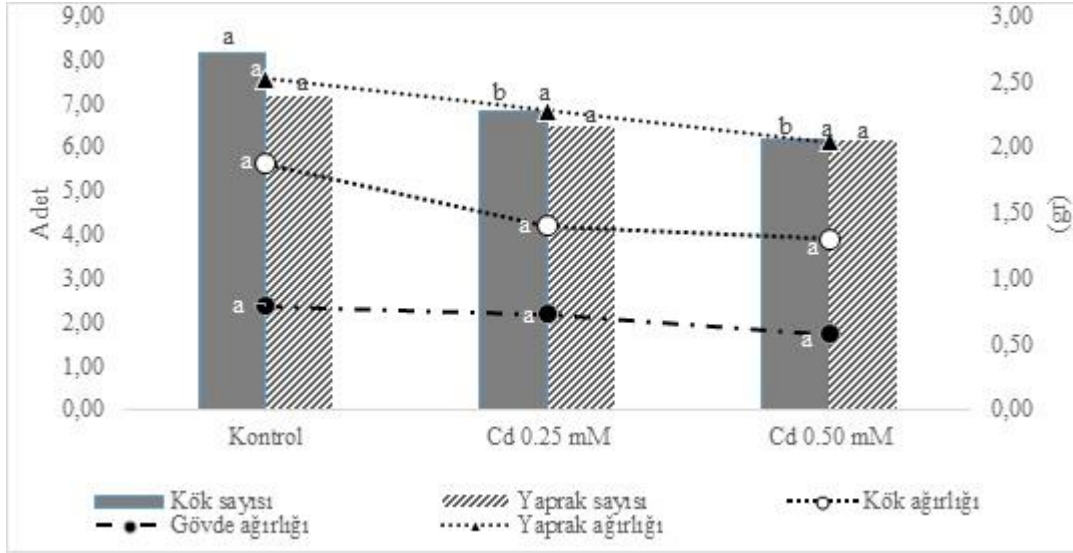
BULGULAR VE TARTIŞMA

Kadmiyum birikimi, küresel çapta önemli bir çevresel sorundur. Bu nedenle bitkilerde kadmiyum stresinin tepkisini anlamak ve yönetim stratejilerini uygulamak bitkilerin kadmiyum alımını azaltmaya yardımcı olabilecektir. Kadmiyum ve MeJa uygulamaları çilekte bitkisinin gelişiminde önemli düzeyde farklılık göstermiştir ($p \leq 0.05$). Kadmiyum uygulamasında doz artışına paralel olarak bitkide kök sayısı, kök ağırlığı, gövde ağırlığı, yaprak sayısı ve ağırlığında önemli düşüşler belirlenmiştir. Kadmiyum 0.25 mM ve 0.50 mM uygulanmış bitkiler kontrol bitkisi ile kıyaslandığında uygulama dozuna bağlı olarak kök sayısında sırasıyla %16.30-24.51 ve kök ağırlığında ise sırasıyla %25.13-30.48 oranında düşüş belirlenmiştir. Ayrıca gövde ağırlığı yaprak sayısı ve ağırlığında ise kadmiyum dozunun artışına paralel sırasıyla %8.86-27.85, %9.22-13.97 ve %9.52-19.05 oranında düşüş belirlenmiştir (Şekil 1).

Bulgularımıza paralel olarak, farklı bitki tür ve çeşitlerinde kadmiyum stresi üzerine yürütülen çalışmalarda kadmiyum stresinin bitki gelişimini olumsuz etkilediği ve yüksek kadmiyum dozunun ise bitkide büyüme ve kök gelişimini ciddi şekilde sınırlandırdığı belirtilmiştir (Finger-Teixeira ve ark., 2010). Biber bitkisinde su kültürü ortamında 10 μ M kadmiyum uygulamasının bitki kök uzunluğu, yüzey alanı ve kök sayısını düşürdüğü bildirilmiştir (Huang ve ark., 2015). Biber bitkisinde yürütülen benzer bir çalışmada, biber bitkinin düşük kadmiyum (2 ve 10 μ M) uygulamalarından da etkilendiği ve yaş kök ağırlığı, gövde ağırlığı, yaprak alanı ve yaprak ağırlığında doza bağlı olarak önemli düşüşler olduğu bildirilmiştir (Leon ve ark., 2002; Xin ve ark., 2014).

Çilek bitkisinde kadmiyumun etkilerinin incelediği başka bir araştırmada, farklı dozlarda kadmiyumun (0.15, 30, 45 ve 60 mg kg⁻¹) uygulamalarının kök sayısı (%12.28-31.58), kök ağırlığı

(%25.56-40.26), gövde ağırlığı (%5.19-53.31), yaprak ağırlığı (%38.92-55.37), yaprak alanı (8.63-23.86) ve yaprak sayısında (%5.88-38.24) artan uygulama dozlarına paralel olarak ciddi düşüşler meydana geldiği bildirilmiştir (Muradoğlu ve ark., 2016).



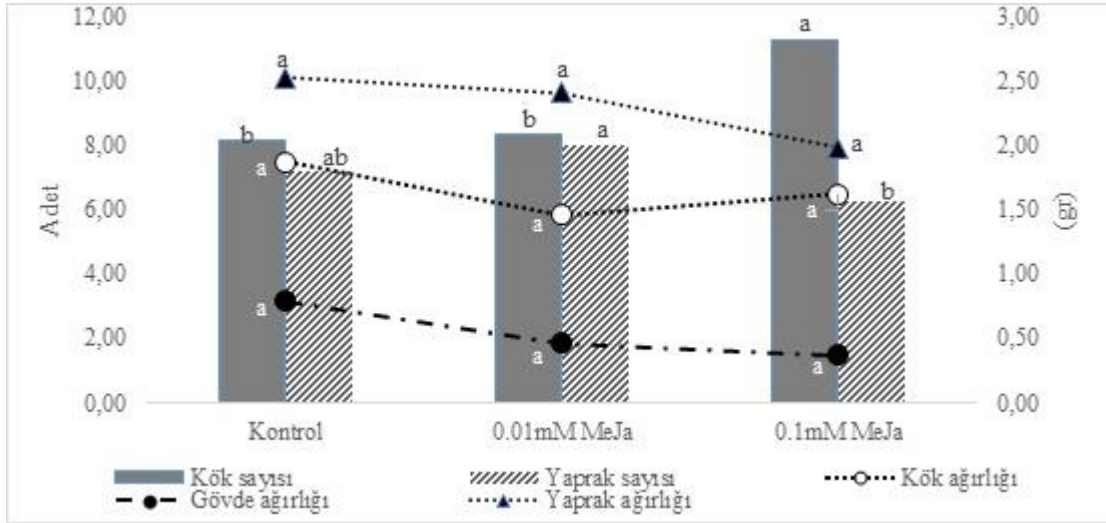
Şekil 1. Kadmiyum uygulamalarının bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri

Yapraktan jasmonat uygulamalarının bitki büyüme ve gelişmesi üzerine engelleyici yada teşvik edici olarak önemli etkiye sahip oldukları (Sembdner ve Parthier, 1993), bununla birlikte jasmonatların tohum çimlenmesi, polen gelişimi, etilen sentezi, yaşlanma ve yumru oluşumu gibi fizyolojik aktiviteleri ile jasmonik asit (JA) ve onun metil esteri olan metil jasmonatın (MeJa) ise su stresi, tuz ve kuraklık stresi, yaralanma, böcek saldırısı, patojen enfeksiyonları gibi farklı türdeki abiyotik ve biyotik streslere cevap verme yollarının aktivasyonundan sorumlu sinyalleme maddeleri olarak bitki gelişimi ve gelişim ile bağlantılı çeşitli fizyolojik süreçlerde önemli rol aldıkları belirtilmiştir (Farmer ve Ryan, 1992; Gundlach ve ark., 1992; Sembdner ve Parthier, 1993; Moons ve ark., 1997; Leo'n ve ark., 2001; Muradoğlu ve ark., 2010).

Dışsal MeJa uygulaması çilek bitkisinde kök sayısı hariç diğer parametrelerde uygulama dozuna bağlı olarak önemli düşüslere neden olmuştur. Kontrole kıyasla MeJa (0.01 ve 0.1 mM) uygulamaları uygulama dozuna paralel olarak kök ağırlığında %21.93-13.37, gövde ağırlığında %41.77-53.16 ve yaprak ağırlığında %4.37-21.43 oranlarında düşüş sağlamıştır. 0.01 mM MeJa uygulaması kontrole kıyasla yaprak sayısında %11.73 oranında bir artış sağlanmasına rağmen, 0.1 mM MeJa uygulamasında ise %12.71 oranında bir düşüşe neden olmuştur. MeJa uygulama dozlarına bağlı olarak kök sayısında ise %2.08 (0.01 mM) ve %37.86 (0.1 mM) oranında artış sağlanmıştır (Şekil 2).

Noriega ve ark., (2012), tarafından jasmonat uygulamalarının etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürüttükleri bir çalışmada, jasmonik asit uygulama dozuna bağlı olarak soya fasulyesinde kök gelişimini belirgin bir şekilde etkilediği 2 ve 20 μ M JA uygulamalarında yaş kök ağırlığında %40 ve %88 düzeyinde önemli bir artış sağlarken, bunun aksine yüksek doz (100-200 μ M JA) uygulamalarının ise önemli derecede düşüşe (%25) neden olduğu bildirilmiştir.

Jasmonatların polen çimlenmesini olumsuz etkilediği ve çilekte polen çimlenmesi üzerine JA'nın etkisinin incelendiği başka bir çalışmada 0.5 mM JA uygulamasının 4 saat sonunda polen çimlenme oranını %42.5 den %5.8'e düşürdüğü bildirilmiştir (Yıldız ve Yılmaz, 2002).



Şekil 2. Metil Jasmonat (MeJa) uygulamasının bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri

Kadmiyum ve MeJa kombinasyonunda, kadmiyum stresi (0.25 ve 0.50 mM) altında olan çilek bitkilerine dışsal 0.01 ve 0.1 mM MeJa uygulamaları bitki gelişim parametrelerinin istatistiksel ($p \leq 0.05$) olarak önemli derecede etkilediği belirlenmiştir (Şekil 3, 4).

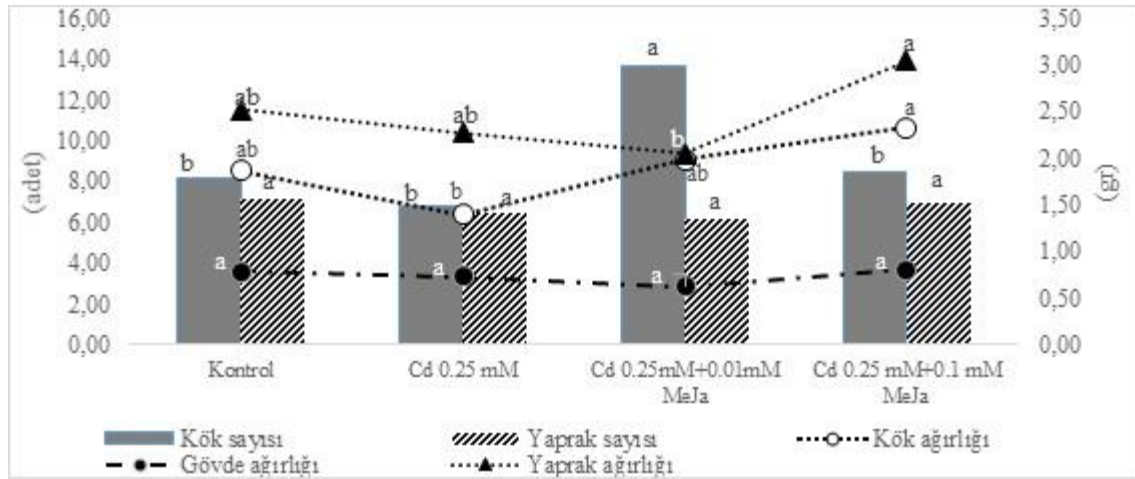
Kontrol bitkisine göre 0.25 mM kadmiyum uygulaması kök sayısında %16.30 oranında bir düşüşe neden olmuştur. Fakat 0.25 mM Cd + MeJa (0.1 ve 0.01 mM) kombinasyonunda, kök sayısında kontrol bitkisine oranla sırasıyla %4.17 (0.1 mM) ve %67.4 (0.01 mM) oranında artış, 0.25 mM Cd uygulanmış bitkilerle kıyasla ise %24.45 (0.1 mM) ve %100.0 (0.01 mM) oranında artış belirlenmiştir (Şekil 3).

Kadmiyumun 0.50 mM doz uygulamasında kök sayısında kontrol bitkisine oranla %24.51 oranında bir düşüş gerçekleşmiştir. Kadmiyum (0.50 mM) + metil jasmonat (0.1 ve 0.01 mM) kombinasyonunda kök sayısında kontrole oranla %2.94-47.06 oranında bir artış belirlenmiştir. Kök sayısı 0.50 mM kadmiyum uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise sırasıyla %22.99-75.70 oranında bir artış tespit edilmiştir (Şekil 3).

Yaprak sayısı üzerine 0.25 mM kadmiyum uygulamasında kontrole oranla %9.22 oranında bir düşüş gerçekleştirmiştir. Kadmiyumun 0.25 mM ve 0.1 mM MeJa kombinasyonunda yaprak sayısındaki düşüş kontrole kıyaslandığında %2.23'e gerilemiş, 0.25 mM kadmiyum uygulamasıyla kıyaslandığında ise yaprak sayısında %7.69 oranında bir artış tespit edilmiştir (Şekil 3).

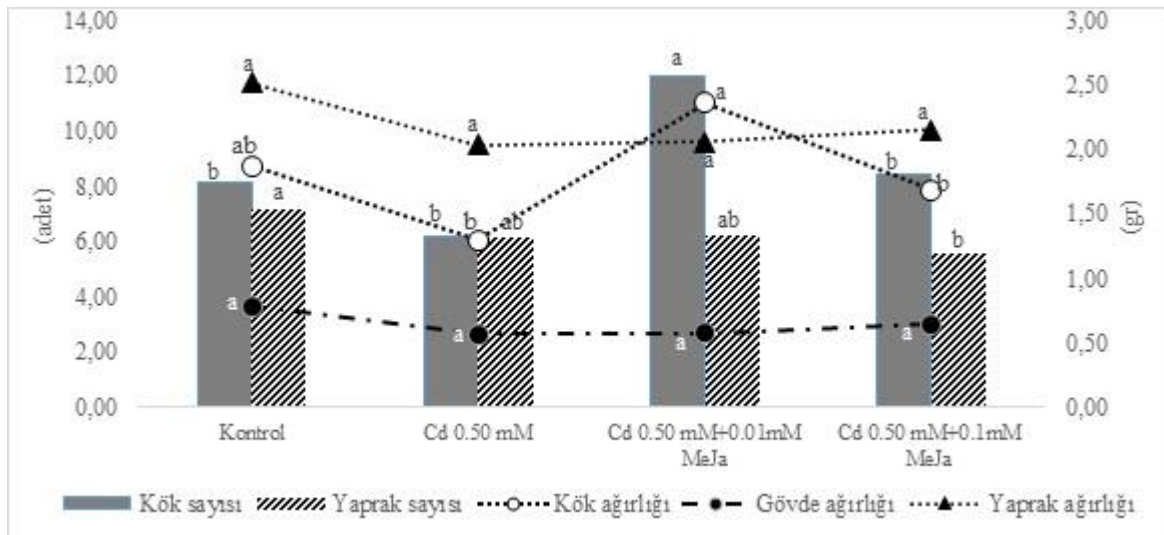
Kadmiyumun 0.50 mM uygulamasında yaprak sayısı kontrole kıyaslandığında %13.97 oranında düşüşe neden olurken, 0.50 mM kadmiyum ve 0.01 mM MeJa kombinasyonunda bu düşüş %12.71'e ve 0.50 mM kadmiyum uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise düşüş oranı %3.85'e kadar gerilemiştir (Şekil 4).

Kadmiyumun 0.25 mM dozunun uygulandığı çilek bitkisinin kök ağırlığı kontrol bitkisi ile kıyaslandığında %25.13 oranında bir düşüşe neden olmuştur. Bunun aksine 0.25 mM kadmiyum uygulama dozu ve 0.01 ile 0.1 mM MeJa uygulamaları kadmiyum stresini elemine ederek kök ağırlığında kontrol bitkisine kıyasla %6.42-24.60 oranında artış ve kadmiyumun 0.25 mM dozu uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise uygulama dozuna bağlı olarak %42.14-66.43 oranında artış gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Kadmiyum ve Metil Jasmonat uygulamasının çilek bitkisinde bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri

Kadmiyum 0.25 mM dozu uygulanmış bitkilerin gövde ağırlığı ve yaprak ağırlıklarında kontrol bitkisine göre sırasıyla %8.86 ve 9.52 oranında bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum 0.25 mM ve 0.01 mM MeJa uygulamasında ise kontrol bitkisine kıyasla düşüş oranı sırasıyla %20.25-18.65 olarak gerçekleşmiştir. Kadmiyum (0.25 mM) uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise bu düşüş oranı %12.50-10.09'a gerilemiştir. 0.1 mM MeJa uygulamasının ise kadmiyum (0.25 mM) stresi altındaki çilek bitkisi kontrolle kıyaslandığında gövde ağırlığında %2.53 düşüş yaprak ağırlığında ise %21.03 oranında bir artış belirlenmiştir. Kadmiyum (0.25 mM) stresi altındaki bitkilerle kıyaslandığında ise hem gövde ağırlığı hemde yaprak ağırlığında artış oranı sırasıyla %12.50 ve %33.77 olarak belirlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 4. Metil Jasmonat uygulamasının Cadmiyum stresi altındaki çilek bitkisinde bazı büyüme parametreleri üzerine etkileri

Kadmiyum (0.50 mM) stresine maruz bırakılan çilek bitkisinin kök ağırlığında kontrol bitkisine kıyasla %30.48 oranında bir düşüş belirlenmiştir. Fakat Kadmiyum (0.50 mM) ve MeJa kombinasyonunda 0.1 ve 0.01 mM MeJa uygulamaları kök ağırlığında artışa neden olmuş ve bu oran kontrol bitkisine göre %9.63-26.20 oranında gerçekleşmiştir. Kadmiyum (0.50 mM) uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise %20.71-68.57 oranında artış sağlamıştır.

Kadmiyumun 0.50 mM uygulamasında kontrol bitkilerine göre, gövde ağırlığı ve yaprak ağırlığında sırasıyla %27.85 ve %19.05 oranında düşüş gerçekleşmiştir. Kadmiyumun 0.50 mM ve MeJa (0.01 ve 0.1 mM) kombinasyonlarında kontrol bitkisine kıyaslagövde ağırlığında düşüş sırasıyla %26.58-17.72 oranlarında, yaprak ağırlığında ise %18.25-14.68 oranlarında belirlenmiştir. Kadmiyumun 0.50 mM dozu uygulanmış bitkilerle kıyaslandığında ise gövde ağırlığındaki düşüş oranları %19.44-9.72 ve yaprak ağırlığındaki düşüş ise %9.65-5.70 oranlarına kadar gerilemiştir (Şekil 4).

Araştırmacıların belirttiğine göre bitkilerin ağır metal stresi altındayken çimlenme, büyüme, çiçek veriminin zarar gördüğü dolayısıyla çeşitli metabolik süreçlerde metal müdahalesi ile biyokütle üretimi azalmaktadır (Sayed, 1999; Khan ve Chaudhry, 2006). Kadmiyum stresi ve dışsal jasmonat uygulamaları üzerine yürütülen çalışmalarda sonuncunda elde edilen bulgular bulgularımızla paralellik göstermektedir. Nitekim kadmiyum stresi altında bakla bitkisine JA uygulamasının yalnız kadmiyum uygulamasına kıyasla sürgün uzunluğunu %49.97 ve kök uzunluğunu ise %30.58 oranında artırdığı ayrıca klorofil *a* (%59.5), klorofil *b* (%150.0) ve toplam klorofilde ise %75.4 oranında bir artış sağladığı bildirilmiştir (Ahmad ve ark., 2017). Benzer çalışmalarda 500 μ M kadmiyum uygulamasında 0.01 mM metil jasmonat uygulamasının soya fasulyesinde yalnız kadmiyum uygulamasına kıyasla MDA miktarını yaklaşık %30 azalttığı belirtilmiştir (Keramat ve ark., 2009). Ayrıca yüksek kadmiyum konsantrasyonu altındaki domates bitkisinde JA'nın fotosentezle ilgili parametreler üzerine olumlu etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2016).

Jasmonatların bitkilerde stres koşullarında düzenleyici olarak kullanıldığı ve jasmonatların düzenleyici rollerinin uygulama dozuna bağlı olduğu ve orta derecede JA veya MeJa dozunun uygulamasının bitkide kadmiyum alınımı ve yapraklara taşınmasını etkili bir şekilde azalttığı ayrıca uygulama zamanı, uygulama şekli (yapraktan, sulama suyu ve tohuma uygulanma), çalışılan bitki türü ve uygulama esnasında bitkinin bulunduğu büyüme devresi gibi faktörlere bağlı olarak değiştiği çalışmalarla ortaya konulmuştur (Chen ve ark., 2014; Singh ve Shah, 2014; Yan ve ark., 2015).

SONUÇ

Bitkilerde kadmiyum stresi, hem toprak hem de bitkilerde bitki büyüme düzenleyicileri, organik ve inorganik uygulamalarla farklı mekanizmaların oluşması bakımından belli seviyelere kadar tolere edilebilir olmasına rağmen çalışmamızda kadmiyumun çilek bitkisinde toksik etkiye neden olduğu ve bitki büyümesinin uygulanan kadmiyum dozuna paralel olarak olumsuz etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada kadmiyum dozu ve MeJa uygulamaları arasında bir ilişki olduğu 0.25 mM kadmiyum dozunda, 0.1 mM MeJa uygulamasının kadmiyum stresinin etkisini azalttığı, bunun aksine daha yüksek dozda kadmiyum (0.50 mM) uygulamasında ise MeJa'nın (0.01 mM) uygulamasının kadmiyum stresi üzerine olumlu etkileri olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak uygun dozda dışsal Metil jasmonat (MeJa) uygulamalarının kadmiyum stresi altındaki çilek bitkisindeki büyüme parametreleri üzerine olumsuz etkilerinin tolere edilmesinde etkili olduğu ve kadmiyum dozuna bağlı olarak dışsal metil jasmonat uygulama dozunun önemlilik arz ettiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Ahmad P, Abd Allah E, Hashem A, Sarwat M, Gucel S, 2016. Exogenous Application of Selenium Mitigates Cadmium Toxicity In Brassica Juncea L (Czern & Cross) by Up-Regulating Antioxidative System and Secondary Metabolites. Journal Plant Growth Regulation, 35:936–950.

- Ahmad P, Alyemeni MN, Wijaya L, Alam P, Ahanger MA, Alam SA, 2017. Jasmonic Acid Alleviates Negative Impacts of Cadmium Stress By Modifying Osmolytes and Antioxidants In Faba (*Vicia faba* L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 63:1889-1899.
- Bajguz A, 2009. Brassinosteroid Enhanced The Level of Abscisic Acid In *Chlorella Vulgaris* Subjected to Short-Term Heat Stress. Journal Plant Physiol, 166:882-886.
- Chen J, Yan Z., Li X, 2014. Effect of Methyl Jasmonate on Cadmium Uptake and Antioxidative Capacity In *Kandelia Obovata* Seedlings Under Cadmium Stress. Ecotoxicology and Environmental Safety, 104:349–356.
- Chen YX, He YF, Luo YM, Yu YL, Lin Q, Wong MH, 2003. Physiological Mechanism of Plant Roots Exposed to Cadmium. Chemosphere;50:789–93.
- Cho UH, Seo NH, 2005. Oxidative Stress In *Arabidopsis Thaliana* Exposed to Cadmium Is Due to Hydrogen Peroxide Accumulation. Plant Science, 168:113–120.
- Dar TA, Uddin M, Khan MMA, Hakeem KR, Jaleel H, 2015. Jasmonates Counter Plant Stress: A Review. Environmental and Experimental Botany, 115:49-57
- Dias MC, Monteiro C, Moutinho-Pereira J, Correia C, Goncalves B, Santos C, 2013. Cadmium Toxicity Affects Photosynthesis and Plant Growth at Different Levels. Acta Physiologiae Plantarum, 35:1281–1289.
- Farmer EE, Ryan CA, 1992. Octadenoic Precursors of Jasmonic Acid Activate The Synthesis of Wound-Inducible Proteinase Inhibitors. Plant Cell, 4:129–134.
- Finger-Teixeira A, Ferrarese Mde L, Soares AR, da Silva D, Ferrarese-Filho O, 2010. Cadmium-Induced Lignification Restricts Soybean Root Growth. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(8):1959-1964.
- Gundlach H, Muller MJ, Kutchan TM, Zenk MH, 1992. Jasmonic Acid Is A Signal Transducer In Elicitor-Induced Plant Cell Cultures. Proceeding of National Academy of Science of the United States of America, 89:2389–2393.
- Hassan M, Mansoor S, 2014. Oxidative Stress and Antioxidant Defense Mechanism In Mung Bean Seedlings After Lead and Cadmium Treatments. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 38:55–61.
- Huang B, Xin J, Dai H, Liu A, Zhou W, Yi Y, Liao K, 2015. Root Morphological Responses of Three Hot Pepper Cultivars to Cd Exposure and Their Correlations With Cd Accumulation. Environmental Science and Pollution Research International, 22:1151-1159.
- Iqbal N, Umar S, Khan NA, Khan MIR, 2014. A New Perspective of Phytohormones In Salinity Tolerance: Regulation of Proline Metabolism. Environmental and Experimental Botany, 100:34–42.
- Kaya A, Doğanlar ZB, 2016. Exogenous Jasmonic Acid Induced Stress Tolerance In Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Exposed to Imazapic. Ecotoxicol Environmental Safety, 124:470-479.
- Keramat B, Kalantari KM, Arvin MJ, 2009. Effect of Methyl Jasmonate In Regulating Cadmium Induced Oxidative Stress In Soybean Plant (*Glycine max* L.). African Journal of Mikrobiology Research 3:240-244.
- Khan AS, Chaudhry NY, 2006. GA₃ Improves Flower Yield In Some Cucurbits Treated With Lead and Mercury. African Journal of Biotechnology, 5:149-153
- Kranner I, Colville L, 2011. Metals And Seeds; Biochem. Cell and Molecular Implications and Their Significance for Seed Germination. Environmental and Experimental Botany, 72:93-105.
- Leo'n J, Rojo E, Sanchez-Serrano JJ, 2001. Wound Signalling In Plants. Journal of Experimental Botany, 52:1–9
- Leon AM, Palma JM, Corpas FJ, Gomez M, Romero-Puertas MC, Chatterjee D, Mateos RM, del Rio LA, Sandalio LM, 2002. Antioxidative Enzymes In Cultivars of Pepper Plants With Different Sensitivity to Cadmium. Plant Physiology and Biochemistry, 40:813-820.
- Li Y, Nie Y, Zhang Z, Ye Z, Zou X, Zhang LH, Wang Z, 2014. Comparative Proteomic Analysis of Methyl Jasmonate Induce Defense Responses In Different Rice Cultivars. Proteomics, 14:1088-1101.
- Mishra S, Srivastava S, Tripathi RD, Govindarajan R, Kuriakose SV, Prasad MNV, 2006. Phytochelatin Synthesis And Response of Antioxidants During Cadmium Stress In *Bacopa Monnieri* L. Plant Physiology and Biochemistry, 44:25–37.

- Moons A, Prinsen E, Bauw G, Van Montagu M, 1997. Antagonistic Effects of Abscisic Acid and Jasmonates on Salt Stress-Inducible Transcripts In Rice Roots. *Plant Cell*, 9:2243-2259.
- Muradoğlu F, Yıldız K, Balta F, 2010. Methyl jasmonate influences of pollen germination and pollen tube growth of Apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 20(3):183-188.
- Muradoğlu F, Gündoğdu M, Ercisli S, Encu T, Balta F, Jaafar HZ, Zia-Ul-Haq M, 2015. Cadmium Toxicity Affects Chlorophyll A and B Content, Antioxidant Enzyme Activities and Mineral Nutrient Accumulation In Strawberry. *Biological Research*, 48:1-7.
- Muradoğlu F, Gündoğdu M, Encu T, Geçer MK, Başak İ, 2016. Kadmiyum ve Kurşun Toksisitesinin Çilek Bitkisinde (*Fragaria x ananassa*) Bazı Büyüme Parametreleri Üzerine Etkileri. *Bahçe*, 45:527-532.
- Noriega G, Cruz DS, Batlle A, Tomaro M, Balestrasse K, 2012. Heme Oxygenase Is Involved In The Protection Exerted By Jasmonic Acid Against Cadmium Stress In Soybean Roots. *Journal of Plant Growth Regulation*, 31:79-89.
- Özbek K, Cebel N, Unver I, 2014. Extractability and Phytoavailability of Cadmium In Cd-Rich Pedogenic Soils. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38:70-9.
- Sayed SA, 1999. Effects of Lead and Kinetin on The Growth. and Some Physiological Components of Safflower. *Plant Growth Regulation*, 29:167-174.
- Sembdner G, Parthier B, 1993. The Biochemistry and The Physiological and Molecular Actions of Jasmonates. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44:569-589.
- Singh A, Prasad SM, 2014. Effect of Agro-Industrial Waste Amendment on Cd Uptake In *Amaranthus Caudatus* Grown Under Contaminated Soil: An Oxidative Biomarker Response. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 100:105-113.
- Singh I, Shah K, 2014. Exogenous Application of Methyl Jasmonate Lowers The Effect of Cadmium-Induced Oxidative Injury In Rice Seedlings. *Phytochemistry*, 108:57-66.
- Xin J, Huang B, Dai H, Liu A, Zhou W, Liao K, 2014. Characterization of Cadmium Uptake. Translocation. and Distribution In Young Seedlings of Two Hot Pepper Cultivars That Differ In Fruit Cadmium Concentration. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21:7449-7456.
- Yan Z, Li X, Chen J, Tam NF, 2015. Combined Toxicity of Cadmium and Copper In *Avicennia Marina* Seedlings And The Regulation of Exogenous Jasmonic Acid. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113:124-132.
- Yıldız K, Yılmaz H, 2002. Effect of Jasmonic Acid. ACC and Ethephon on Pollen Germination In Strawberry. *Plant Growth Regulation*, 38:145-148.
- Zhao S, Ma Q, Xu X, Li G, Hao L, 2016. Tomato Jasmonic Acid-Deficient Mutant *spr2* Seedling Response to Cadmium Stress. *Journal Plant Growth Regulation*, 35:603-610.