

BAZI DOMATES VE TÜTÜN GENOTİPLERİNDE KADMIYUM ETKİLERİNİ İNCELEYEN İSTATİSTİKSEL BİR ÇALIŞMA

Ercan ÇATAK¹, Güler ÇOLAK¹, Süleyman TOKUR¹,
Orhan BİLGİÇ²

¹Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, Eskişehir

²Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Bu çalışmada fotoperiyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) ve *Nicotiana tabacum* L. (tütün) türlerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyum elementinin etkisiyle bitkilerin morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerinde gözlenen değişimler incelendi. 13 farklı konsantrasyonda kadmiyum içeren besin çözeltilerinde gerçekleştirilen çalışmada, tohumların çimlenme yüzdelerinde 1000 ve özellikle 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonları ile birlikte dikkat çekici azalmalara tanık olunurken, kök ve hipokotil gelişimlerinin yüksek konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyumun etkisi ile önemli ölçüde indirildiği tespit edildi. Domates fideciklerinde özellikle 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte kökçük, hipokotil ve kotiledonlarda önemli ölçüde Cd⁺² birikimi saptanır iken, aynı konsantrasyonda kadmiyum etkisine maruz bırakılan tütün fideciklerinde Cd⁺² katyonu belirlenemedi. Her iki bitki türünde de çimlenme yüzdeleri, fideciklerde metal iyonlarının birikimi, kök, hipokotil ve kotiledon gelişimleri gibi değerlendirme kapsamına alınan tüm parametrelerde kadmiyum toksitesinin belirleyen en önemli faktörün genotip etkisi olduğu gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Kadmiyum, *Nicotiana tabacum*, *Lycopersicon esculentum*.

SUMMARY

In this study, we investigated some changes which had been observed in some morphological and physiological properties of *Lycopersicon esculentum* Mill. (tomato) and *Nicotiana tabacum* L. (tobacco) plants on which had been carried out photoperiod and were grown in dark conditions

by the effect of increasing cadmium concentrations. In the nutrient solutions, which include 13 different concentrations of cadmium, as we had been seeing the evident decreases in the germination percentages of seed together with the 1000 and especially 2000 ppm concentrations of cadmium, it was determined that the growing of the root and hypocotyl had been essentially reduced by the effect of cadmium application in the high concentrations. As the accumulation of Cd^{+2} had been determined in the root, hypocotyl and cotyledones of the tomato seedlings, especially together with a concentration of 200 ppm cadmium, we were not able to determine Cd^{+2} cation in the tobacco seedlings, which were exposed to the effects of cadmium in the same concentration. We investigated that the most important factor which determines the toxicity of cadmium was the genotype effect in all parameters, which were taken in the determination extent such as the growing of germination percentage, accumulation of metal ions in seedlings, root, hypocotyl and cotyledone in both plant species.

Key Words: Cadmium, *Nicotiana tabacum*, *Lycopersicon esculentum*.

1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve kentleşmenin doğada meydana getirdiği en önemli sorunlardan birisi çevre kirliliği olarak kabul edilmektedir [1]. Son dönemlerde madenlerin, metal ve kimya fabrikalarının, çok yaygın olarak kullanılan metal içeren mantar ilaçları ile ahşap koruyucularının, büyük sanayi komplekslerinin yaydığı gaz ve tozların toprak ve bitkileri kirlettiği belirtilmektedir [2]. Özellikle ağır metal kirliliği bu tip topraklar üzerinde yaşayan bitkiler için büyük bir potansiyel tehlikedir. Bu yüzden de bu tür ağır metal kirliliği görülen topraklar üzerinde farklı ıslah prosedürleri uygulayarak verimlilik restorasyonuna yönelik yoğun çalışmalar yapılmaktadır [3].

Kadmiyum bitki yaşamında daha çok toksik etkileri ile bilinen bir elementtir. Örneğin tütün bitkisinde yapılan bir çalışmada toprak kadmiyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte fotosentetik hız ve yaprak klorofil içeriğinde azalmalar kaydedilmiş, kadmiyum fotosistem II' nin fotokimyasal aktivitesini inhibe etmiş, fakat fotosistem I üzerinde herhangi bir etkisi belirlenememiştir [4]. Quariti ve arkadaşları tarafından domates ve fasulye bitkilerinde yapılan bir çalışmada ise 0-50 mM $CdCl_2$ içeren besin çözeltilerinin 7 gün süre ile bitkilere uygulanması durumunda, kadmiyum uygulamasının sürgün ve kök kuru ağırlık üretimi üzerinde baskılayıcı

etkileri belirlenmiş, ayrıca kadmiyum uygulanan bitkilerin kök ve yapraklarında nitrat redüktaz aktivitesinde azalmalar kaydedilmiştir [5]. *Coriandrum sativum* bitkileri üzerine toprak ve atmosferdeki yüksek kadmiyum seviyelerinin etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, bitkiler 0.10 ya da 100 ppm kadmiyum ile kontamine edilen topraklarda gelişmeye terk edildiklerinde, gövde ve köklerin uzamasında, umbella sayısında önemli bir azalma, yapraklarda sararma ve ultrastrüktürel değişiklikler ve meyvelerdeki uçucu yağ unsurlarının bileşiminde dikkat çekici azalmalara tanık olunmuştur [6]. Quariti ve arkadaşları tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise 0.5 ya da 50 mM kadmiyum veya bakır içeren besin çözeltilerinde yetiştirilen 17 gün yaşlı domates fideciklerinde metal konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak kadmiyum ve bakır birikiminde artışı bildirilmektedir. Birikim köklerde primer yapraklardan daha yüksek olarak gözlenmiş, yüksek konsantrasyonlarda köklerde ve primer yapraklarda biomass üretimi şiddetle baskılanmıştır [7].

Biz ise bu çalışmada *Solanaceae* familyasına ait iki türün iki farklı kültür varyetesini kullanarak kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak fideciklerin morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerinde gözlenen değişimleri inceledik. *Solanaceae* familyasının tercih edilmesinin sebebi, bu familyanın 90 cins ve 2500 kadar tür içeren, ülkemizde de 12 cins ve 36 türü doğal yayılış gösteren kozmopolit bir familya olarak tanımlanması [8], ayrıca türlerinden birçoğunun insanlar tarafından kültüre alınarak drog, besin ve süs bitkisi olarak değerlendirilebilmesidir [9]. Özellikle bizim araştırma objemizi teşkil eden *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) ve *Nicotiana tabacum* L. (tütün) türleri ülkemiz ekonomisi açısından büyük öneme sahip kültür bitkileridir. Bu çalışmada her iki türe ait ikişer farklı kültür varyetesinin kullanılma amacı ise, aynı familyadan iki farklı türün kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak morfolojik ve fizyolojik bazı parametrelerde gösterdikleri reaksiyonların tür içinde de genotip düzeyinde incelenmek istenmesidir.

2. MATERYAL VE METOTLAR

2.1 Materyal:

Bu çalışmada araştırma materyali olarak *Solanaceae* familyasından *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) ve *Nicotiana tabacum* L. (tütün) türlerine ait ikişer kültür varyetesi kullanıldı. *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) tohumları Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden, *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) tohumları ise Ege Üniversitesi'nden temin edildi.

2.2 Metotlar

2.2.1 Tohum sterilizasyonu ve ekim işlemleri

Çalışmanın başlangıcında araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) ile *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) tohumları bir seri yüzeysel sterilizasyon işlemine tabi tutuldular. Bunun için tohumlar öncelikle % 96'lık etil alkol içinde 1 dakika süre ile bekletildiler. Daha sonra domates tohumları için %5, tütün tohumları için %3 konsantrasyonunda hazırlanan sodyum hipoklorit çözeltileri içerisine alındılar. Sterilizasyon çözeltisi içerisinde bekletilme süresi domates tohumları için 30-35 dakika, tütün tohumları için ise 20-25 dakika arasında değişti. Bu sürelerin sonunda bitki tohumları steril saf su banyolarından geçirilmek suretiyle sodyum hipokloritten arındırıldılar.

Sterilizasyon işlemi tamamlanan bitki tohumları, içlerinde kurutma kağıtları bulunan steril petri kaplarına steril bir ortamda ve steril pensler yardımı ile 100'er adet olmak üzere ekildiler. Çalışmada her genotip ve her uygulama için 200 adet tohum inceleme kapsamına alındı.

2.2.2 Çözelti uygulanması

13 farklı konsantrasyonda hazırlanan ve $CdCl_2 \cdot H_2O$ formunda kadmiyum içeren çözeltiler besi ortamı olarak kullanıldılar. Kadmiyum konsantrasyonları 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 ve 10000 ppm şeklinde düzenlendi. Ayrıca bütün serilerde bir de kontrol grup bulunduruldu. Kontrol grubu oluşturan bitki tohumlarına ise araştırma süresince yalnızca saf su verildi. Böylelikle her bir seri için 14 farklı uygulama gerçekleştirilmiş oldu. Ancak yapılan ön hazırlık çalışmalarında *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) tohumlarının gerek kontrol gruplarında, gerekse kadmiyum uygulanan serilerinde yeterli tohum çimlenme oranları ve fide gelişimlerine tanık olunamadığı için; tütün tohumlarına domates tohumlarından farklı olarak araştırma süresince KNOP besin çözeltisi de uygulandı. Bu uygulama esnasında KNOP çözeltisi miktarları uygulanan kadmiyum çözeltilerine eşit miktarlarda olacak şekilde ayarlandı. Tütün tohumlarının kontrol gruplarına ise eşit miktarlarda saf su ve KNOP çözeltisi uygulamaları yapıldı.

2.2.3 İnkübasyon şartları

Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan tohumlarda iki farklı uygulama gerçekleştirildi. Bunun için aynı genotipe ait olan ve her bir seri için 100'erli gruplar halinde toplam 200'er adet olarak ekimi yapılan tohumların yarısı 16 saat ışık, 8 saat karanlık şeklinde fotoperyot düzeni uygulanan ve 25 ± 2 °C sıcaklığı olan bir kültür odasında gelişmeye alındılar. Aynı genotipe ait olan ve aynı deneysel işlemlerden geçen diğer tohumlar ise, 25°C sıcaklığı olan bir etüvde karanlık şartlarda gelişmeye terk edildiler.

2.2.4 Katyon tayini metodu

Kadmiyum analizleri 1, 10, 100 ve 200 ppm $\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ çözeltilerinde ayrı ayrı yetiştirilen ve fotoperyot uygulanan 15 gün yaşlı *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) ile *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fidelerinde gerçekleştirildi. Ayrıca her bir genotip için bir de kontrol grup bulunduruldu. Örneklerin içerdiği kadmiyum katyonları Hitachi AA 180 model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre cihazında tespit edildi. Flame (alevli) ortamda bu katyonlar litrede mg olarak saptandı.

2.2.5 Biyometrik ölçümler

L. esculentum Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) tohumları için 11-12 gün, *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) tohumları için 15-16 gün olarak tespit edilen inkübasyon süreleri sonunda tohumlarda öncelikle çimlenme yüzdeleri açısından bir değerlendirme yapıldı. Araştırma materyalini teşkil eden bitki tohumlarının çimlenme başlangıcı, radikulanın tohum kabuğundan dışarı çıkması için gerekli olan süreler aynı olmadığından inkübasyon periyotlarında da bu şekilde bir dengeleme yapma gereği duyuldu. Daha sonra fideciklerin kotiledon, hipokotil ve kökçükleri kesilerek birbirlerinden izole edildi. Milimetrik bir cetvel yardımıyla her bir serideki gelişme gösteren fideciklerin kök boyu, hipokotil boyu, kotiledon eni ve kotiledon boyu uzunlukları kaydedildi. Fideciklerin köklerindeki ek kök sayıları belirlendi. Ancak tek bir petrideki işlemler uzun sürdüğü için, diğer çalışılacak petriyer ölçüm esnasında buzdolabında +4 °C'de muhafaza edildi.

Verilerin değerlendirilmesi bilgisayarda SPSS paket programında yapıldı. Ortalamalar, standart hatalar ve yüzdelik değerler hesaplandı.

Grupların karşılaştırılmasında, istatistiki testlerden ANOVA tek yönlü varyans analizi veya Student's t testi yapıldı.

3. BULGULAR

3.1 Tohum Çimlendirme Çalışmaları

Tablo 1. Artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* Mill.cv.H-2274 ve İ-40 (domates) ve *N. tabacum* L. Cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) tohumlarının çimlenme yüzdeleri.

CdCl ₂ .H ₂ O	H-2274 Fotoperyot	I-40 Fotoperyot	H-2274 Karanlık	I-40 Karanlık	Karabağlar Fotoperyot	Taşova Fotoperyot	Karabağlar Karanlık	Taşova Karanlık
Kontrol	93	73	86	66	89	82	88	70
1 ppm	96	67	95	61	88	89	94	86
2 ppm	99	71	86	67	93	82	96	83
5 ppm	96	61	80	61	88	93	88	78
10 ppm	99	71	83	79	96	87	86	80
20 ppm	94	72	86	70	94	81	94	82
50 ppm	94	71	89	60	91	85	89	75
100 ppm	98	63	88	77	89	84	88	83
200 ppm	93	64	90	67	91	85	93	80
500 ppm	93	73	85	69	91	82	90	86
1000 ppm	91	64	70	67	81	76	85	65
2000 ppm	80	56	75	77	66	55	65	56
5000 ppm	70	40	65	64	51	46	33	33
10000 ppm	47	18	31	50	40	28	35	17

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarında 1000 ppm ve daha yüksek kadmiyum konsantrasyonlarından itibaren elde edilen çimlenme oranları kontrol grup ortalamasından düşük, 200 ve 500 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında ise kontrol grup değeri ile benzerdi. En yüksek çimlenme oranları 2 ve 10 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında sağlanırken, diğer kadmiyum serilerinde çimlenme oranları birbirine yakındı. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) tohumlarının kontrol grup dahil tüm serilerinde çimlenme oranları, aynı tohumların fotoperyot uygulanan serileri ile elde edilen çimlenme oranlarından düşüktü. En yüksek çimlenme oranına 1 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşıldı. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonundan itibaren de tohumların çimlenme oranlarında önemli düşüşler gözlemlendi (Tablo 1).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) tohumlarına artan konsantrasyonlarda kadmiyum uygulandığında, en yüksek çimlenme oranlarına kontrol grup ve 500 ppm kadmiyum

konsantrasyonunda ulaşıldığı görüldü. 2000 ppm'e kadar olan diğer serilerde tohumların çimlenme oranlarında düzensiz artış ve azalışlar gözlenirken, 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonundan itibaren başlayan düşüşün daha yüksek konsantrasyonlarda da devam ettiği belirlendi. *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) tohumlarının karanlık şartlarda yetiştirilen serilerinde en yüksek çimlenme oranına 10 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşılrken, 2000 ppm'de de çimlenme oranı yüksekti. 10000 ppm hariç diğer serilerde kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak belirgin bir azalma tespit edilemedi (Tablo 1).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) tohumlarında en yüksek çimlenme oranına 10 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşılrken, 2 ve 20 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında da çimlenme oranları yüksekti. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte gözlenen düşüş daha yüksek konsantrasyonlarda da devam etti. Kontrol grup dahil diğer serilerde ise birbirine yakın çimlenme oranları elde edildi. Aynı geno tipin karanlık şartlarda yetiştirilen serilerinde en yüksek çimlenme oranına 2 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşılrken, bunu 1, 20 ve 200 ppm ile elde edilen sonuçlar izledi. 2000 ppm kadar olan diğer serilerde kontrol grup değerine yakın çimlenme oranları oluşurken, 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonunda başlayan düşüşün daha yüksek konsantrasyonlarda da devam ettiği belirlendi.

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* L. cv. Taşova (tütün) tohumlarının artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme özellikleri kontrol grup sonuçları ile karşılaştırıldığında, en yüksek çimlenme oranına 5 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşıldığı görüldü. Kontrol grup dahil 1000 ppm'e kadar olan diğer kadmiyum konsantrasyonları ile elde edilen çimlenme oranları birbirine yakın değerlerdi. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonundan itibaren de düzenli düşüşler belirlendi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Taşova (tütün) tohumlarında en yüksek çimlenme oranları, 1 ve 500 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında idi. Ara konsantrasyonlardaki serilerde birbirine yakın değerler elde edildi. Bunları kontrol grup ile elde edilen sonuçlar izledi. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte gözlenen düşüş, 5000 ve 10000 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında iyice belirgindi (Tablo 1).

3.2 Biyometrik Ölçüm Çalışmaları

3.2.1 Uzunluk ölçüm çalışmaları

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinde, 200 ppm kadmiyum konsantrasyonuna kadar kontrol grup kök boyu ortalama uzunluğundan daha yüksek değerler elde edilirken, 200 ppm kadmiyum konsantrasyonunda başlayan düşüşün daha yüksek konsantrasyonlarda da devam ettiği görüldü. 1000 ppm'den sonra ise çok düşük ve birbirine benzer ortalama değerler elde edildi. Karanlık şartlarda *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinin kadmiyum uygulanan tüm serilerinde elde edilen kök boyu ortalama uzunlukları kontrol grup değerinden düşüktü (Tablo 2.1).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fidiciklerinde en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna 20 ppm kadmiyum konsantrasyonunda ulaşıldı. 200 ppm kadmiyum konsantrasyonunda başlayan düzenli azalış daha yüksek konsantrasyonlarda da devam etti. Aynı genotipin karanlıkta yetiştirilen serilerinde elde edilen kök boyu ortalama uzunlukları H-2274 genotipinde gözleendiği şekilde kontrol grup değerinden düşüktü (Tablo 2.2).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fidiciklerinin kök boyu ortalama uzunluklarında 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile gözlenen anlamlı azalış daha yüksek konsantrasyonlarda da devam etti. Aynı genotipin karanlıkta yetiştirilen serilerinde 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonuna kadar düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 2000 ppm ile birlikte düşük, ancak birbirine benzer değerler elde edildi (Tablo 2.3).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *N. tabacum* L.cv. Taşova (tütün) fidiciklerinde en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna 20 ppm kadmiyum konsantrasyonunda ulaşıldı. 50 ppm'de başlayan azalış 100 ppm'den sonra da düzenli bir şekilde devam etti. Karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Taşova (tütün) fidiciklerinde kontrol grup dahil 20 ppm'e kadar olan kadmiyum konsantrasyonlarında düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 20 ppm'de en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldı. 50 ppm'de başlayan azalışın daha yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında da devam ettiği görüldü (Tablo 2.4).

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinde en yüksek ek kök ortalama sayısına 5 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile ulaşıldı. 10 ppm'den itibaren düzenli olmayan artış ve

azalışlar gözlenirken, 200 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra ek kök gelişimi saptanamadı. Karanlık serisinde ise 1 ppm'de en yüksek ortalama ek kök sayısı elde edildi. Daha yüksek kadmiyum konsantrasyonları ile düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 500 ppm'den sonra ise ek kök gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.5).

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fideciklerinde en yüksek ek kök ortalama sayısına 5 ppm kadmiyum konsantrasyonunda rastlandı. 10-500 ppm kadmiyum konsantrasyonları arasında düzenli olmayan artış ve azalışlara tanık olunurken, 500 ppm'den sonra ise ek kök gelişimi saptanamadı. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fideciklerinde tüm kadmiyum konsantrasyonlarında ve kontrol grupta benzer ek kök ortalama sayıları elde edildi. 1000'den sonra ise ek kök gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.6).

N. tabacum L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinde ek kök gelişimleri bakımından istatistiki anlamda yeterli veriler elde edilemedi.

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu 20 ppm kadmiyum konsantrasyonunda elde edilirken, 50 ve 100 ppm'den daha yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında düzenli düşüşler gözlemlendi. 1000 ppm'den sonra ise hipokotil gelişimi görülmedi. Karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinin kadmiyum uygulanan tüm serilerinde hipokotil boyu ortalama uzunlukları kontrol grup değerinden düşüktü. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.7).

Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fidecikleri için, her iki durumda da 200 ppm kadmiyum konsantrasyonunun kritik konsantrasyonlar olduğu belirlendi. Karanlık şartlarda 2 ve 10 ppm hariç diğer tüm konsantrasyonlar ile elde edilen ortalama değerler kontrol grup ortalamasından düşüktü. Fotoperyot uygulanan fideciklerde 500 ppm, karanlıkta yetiştirilen fideciklerde ise 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra hipokotil gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.8).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fideciklerinde 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonuna kadar birbirine ve kontrol grup ortalamasına benzer değerler elde edilirken, 1000 ppm'de hipokotil boy ortalamasında belirgin bir azalış vardı. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyondan sonra ise hipokotil gelişimi saptanamadı. Karanlık

şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fidiciklerinde en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğuna 20 ppm kadmiyum konsantrasyonunda ulaşıldı. 1000 ppm kadmiyum konsantrasyonuna kadar düzenli bir azalış varken, daha yüksek konsantrasyonlarda hipokotil gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.9).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Taşova (tütün) fidiciklerinin hipokotil boyu ortalama uzunluklarına artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyumun etkileri incelendiğinde, kontrol grupta en düşük hipokotil boy ortalaması gözlenmiş iken, 100 ppm kadmiyum konsantrasyonunda en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldığı belirlendi. 200 ve 500 ppm kadmiyum konsantrasyonlarında düşüş gözlenirken, 500 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi olmadı. Karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* L. cv. Taşova (tütün) fidiciklerinde fotoperyot uygulanan serilerde gözleendiği şekilde, hipokotil boyu ortalama uzunluğunun en düşük değeri kontrol grup ile elde edildi. 20 ppm kadmiyum konsantrasyonunda hipokotil boyu ortalamasının en yüksek değeri olduğu görüldü. 50 ve 100 ppm kadmiyum konsantrasyonlarındaki benzer değerleri 200 ve 500 ppm'lerdeki düşüşler takip etti. 500 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi (Tablo 2.10).

Tablo 2.1 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv. H-2274 Fotoperyot Kök Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv. H-2274 Karanlık Kök Boyu Uzunluğu (mm)			
	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu
Kontrol	20.6882	1.1196	0.5000	52.0000	24.9477	1.6205	2.0000	61.0000
1 ppm	31.6667	1.2472	1.0000	74.0000	14.4565	0.9146	1.5000	46.0000
2 ppm	38.1489	1.6382	2.0000	61.0000	15.5188	1.1634	1.0000	45.0000
5 ppm	25.3229	1.1722	2.5000	60.0000	14.2436	1.1013	1.0000	49.0000
10 ppm	33.8687	1.6105	2.0000	76.0000	16.0976	1.1490	1.5000	46.0000
20 ppm	31.6848	1.5579	5.0000	62.0000	19.3929	1.4238	2.0000	56.0000
50 ppm	30.2181	1.5396	1.0000	74.0000	18.9762	1.3470	1.0000	57.0000
100 ppm	22.5765	0.9366	1.0000	50.0000	17.2184	1.0545	2.0000	54.0000
200 ppm	16.0914	1.0990	1.5000	45.0000	13.1105	0.7115	2.0000	28.0000
500 ppm	6.6304	0.5771	1.5000	21.0000	3.6588	0.1772	1.0000	10.0000
1000 ppm	2.8516	1.1032	0.5000	5.5000	2.7357	0.1090	0.5000	4.5000
2000 ppm	2.5613	0.0718	0.5000	3.5000	2.8933	0.1071	0.5000	5.0000

5000 ppm	1.6700	0.0423	1.0000	3.0000	1.7585	0.0390	1.0000	2.4000
10000 ppm	1.6170	0.0700	0.5000	2.5000	1.2645	0.0609	0.5000	1.7000
Total	19.5899	0.4708	0.5000	76.0000	12.7829	0.532	0.5000	61.0000

F=125.10 ; P<0.001

F=51.97 ; P<0.001

Tablo 2.2 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fidiciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv. İ-40 Fotoperyot Kök Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv. İ-40 Karanlık Kök Boyu Uzunluğu (mm)			
	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu
Kontrol	25.0208	1.4350	1.5000	58.0000	22.7419	1.6204	3.5000	67.0000
1 ppm	23.5227	1.6076	2.5000	58.0000	14.9107	0.8838	4.0000	34.0000
2 ppm	29.8456	1.9831	1.0000	70.0000	17.4242	1.1888	1.5000	41.0000
5 ppm	27.2295	1.6154	1.5000	61.0000	14.3607	0.8908	2.0000	30.0000
10 ppm	29.0870	1.5144	6.5000	63.0000	17.5949	1.1810	1.0000	53.0000
20 ppm	31.4500	1.6903	1.0000	71.0000	14.8429	0.9347	1.0000	37.0000
50 ppm	16.0735	0.9168	2.0000	38.0000	18.0259	1.1987	3.0000	42.0000
100 ppm	22.3254	1.2951	0.5000	46.0000	20.7877	1.1244	1.5000	59.0000
200 ppm	13.3871	0.9259	2.0000	32.0000	12.7727	0.6689	0.5000	33.0000
500 ppm	3.3151	0.1877	1.5000	11.5000	5.0588	0.5795	1.5000	32.0000
1000 ppm	3.2781	0.0970	2.0000	5.5000	3.4104	0.1289	1.0000	7.0000
2000 ppm	2.1857	0.0833	1.0000	3.5000	2.9675	0.1145	0.5000	7.0000
5000 ppm	1.9625	0.0617	1.0000	2.8000	1.9219	0.0670	1.0000	3.0000
10000 ppm	1.6222	0.0934	1.0000	2.2000	1.4700	0.0483	1.0000	2.0000
Total	17.9581	0.5137	0.5000	71.0000	12.1085	0.3388	0.5000	67.0000

F=75.63 ; P<0.001

F=66.82 ; P<0.001

Tablo 2.3 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fidiciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Nicotiana tabacum</i> L. cv. Karabağlar Fotoperyot Kök Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Nicotiana tabacum</i> L. cv. Karabağlar Karanlık Kök Boyu Uzunluğu (mm)			
	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu
Kontrol	6.4459	0.2561	2.0000	11.0000	3.0523	0.1532	0.5000	6.0000
1 ppm	5.3662	0.3656	1.0000	15.0000	0.8191	0.0555	0.5000	3.0000
2 ppm	5.8539	0.2724	1.0000	13.0000	1.4896	0.0766	0.5000	4.0000
5 ppm	6.7073	0.2968	2.0000	13.0000	1.6364	0.1201	0.5000	7.0000
10 ppm	6.4737	0.2327	1.0000	11.0000	1.5174	0.0877	0.5000	4.0000
20 ppm	7.0484	0.2834	2.0000	13.0000	4.3351	0.1391	0.5000	7.0000
50 ppm	7.3500	0.3499	2.0000	17.0000	4.0176	0.1514	0.5000	7.0000
100 ppm	6.1629	0.3432	1.0000	13.0000	3.0852	0.1202	0.5000	6.0000
200 ppm	4.9198	0.2471	2.0000	11.0000	3.2849	0.1323	1.0000	7.0000
500 ppm	2.1552	0.1200	0.5000	6.0000	2.4833	0.1385	0.5000	6.0000
1000 ppm	1.0864	0.0775	0.5000	2.5000	1.0471	0.0718	0.5000	3.0000
2000 ppm	0.5154	0.0108	0.5000	1.0000	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000
5000 ppm	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000

10000 ppm					0.5000	0.0000	0.5000	0.5000
Total	4.9451	0.1036	0.5000	17.0000	2.2919	0.0497	0.5000	7.0000

F=85.1 ; P<0.001

F=105.92 ; P<0.001

Tablo 2.4. Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Nicotiana tabacum* L. cv. Taşova (tütün) fidiciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Nicotiana tabacum</i> L.cv.Taşova Fotoperyot Kök Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Nicotiana tabacum</i> L.cv.Taşova Karanlık Kök Boyu Uzunluğu (mm)			
	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu
Kontrol	3.5671	0.2321	0.5000	9.0000	1.9286	0.0743	0.5000	3.0000
1 ppm	6.8571	0.3693	0.5000	13.0000	2.2529	0.0945	0.5000	5.0000
2 ppm	7.2115	0.4069	0.5000	14.0000	0.9688	0.0787	0.5000	3.0000
5 ppm	8.0966	0.3870	1.5000	15.0000	1.3974	0.1333	0.5000	6.0000
10 ppm	7.7000	0.4045	1.0000	15.0000	2.2938	0.1431	0.5000	5.0000
20 ppm	8.8938	0.4526	1.0000	16.0000	3.4877	0.1748	0.5000	9.0000
50 ppm	6.5235	0.3623	1.0000	12.5000	3.0137	0.1611	0.5000	7.0000
100 ppm	6.7349	0.3401	1.0000	14.0000	3.0000	0.1578	0.5000	9.0000
200 ppm	4.9877	0.3265	0.5000	11.0000	1.8938	0.0809	0.5000	4.5000
500 ppm	2.7722	0.1969	0.5000	8.0000	2.1570	0.1208	0.5000	5.0000
1000 ppm	1.2500	0.0873	0.5000	4.0000	0.9844	0.0578	0.5000	2.0000
2000 ppm	0.5385	0.0187	0.5000	1.0000	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000
5000 ppm	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000				
10000 ppm	0.5000	0.0000	0.5000	0.5000				
Total	5.3749	0.1260	0.5000	16.0000	2.1059	0.0454	0.5000	9.0000

F=65.02 ; P<0.001

F=44.10 ; P<0.001

Tablo 2.5 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fidiciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak ek kök gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.cv. H-2274 Fotoperyot Ek Kök Sayısı				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv.H-2274 Karanlık Ek Kök Sayısı			
	Ortalama Ek Kök Sayısı	Standart Hata	Minimum Ek Kök Sayı	Maksimum Ek Kök Sayı	Ortalama Ek Kök Sayısı	Standart Hata	Minimum Ek Kök Sayısı	Maksimum Ek Kök Sayısı
Kontrol	1.5102	0.1015	1.0000	3.0000	1.5882	0.1230	1.0000	2.0000
1 ppm	2.2289	0.1287	1.0000	6.0000	1.8704	0.1296	1.0000	4.0000
2 ppm	2.4595	0.2246	1.0000	7.0000	1.2000	0.1333	1.0000	2.0000
5 ppm	3.7391	0.1720	1.0000	7.0000	1.2778	0.2259	1.0000	5.0000
10 ppm	2.9892	0.1328	1.0000	7.0000	1.6667	0.1992	1.0000	5.0000
20 ppm	1.9351	0.1130	1.0000	5.0000	1.8462	0.3553	1.0000	5.0000
50 ppm	2.2133	0.1546	1.0000	7.0000	1.5870	0.1058	1.0000	3.0000
100 ppm	2.5385	0.1659	1.0000	7.0000	1.7500	0.1443	1.0000	5.0000
200 ppm	1.7500	0.4787	1.0000	3.0000	1.8333	0.1114	1.0000	4.0000
500 ppm					2.0278	0.2200	1.0000	8.0000
1000 ppm								
2000 ppm								

5000 ppm								
10000 ppm								
Total	2.5374	0.0597	1.0000	7.0000	1.7382	0.0534	1.0000	8.0000

F=18.49 ; P<0.001

F=1.61 ; p<0.05

Tablo 2.6 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fideciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak ek kök gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.cv.İ-40 Fotoperyot Ek Kök Sayısı				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.cv.İ-40 Karanlık Ek Kök Sayısı			
	Ortalama Ek Kök Sayısı	Standart Hata	Minimum Ek Kök Sayısı	Maksimum Ek Kök Sayısı	Ortalama Ek Kök Sayısı	Standart Hata	Minimum Ek Kök Sayısı	Maksimum Ek Kök Sayısı
Kontrol	3.0615	0.1682	1.0000	7.0000	1.7429	0.1318	1.0000	3.0000
1 ppm	3.6842	0.2255	1.0000	9.0000	1.6286	0.1425	1.0000	4.0000
2 ppm	4.2462	0.1962	1.0000	8.0000	1.7857	0.1207	1.0000	4.0000
5 ppm	5.3091	0.2528	2.0000	9.0000	1.4375	0.1265	1.0000	4.0000
10 ppm	3.8382	0.2153	1.0000	8.0000	1.7805	0.1582	1.0000	5.0000
20 ppm	4.9545	0.1850	2.0000	10.0000	1.9394	0.1565	1.0000	4.0000
50 ppm	2.8148	0.1944	1.0000	7.0000	1.6129	0.1198	1.0000	3.0000
100 ppm	4.3214	0.2323	1.0000	8.0000	1.7333	0.1504	1.0000	5.0000
200 ppm	3.1579	0.2654	1.0000	7.0000	2.0600	0.1412	1.0000	6.0000
500 ppm	2.6667	0.2218	1.0000	7.0000	2.0000	0.1833	1.0000	5.0000
1000 ppm					1.7143	0.2857	1.0000	3.0000
2000 ppm								
5000 ppm								
10000 ppm								
Total	3.8839	0.0761	1.0000	10.0000	1.7850	0.0461	1.0000	6.0000

F=16.66 ; P<0.001

F=1.49 ; P>0.05

Tablo 2.7 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) fideciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv.H-2274 Fotoperyot Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.cv. H-2274 Karanlık Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)			
	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu
Kontrol	18.7816	0.4615	8.0000	28.0000	41.4167	1.0492	3.0000	59.0000
1 ppm	20.7527	0.4437	6.5000	29.0000	36.0538	0.9173	2.0000	53.0000
2 ppm	14.3131	0.3790	4.0000	22.0000	36.7895	1.4261	7.0000	55.0000
5 ppm	21.2366	0.3358	10.5000	30.0000	38.9740	1.1502	1.0000	62.0000
10 ppm	22.2632	0.4044	9.5000	31.0000	37.2500	1.1951	5.0000	58.0000
20 ppm	23.1237	0.4674	5.0000	34.0000	40.9383	0.7906	15.0000	58.0000
50 ppm	21.7889	0.4620	8.0000	33.0000	39.1250	1.5235	4.0000	62.0000
100 ppm	21.0000	0.4493	10.0000	32.0000	40.3494	0.8799	13.0000	56.0000
200 ppm	13.2143	0.6484	2.0000	25.0000	28.4419	0.9185	6.0000	45.0000
500 ppm	6.6299	0.4141	1.5000	16.0000	15.3684	0.9983	1.0000	41.0000
1000 ppm	4.4074	0.4442	2.0000	11.5000	6.6875	1.1454	3.0000	13.0000
2000 ppm								
5000 ppm								
10000 ppm								

Total	18.1567	0.2223	1.5000	34.0000	35.3179	0.4398	1.0000	62.0000
-------	---------	--------	--------	---------	---------	--------	--------	---------

F=148.92 ; P<0.001

F=51.38 ; P<0.001

Tablo 2.8 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fideciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.cv.İ-40 Fotoperyot Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. cv. İ-40 Karanlık Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)			
	Konsantrasyon (ppm)	Hip Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu	Hip Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu
Kontrol	20.2143	0.5198	9.0000	28.5000	43.8485	1.4221	3.0000	65.0000
1 ppm	17.8561	0.5742	7.5000	27.5000	39.1695	1.1221	5.0000	58.0000
2 ppm	20.2174	0.6844	3.5000	31.0000	43.9219	1.0800	17.0000	63.0000
5 ppm	20.3083	0.5939	9.5000	28.0000	42.8475	1.1604	17.0000	58.0000
10 ppm	19.4714	0.5645	2.5000	29.0000	44.2987	1.2590	12.0000	67.0000
20 ppm	19.8056	0.6211	5.0000	34.0000	40.0145	1.4749	4.0000	64.0000
50 ppm	16.7574	0.6342	5.0000	28.0000	41.4833	1.4740	3.0000	60.0000
100 ppm	20.1518	0.5447	9.0000	26.5000	41.4079	1.3958	2.0000	63.0000
200 ppm	14.6967	0.6240	4.5000	29.0000	33.8413	1.0387	12.0000	49.0000
500 ppm	9.7535	0.5361	2.0000	20.5000	25.8971	1.1991	4.0000	45.0000
1000 ppm					13.1538	0.7179	5.0000	26.0000
2000 ppm								
5000 ppm								
10000 ppm								
Total	17.8778	0.2265	2.0000	34.0000	37.7686	0.4996	2.0000	67.0000

F=34.38 ; P<0.001

F=52.17 ; P<0.001

Tablo 2.9. Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fideciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Nicotiana tabacum</i> L.cv. Karabağlar Fotoperyot Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Nicotiana tabacum</i> L.cv. Karabağlar Karanlık Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)			
	Konsantrasyon (ppm)	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu
Kontrol	2.4663	0.0607	1.0000	4.0000	9.2558	0.2619	2.0000	13.0000
1 ppm	2.3046	0.0661	1.5000	6.0000	5.2632	0.2449	2.0000	11.0000
2 ppm	2.3207	0.0798	1.0000	5.0000	8.9722	0.2067	4.0000	12.5000
5 ppm	2.7273	0.0973	1.0000	7.0000	9.1012	0.2487	4.0000	15.0000
10 ppm	1.9828	0.0598	1.0000	3.0000	8.4110	0.2943	2.0000	14.0000
20 ppm	2.2151	0.0796	1.0000	4.5000	12.1818	0.3180	5.0000	18.0000
50 ppm	2.1761	0.0705	1.0000	4.0000	11.0059	0.3046	4.0000	18.0000
100 ppm	2.1548	0.0794	1.0000	5.0000	10.9360	0.2680	3.0000	15.0000
200 ppm	2.4833	0.0838	1.0000	5.0000	9.2975	0.2897	3.0000	14.0000
500 ppm	2.2381	0.0823	1.0000	4.5000	7.0431	0.2813	2.5000	11.0000
1000 ppm	1.9600	0.1187	1.0000	3.5000				
2000 ppm								
5000 ppm								
10000 ppm								

Total	2.2988	0.0247	1.0000	7.0000	9.2832	0.1085	2.0000	18.0000
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

F=7.24 ; P<0.001

F=51.64 ; P<0.001

Tablo 2.10. Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Nicotiana tabacum* L. cv. Taşova (tütün) fideciklerinde artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>Nicotiana tabacum</i> L. cv. Taşova Fotoperyot Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)				<i>Nicotiana tabacum</i> L. cv. Taşova Karanlık Hipokotil Boyu Uzunluğu (mm)				
	Konsantrasyon (ppm)	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu	Hip. Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Hip. Boyu Uzunluğu	Maksimum Hip. Boyu Uzunluğu
Kontrol		2.7154	0.1134	1.0000	5.0000	3.1667	0.1950	0.5000	6.0000
1 ppm		4.0114	0.1157	2.0000	6.0000	8.6975	0.4190	1.5000	15.0000
2 ppm		4.7500	0.1404	2.0000	8.5000	4.8095	0.2281	1.5000	9.0000
5 ppm		3.9419	0.1387	1.5000	6.0000	5.4219	0.2045	1.5000	9.0000
10 ppm		4.0060	0.1343	1.0000	8.0000	7.7808	0.2651	1.5000	12.0000
20 ppm		3.7361	0.1274	1.5000	6.5000	10.6439	0.4045	2.5000	18.0000
50 ppm		3.9091	0.1354	2.0000	7.0000	9.6408	0.3822	0.5000	16.0000
100 ppm		4.8171	0.1054	3.0000	7.0000	9.1625	0.3900	2.5000	16.5000
200 ppm		3.0867	0.1121	1.5000	8.0000	7.6210	0.3131	2.5000	12.0000
500 ppm		2.8492	0.1016	1.0000	5.0000	5.6848	0.3576	1.5000	12.5000
1000 ppm									
2000 ppm									
5000 ppm									
10000 ppm									
Total		3.8353	0.0460	1.0000	8.5000	7.4380	0.1374	0.5000	18.0000

F=31.14 ; P<0.001

F=49.07 ; P<0.001

3.2.2 Uzunluk karşılaştırma çalışmaları

Tablo 3.1 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fidecikleri ile *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot Kök Boyu		<i>L. esculentum</i> Karanlık Kök Boyu		<i>N. tabacum</i> Fotoperyot Kök Boyu		<i>N. tabacum</i> Karanlık Kök Boyu	
	H-2274	İ-40	H-2274	İ-40	Karabağlar	Taşova	Karabağlar	Taşova
Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	19.5899	17.9581	12.7829	12.1085	4.9451	5.3749	2.2919	2.1059
Standart Hata	0.4708	0.5137	0.3532	0.3388	0.1036	0.1260	0.0497	0.0454
Minimum Kök Boyu Uzunluğu	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	76.0000	71.0000	61.0000	67.0000	17.0000	16.0000	7.0000	9.0000

t=5.34 ; P<0.001

t=1.86 ; P>0.05

t=6.98 ; P<0.001

t=7.39 ; P<0.001

Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* Mill. (domates) fideciklerinin kök boyu ortalama uzunluklarının kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak değişimi genotipler açısından değerlendirildiğinde, her iki seride de H-2274 genotipinin İ-40 genotipinden daha fazla gelişim gösterdiği saptandı. Ancak farklılık yalnızca fotoperyot serisinde anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla kök gelişimi izlenmekle birlikte, fotoperyot uygulamasının olumlu etkisi özellikle H-2274 genotipinde daha belirgindi (Tablo 3.1).

N. tabacum L. (tütün) fideciklerine kadmiyum uygulanması durumunda, fotoperyot uygulanan serilerde Taşova genotipinde, karanlık şartlarda ise Karabağlar genotipinde daha fazla kök gelişimine tanık olundu. Farklılıklar her iki seride de istatistiksel açıdan anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla kök gelişimi izlenmekle birlikte farklılık özellikle Taşova genotipinde daha belirgindi (Tablo 3.1).

Tablo 3.2 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fidecikleri ile *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot Hipokotil Boyu		<i>L. esculentum</i> Karanlık Hipokotil Boyu		<i>N. tabacum</i> Fotoperyot Hipokotil Boyu		<i>N. tabacum</i> Karanlık Hipokotil Boyu	
	H-2274	İ-40	H-2274	İ-40	Karabağlar	Taşova	Karabağlar	Taşova
Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu	18.1567	17.8778	35.3179	37.7686	2.2988	3.8353	9.2832	7.4380
Standart Hata	0.2223	0.2265	0.4398	0.4996	0.0247	0.0460	0.1085	0.1374
Minimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	1.5000	2.0000	1.0000	2.0000	1.0000	1.0000	2.0000	0.5000
Maksimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	34.0000	34.0000	62.0000	67.0000	7.0000	8.5000	18.0000	18.0000

t=0.76 ; P>0.05 t=13.66 ; P<0.01 t=939.24 ; P<0.001 t=114.00 ; P<0.001

L. esculentum Mill. (domates) fideciklerine kadmiyum uygulanması durumunda hipokotil boyu ortalama uzunlukları fotoperyot uygulanan serilerde H-2274 genotipinde, karanlık şartlarda ise İ-40 genotipinde fazla idi. Ancak farklılığın yalnızca karanlık serisinde anlamlı olduğu görüldü.

Her iki genotipinde karanlıkta yetiştirilen serilerinde daha fazla hipokotil gelişimi gözlenmekle birlikte, farklılık İ-40 genotipinde daha belirgindi (Tablo 3.2).

N. tabacum L. (tütün) fideciklerine kadmiyum uygulanması durumunda fotoperyot şartlarında Taşova genotipinde, karanlık şartlarda ise Karabağlar genotipinde daha fazla hipokotil gelişimlerine tanık olundu. Farklılıklar her iki seride de istatistiksel açıdan anlamlı idi. Her iki genotipinde karanlıkta yetiştirilen fideciklerinde belirgin bir gelişme dikkati çekti, farklılık Karabağlar genotipinde daha önemli idi (Tablo 3.2).

Tablo 3.3. Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fidecikleri ile *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon boyu gelişimlerinin karşılaştırılması(mm)

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot Kotiledon Boyu		<i>L. esculentum</i> Karanlık Kotiledon Boyu		<i>N. tabacum</i> Fotoperyot Kotiledon Boyu		<i>N. tabacum</i> Karanlık Kotiledon Boyu	
	H-2274	İ-40	H-2274	İ-40	Karabağlar	Taşova	Karabağlar	Taşova
Kotiledon Boyu Ortalama Uzunluğu	7.5904	7.0977	7.1036	6.5158	1.0590	1.1007	1.0515	0.8900
Standart Hata	0.0739	0.0447	0.0714	0.0801	0.0115	0.0081	0.0112	0.0081
Minimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	3.5000	4.2000	4.0000	5.0000	0.3000	0.2000	0.5000	0.5000
Maksimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	14.0000	9.5000	9.0000	10.0000	9.0000	1.8000	6.6000	1.3000

t=36.29 ; P<0.001 t=30.18 ; P<0.001 t=8.02 ; P<0.01 t=97.74;P<0.001

Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* Mill. (domates) fideciklerinin kotiledon boyu ortalama uzunluklarının kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak değişimi genotipler arasında değerlendirildiğinde, her iki seride de H-2274 genotipinde İ-40 genotipinden daha fazla gelişim dikkati çekerken, farklılığın her iki seride de anlamlı olduğu gözlemlendi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde karanlık uygulanan serilerine göre daha fazla gelişim dikkati çekmekle birlikte, farklılığın özellikle İ-40 genotipinde daha belirgin olduğu görüldü (Tablo 3.3).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *N. tabacum* L. (tütün) fideciklerinde kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak elde edilen kotiledon boyu ortalama uzunlukları Taşova genotipinde Karabağlar genotipinden daha fazla iken, karanlık şartlarda ise tamamen tersi bir durumla karşılaşıldı. Farklılık her iki seride de anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla gelişim görülmekle birlikte farklılık özellikle Taşova genotipinde önemli idi (Tablo 3.3).

Tablo 3.4 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen

Lycopersicon esculentum Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fidecikleri ile *Nicotiana tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon eni gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>L.esculentum</i> Fotoperyot Kotiledon Eni		<i>L.esculentum</i> Karanlık Kotiledon Eni		<i>N. tabacum</i> Fotoperyot Kotiledon Eni		<i>N. tabacum</i> Karanlık Kotiledon Eni	
	H-2274	İ-40	H-2274	İ-40	Karabağlar	Taşova	Karabağlar	Taşova
Kotiledon Eni Ortalama Uzunluğu	1.3827	1.3309	1.3187	1.0611	0.7162	0.5911	0.3559	0.3046
Standart Hata	0.0218	0.0173	0.0204	0.0188	0.0086	0.0079	0.0032	0.0041
Minimum Kotiledon En Uzunluğu	0.4000	0.8000	0.6000	0.8000	0.1000	0.1000	0.2000	0.2000
Maksimum Kotiledon Eni Uzunluğu	2.0000	3.0000	1.8000	1.7000	2.1000	1.7000	0.6000	0.6000

t=3.54 ; P>0.05 t=83.94 ; P<0.001 t=109.91 ; P<0.001 t=92.09 ; P<0.001

L. esculentum Mill. (domates) fideciklerinin kotiledon eni ortalama uzunluklarında artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyum, fotoperyot şartlarında her iki genotip arasında anlamlı bir farklılık yaratmadı. Karanlık şartlarda ise H-2274 genotipinde gözlenen üstünlük istatistiksel açıdan önemli idi. Her iki genotipinde kotiledonları fotoperyot şartlarında daha iyi geliştiler, farklılık özellikle İ-40 genotipinde dikkat çekiciydi (Tablo 3.4).

Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* L. (tütün) fideciklerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyumun etkisi ile elde edilen kotiledon eni ortalama uzunluklarının genotiplere göre değişimi incelendiğinde, fotoperyot uygulanan serilerde Karabağlar genotipinde anlamlı bir yükseliş gözlemlendi. Karanlık şartlarda da Karabağlar genotipinde daha fazla gelişim görülmekle birlikte, farklılık fotoperyot serisinde gözlemlendiği kadar belirgin değildi (Tablo 3.4).

Tablo 3.5 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fideciklerinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı ek kök gelişimleri.

CdCl ₂ .H ₂ O	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot Ek Kök Sayısı		<i>L. esculentum</i> Karanlık Ek Kök Sayısı	
	H-2274	İ-40	H-2274	İ-40
Ek Kök Ortalama Sayısı	2.5374	3.8839	1.7382	1.7850
Standart Hata	0.0597	0.0761	0.0534	0.0461
Minimum Ek Kök Sayısı	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Maksimum Ek Kök Sayısı	7.0000	10.0000	8.0000	6.0000

t=196.07 ; P<0.001

t=0.45 ; P>0.05

L. esculentum Mill. (domates) fideciklerinde uygulanan kadmiyum

konsantrasyonlarına bağılı olarak elde edilen ek kök sayıları açısından genotipler arasında bir değerlendirme yapıldığında, fotoperyot şartlarında İ-40 genotipinde ortalama ek kök sayısının H-2274 genotipinden daha fazla olduğu görülmektedir. Karanlık şartlarda yetiştirilen İ-40 genotipine ait fideciklerinde ortalama ek kök sayıları H-2274 genotipinde gözlenenenden fazladır. Ancak farklılık karanlık serisinde anlamlı değildir. Her iki genotipin de fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla ek kök oluşumu izlenmekle birlikte, farklılık İ-40 genotipinde daha belirgindir (Tablo 3.5).

Tablo 3.6 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen 2 çeşit *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) genotipi ile 2 çeşit *Nicotiana tabacum* L. (tütün) genotipinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağılı olarak kök gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	2 Çeşit <i>Lycopersicon esculentum</i> Genotipi ve 2 Çeşit <i>Nicotiana tabacum</i> Genotipi Kök Boyu Uzunluklarının Genel Karşılaştırılması			
	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot	<i>N. tabacum</i> Fotoperyot	<i>L. esculentum</i> Karanlık	<i>N. tabacum</i> Karanlık
Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	18.9093	5.1562	12.4740	2.2075
Standart Hata	0.3486	0.0814	0.2465	0.0341
Minimum Kök Boyu Uzunluğu	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	76.0000	17.0000	67.0000	9.0000

t=1478.92 ; P<0.001

t=1655.74 ; P<0.001

İnceleme kapsamına alınan domates ve tütün genotiplerine fotoperyot ve karanlık şartlarında kadmiyum uygulanması durumunda gözlenen kök boyu ortalama uzunluklarının bir değerlendirilmesi yapıldığında, domates fideciklerinde tütün fideciklerinden çok daha yüksek ortalama değerler veren kök gelişimlerine tanık olundu ve farklılığın her iki seride de istatistiksel anlam taşıdığı belirlendi (Tablo 3.6).

Tablo 3.7. Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen 2 çeşit *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) genotipi ile 2 çeşit *Nicotiana tabacum* L. (tütün) genotipinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağılı olarak hipokotil gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	2 Çeşit <i>Lycopersicon esculentum</i> Genotipi ve 2 Çeşit <i>Nicotiana tabacum</i> Genotipi Hipokotil Boyu Uzunluklarının Genel Karşılaştırılması			
	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot	<i>N. tabacum</i> Fotoperyot	<i>L. esculentum</i> Karanlık	<i>N. tabacum</i> Karanlık
Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu	18.0401	3.0048	36.4489	8.4457
Standart Hata	0.1603	0.0312	0.3319	0.0893
Minimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	1.5000	1.0000	1.0000	0.5000
Maksimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	34.0000	8.50000	67.0000	18.0000

$$t=8934.15 ; P<0.001 \quad t=6372.27 ;$$

$$P<0.001$$

Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen iki adet domates ve iki adet tütün genotipinde uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen hipokotil boyu ortalama uzunluklarının bir değerlendirmesi yapıldığında, her iki seride de domates fideciklerinde tütün fideciklerinden daha iyi hipokotil gelişimi gözlenmektedir. Her iki bitki türünde de karanlık uygulanan serilerdeki hipokotil gelişimi fotoperyot uygulamaları ile elde edilen değerlerden fazladır. Ancak karanlık uygulamalarının hipokotil gelişimini hızlandırıcı etkisi tütün fideciklerinde daha belirgindir (Tablo 3.7).

Tablo 3.8 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen 2 çeşit *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) genotipi ile 2 çeşit *Nicotiana tabacum* L. (tütün) genotipinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon boyu gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	2 Çeşit <i>Lycopersicon esculentum</i> Genotipi ve 2 Çeşit <i>Nicotiana tabacum</i> Genotipi Kotiledon Boyu Uzunluklarının Genel Karşılaştırılması			
	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot	<i>N. tabacum</i> Fotoperyot	<i>L. esculentum</i> Karanlık	<i>N. tabacum</i> Karanlık
Kotiledon Boyu Ortalama Uzunluğu	7.3017	1.0776	6.8338	0.9945
Standart Hata	0.0414	0.0073	0.0570	0.0082
Minimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	3.5000	0.2000	4.0000	0.5000
Maksimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	14.0000	9.0000	10.0000	6.6000

$$t=47072.15 ; P<0.001 \quad t=34223.83 ; P<0.001$$

Kadmiyum uygulamalarının domates ve tütün genotiplerinde kotiledon boyu ortalama uzunluklarına olan etkileri, her iki bitki türünde de fotoperyot şartlarında daha iyi idi. Genel olarak her iki seride de domates fidecikleri ile elde edilen kotiledon boy ortalamaları tütün fidecikleri ile elde edilen değerlerden yüksekti (Tablo 3.8).

Tablo 3.9 Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen 2 çeşit *Lycopersicon esculentum* Mill. (domates) genotipi ile 2 çeşit *Nicotiana tabacum* L. (tütün) genotipinin artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon eni gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CdCl ₂ .H ₂ O	2 Çeşit <i>Lycopersicon esculentum</i> Genotipi ve 2 Çeşit <i>Nicotiana tabacum</i> Genotipi Kotiledon Eni Uzunluklarının Genel Karşılaştırılması			
	<i>L. esculentum</i> Fotoperyot	<i>N. tabacum</i> Fotoperyot	<i>L. esculentum</i> Karanlık	<i>N. tabacum</i> Karanlık
Kotiledon Eni Ortalama Uzunluğu	1.3524	0.6603	1.2005	0.3377
Standart Hata	0.0136	0.0061	0.0166	0.0027
Minimum Kotiledon Eni Uzunluğu	0.4000	0.1000	0.6000	0.2000
Maksimum Kotiledon Eni Uzunluğu	3.0000	2.1000	1.8000	0.6000

t=2856.36 ; P<0.001

t=8134.80 ; P<0.001

Domates ve tütün genotiplerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan kadmiyumun etkileri ile elde edilen kotiledon eni ortalama uzunluklarının fotoperyot ve karanlık şartlarında ayrı ayrı değerlendirilmesi yapıldığında, her iki durumda da domates fideciklerinde daha iyi kotiledon gelişimi gözlenirken, farklılığın her durumda anlamlı olduğu saptandı. Her iki bitki türünün de fotoperyot uygulanan serilerinde daha yüksek ortalama değerler elde edilmesine rağmen, fotoperyot uygulamasının kotiledon gelişimi üzerindeki olumlu etkisi tütün fideciklerinde daha belirgindi (Tablo 3.9).

3.3 Morfolojik Çalışmalar

L. esculentum Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fidecikleri ile *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinde kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak hipokotil ve kotiledonlarda gözlenen morfolojik değişimler açısından genel bir değerlendirme yapıldığında, domates hipokotillerinde özellikle 100 ppm kadmiyum konsantrasyonundan itibaren çok yoğun olarak koyu kırmızı-mor renkli antosiyenin pigmentasyonuna tanık olundu. Pigmentasyon her iki genotipte de gözlenmekle birlikte, H-2274 genotipinde daha belirgin olduğu ve hipokotillerde çoğunlukla homojen bir dağılım gösterdiği görüldü. Kadmiyum uygulanan Karabağlar genotipine ait fideciklerin kotiledonlarında çok belirgin olmayan klorozis gözlemlendi. Taşova genotipi kotiledonlarında ise çok dikkat çekici bir klorozis saptanamadı.

Domates ve tütün fideciklerinin karanlık şartlarda yetiştirilen serilerinde hipokotillerin beyaz renkli oldukları, her ne kadar fotoperyot uygulanan serilerin hipokotillerinden boyca daha uzun bir gelişme gösterecekleri de, zayıf ve kırılabilir yapıda oldukları belirlendi. Ayrıca karanlıkta yetiştirilen tüm serilerde kotiledonların fotoperyot uygulanan serilere nazaran daha zayıf gelişme gösterdikleri, karanlık şartlarda klorofil sentezi olmadığı için kotiledonların çok açık yeşil-sarı renkli oldukları saptandı.

3.4 Katyon Tayini Çalışmaları (Cd⁺² birikimi)

Tablo 4. Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fideciklerinin kök, hipokotil, kotiledon ve testalarında artan

kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak Cd²⁺ katyonunun birikme miktarları (mg/kg).

Konsantrasyon (ppm)	Bitki organı	Cd ²⁺ (mg/kg)	
		<i>L. esculentum</i> Mill. cv. H-2274	<i>L. esculentum</i> Mill. cv. İ-40
100 ppm	Kök	28.4	26.9
100 ppm	Hipokotil	5.96	-
100 ppm	Kotiledon	-	-
100 ppm	Testa	71.59	26.26
200 ppm	Kök	33.11	32.72
200 ppm	Hipokotil	34.52	25.44
200 ppm	Kotiledon	11.25	-
200 ppm	Testa	88.9	33

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fideciklerinde, kontrol grup dahil 1 ve 10 ppm kadmiyum uygulanan fideciklerin kök, hipokotil ve kotiledonları ile tohum kabuklarında Cd²⁺ katyonuna rastlanmadı. Birikim 100 ppm kadmiyum uygulaması ile görölmeye başlandı. 100 ppm kadmiyum konsantrasyonunda her iki genotipinde köklerinde çok belirgin kadmiyum birikimlerine tanık olundu. 200 ppm kadmiyum uygulanması durumunda ise her iki genotipte de birikimler arttı. H-2274 genotipine ait fideciklerin köklerindeki kadmiyum birikimi İ-40 genotipinde belirlenen değerden yüksekti.

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. cv. İ-40 (domates) fideciklerine 100 ppm kadmiyum uygulanması durumunda hipokotillerde Cd²⁺ birikimi saptanamadı. 200 ppm kadmiyum uygulanması durumunda ise oldukça önemli bir birikim söz konusu idi. 100 ppm kadmiyum uygulandığı durumlarda H-2274 genotipinin hipokotillerinde belirlenen Cd²⁺ miktarı 200 ppm uygulamasında çok belirgin ve düzenli bir artışla devam etti; H-2274 genotipinde gözlenen Cd²⁺ birikimi İ-40 genotipinde belirlenen değerden yüksekti. Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. (domates) fideciklerine kadmiyum uygulanması durumunda İ-40 genotipinin kontrol grup dahil kadmiyum uygulanan hiç bir serisinde kotiledonlarda Cd²⁺ katyonu saptanamazken, H-2274 genotipinde yalnızca 200 ppm kadmiyum konsantrasyonunda Cd²⁺ belirlenebildi.

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* Mill. (domates) tohum kabuklarında 100 ve 200 ppm konsantrasyonlarında uygulanan kadmiyumun etkisi ile her iki genotipte de önemli ölçüde Cd²⁺ birikimi tespit edildi. Kök, hipokotil ve kotiledonlarda gözlendiği şekilde tohum kabuklarında da H-2274 genotipinde Cd²⁺ birikimi İ-40 genotipinden daha fazla idi.

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün)

fideciklerinin, kök, hipokotil, kotiledon ve tohum kabuklarında kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak Cd²⁺ katyonu belirlenemedi (Tablo 4).

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kadmiyum'un bitki büyüme ve gelişimi üzerinde daha çok toksik etkileri ile tanınan bir element olduğunu görmekteyiz. Örneğin *Picea abies*'te yapılan bir çalışmada uygulanan kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak iğne yapraklarda gelişimin yavaşladığı, yüksek konsantrasyonlarda ise tamamen durduğu, kök ve gövde uzunlukları ile köklerin taze ve kuru ağırlıklarının indirgendiği, 50 mM kadmiyum konsantrasyonundan sonra da yan kök oluşumu ve uzamasının azaldığı gözlenmiştir [1]. Moral ve arkadaşları domates bitkilerinin kültür çözeltilerine 10 ya da 30 mg/l CdCl₂ ilave ettiklerinde bitki büyümesinin kadmiyum yoluyla inhibe edildiğini, kültür çözeltilisine ilave edilen kadmiyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte kök ve gövde uzaması ile taze ağırlık oranlarında azalmalar gözlendiğini belirtmektedirler [10]. Clarke ve arkadaşları ise tütün bitkisinin 16 kültür varyetesini kullanarak yaptıkları çalışmalarında kadmiyum fitotoksitesinin bitki genotipi ve uygulanan kadmiyum seviyeleri ile çeşitlilik gösterdiğini ve 0.25 ppm'lik bir kadmiyum konsantrasyonunun sürgün ağırlığını, internod uzunluğunu ve yaprak sayısını stimüle ettiğini, buna karşın toplam kuru ağırlık ve kuru ağırlık yüzdelerini inhibe ettiğini ve kadmiyum uygulanan bitki türlerinin hiçbirinde diğer bitki türlerinde yaygın olarak gözlenen yaprak semptomlarının gözle teşhis edilemediğini saptamışlardır [11].

Bizim çalışmamızda fotoperyot şartlarında yetiştirilen ve kadmiyum uygulanan *L. esculentum* Mill.cv. H-2274 ve İ-40 (domates) fideciklerinin kök gelişiminde özellikle 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile çok belirgin büyüme azalmalarına tanık olunurken, karanlık şartlarda her iki genotipte de elde edilen kök boyu ortalama uzunlukları kontrol grup değerinden düşüktü. Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fideciklerinin kök gelişiminde de özellikle 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte gözlenen anlamlı düşüşün daha yüksek kadmiyum konsantrasyonlarında da devam ettiği, karanlık şartlarda ise 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonuna kadar düzensiz artış ve azalışlara tanık olunduğu, 2000 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte düşük ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edildiği görüldü. Taşova genotipinde 50 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile başlayan azalışın 200 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra da belirgin bir şekilde devam ettiği saptandı.

Hipokotil gelişimleri açısından inceleme kapsamına alınan her iki domates genotipinde gerek fotoperyot uygulanan ve gerekse karanlıkta yetiştirilen serilerinde 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile birlikte çok belirgin ve düzenli azalışlara tanık olundu ve 200 ppm kadmiyum konsantrasyonu ile elde edilen değerlerin kontrol grup ortalamasından düşük olduğu gözlemlendi. *N. tabacum* L. cv. Karabağlar (tütün) fideciklerinin fotoperyot uygulanan serilerinde 1000 ppm, karanlıkta yetiştirilen serilerinde ise 500 ppm kadmiyum konsantrasyonunda çok belirgin bir düşüş dikkati çekerken, Taşova genotipinde her iki seride de 500 ppm kadmiyum konsantrasyonundan sonra hipokotil gelişimi gözlenmedi.

Çalışmamızda karanlık şartlarda yetiştirilen tüm seriler ile elde edilen hipokotil uzunluklarının fotoperyot uygulanan tüm seriler ile elde edilen değerlerden belirgin olarak yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum aslında karanlık şartlarda yetiştirilen etiole bitkilerde beklenen bir özelliktir [12]. Ancak toksik konsantrasyonlardan itibaren etiole fideciklerin hipokotillerinde de çok belirgin büyüme inhibisyonlarına tanık olunmuştur. Literatür incelendiğinde daha önce etiole bitkiler üzerinde ağır metal toksisitesini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için bizim araştırmamızın sonuçları literatür bulgularıyla karşılaştırılamamıştır.

İn vitro şartlarda domates bitkisinde yapılan bir çalışmada besi ortamında 80 mg/ml gibi yüksek kadmiyum konsantrasyonu etilen oluşturan enzim aktivitesinde önemsiz bir artışa ve etilen üretiminde küçük bir zirveye neden olmuştur [13]. Bilindiği gibi etilen bitki metabolizmasında daha çok inhibe edici etkileri ile tanınmaktadır. Araştırmacıların bu çalışmalarında kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak etilen biyosentezinin teşvik edilmesi, bizim kanaatimizce tüm bitkilerdeki kadmiyum toksisitelerine bağlı olarak ortaya çıkan büyüme inhibisyonlarını açıklamada yardımcı olacaktır.

Çalışmamızda gerek fotoperyot uygulanan ve gerekse karanlık şartlarda yetiştirilen her iki bitki türünde de, toksik konsantrasyonlardaki kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak kök, hipokotil, kotiledon ve toplam fide ağırlıklarında genotiplere göre değişen düzeylerde azalmalara tanık olundu. Kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak farklı bitki organlarının taze ve kuru ağırlıklarında önemli değişimler olabileceği literatürde de bildirilmektedir. Örneğin *Picea abies*'te yapılan çalışmada kadmiyum toksisitesine bağlı olarak köklerin taze ve kuru ağırlıklarında azalmalara işaret edilmektedir [1]. Tütün bitkisinde kadmiyumun etkisini araştıran bir çalışmada 0.25 ppm kadmiyum konsantrasyonunun sürgün ağırlığını stimüle ettiği belirlenirken, toplam kuru ağırlık ve kuru ağırlık yüzdelerinde ise aynı konsantrasyonda kadmiyumun inhibe edici etkilerinden bahsedilmektedir[11]. Quariti ve arkadaşları, domates ve fasulye bitkilerine

0-50 mM CdCl₂ içeren besin çözeltilerini 7 gün süreyle uyguladıklarında kadmiyumun sürgün ve kök kuru ağırlık oranları üzerinde fasulye bitkilerinde domates bitkilerinden daha fazla baskılayıcı etkileri olduğu saptanmıştır [5].

Çalışmamızda fotoperyot şartlarında yetiştirilen ve kadmiyum uygulanan domates hipokotillerinde özellikle 100 ppm kadmiyum konsantrasyonundan itibaren çok yoğun olarak antosiyanin pigmentasyonuna tanık olundu. Pigmentasyon her iki genotipte de gözlenmekle birlikte özellikle H-2274 genotipinde çok daha belirgindi. Tütünde yapılan bir çalışmada toprak kadmiyum konsantrasyonundaki artış ile birlikte yaprak klorofil içeriğinde azalmalara dikkat çekilmekte ve aynı zamanda toksik konsantrasyonda kadmiyumun klorofil a'nın fluoresansını azalttığı bildirilmektedir [4]. Bayçu, *Picea abies*'te yaptığı çalışmada kontrol grup hariç bütün köklerde kadmiyum konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak giderek artan bir kahverengileşmeye tanık olmuş ve uygulama süresi uzadıkça köklerin zamanla siyaha dönüştüğünü belirlemiştir [1]. Pasquale ve arkadaşları ise *Coriandrum sativum*'da artan kadmiyum konsantrasyonlarına bağlı olarak yapraklarda bir sararma gözlendiğini belirtmektedirler [6]. Bizim çalışmamızda kadmiyum uygulanan Karabağlar genotipine ait fideciklerin kotiledonlarında çok belirgin olmayan klorozis tespit edildi. Taşova genotipine ait fideciklerin kotiledonlarında ise çok dikkat çekici bir klorozis saptanamadı. Literatür incelendiğinde bizim çok genç domates fideciklerinde kadmiyum uygulamalarında tespit ettiğimiz antosiyanin pigmentasyonuna işaret eden herhangi bir çalışmaya rastlanmadı. Benzer şekilde literatürde kadmiyum toksisitesini etiole bitkilerde araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için literatür bulguları ile bizim sonuçlarımız arasında bir değerlendirme yapma imkanı bulunamadı.

Lavandula angustifolia'da toprak ve havadaki ağır metal kirliliğine bağlı olarak, bitki organlarındaki ağır metal birikimlerini inceleyen bir çalışmada, kadmiyum elementinin en fazla yapraklarda biriktiği, bunu kökler, çiçek durumları ve gövdeler ile elde edilen birbirine benzer sonuçların izlediği belirtilmektedir [14]. Domates ve fasulye bitkilerinde kadmiyum toksisitesini araştıran bir başka çalışmada besin çözeltilerindeki kadmiyum konsantrasyonu ile domates ve fasulye bitkilerinin kök ve sürgünlerindeki kadmiyum konsantrasyonları arasında hemen hemen lineer bir ilişki olduğu, domates köklerinin sürgünlerden yaklaşık 15 kat, fasulye köklerinin ise yaklaşık 4 kat daha fazla kadmiyum akümüle ettiği bildirilmektedir [15]. Keza domates ve fasulye bitkilerinde yapılan benzer bir çalışmada da köklerde kadmiyum birikiminin sürgünlerde belirlenen değerlerden önemli ölçüde yüksek olduğu görülmüştür [5]. Moral ve

arkadaşları domates bitkileri ve meyvelerinde kadmiyum absorpsiyon ve akümülyasyonunu saptamak amacıyla yaptıkları çalışmalarında, meyvelerdeki kadmiyum konsantrasyonlarının kadmiyum ilaveleri ile artış gösterdiğini saptamışlardır [10]. Zhou ve arkadaşları tarafından domates bitkisinde yapılan bir başka çalışmada ise kadmiyum birikiminin köklerde ve gövdelerde meyvelerden daha yüksek olduğu görülmüştür [16]. *Picea abies* üzerinde yapılan çalışmada köklerde kadmiyum birikimi yetişme ortamındaki kadmiyum konsantrasyonu arttıkça doğru orantılı olarak artış göstermiştir [1]. Clarke ve arkadaşları, tütün genotiplerine CdCl₂ uygulanması durumunda kadmiyumun en fazla yapraklarda biriktiğini, bunu kökler ve daha az olmak üzere gövdeler ile elde edilen sonuçların izlediğini ancak yapraklar ticari olarak değerlendirildiği için paylaşımın bu modelinin çok fazla istenilmeyen bir durum olduğunu, dokularda biriken kadmiyum konsantrasyonlarının ise bitki genotipleri ve kadmiyum uygulamaları ile çeşitlilik gösterdiğini saptamışlardır [11]. *Agrobacterium rhizogenes* ile inokülyasyon yoluyla transforme edilen şeker pancarı, tütün ve *Calystegia sepium* köklerinin in vitro kültürleri için kadmiyumun toksik etkileri ve kadmiyum akümülyasyonu kinetiklerini araştıran bir çalışmada şeker pancarı köklerinin kadmiyum toksisitesine son derece hassas olduğu, tütün ve *C. sepium*'un ise daha toleranslı davrandığı ve kadmiyum akümülyasyonunun şeker pancarı ve *C. sepium*'da tütünden daha fazla olduğu belirlenmiştir [17]. Transforme edilmiş köklerden elde edilen sonuçlar bunların normal olanları ile karşılaştırıldığında normal ve transforme tütün bitkiciklerinden izole edilen tütün köklerinin kadmiyum alımında genetik transformasyon ile ilişkili çok bariz bir değişiklik gözlenmemiştir [17]. Quariti ve arkadaşları, 0,5 ya da 50 mM kadmiyum veya bakır içeren besin çözeltilerinde geliştirilen 17 gün yaşlı domates fideciklerinde uygulanan metal konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak fideciklerinde kadmiyum ve bakır içeriklerinin arttığını bildirmektedirler. Birikim köklerde primer yapraklardan daha yüksek olarak gözlenmiş, yüksek konsantrasyonlarda köklerde ve primer yapraklarda biomass üretimi şiddetle baskılanmıştır [7].

Bizim çalışmamızda fotoperyot uygulanan *L. esculentum* Mill. (domates) fideciklerinde kontrol grup dahil 1 ve 10 ppm kadmiyum uygulanan serilerde, kadmiyum birikimine rastlanamaz iken, 100 ve 200 ppm kadmiyum uygulanan fideciklerin özellikle köklerinde önemli ölçüde Cd²⁺ birikimi saptandı. Hipokotillerde H-2274 genotipinde 100 ve özellikle 200 ppm kadmiyum uygulamalarında çok belirgin kadmiyum birikimlerine tanık olunurken, İ-40 genotipinde 100 ppm konsantrasyonunda birikim gözlenmedi. Ancak 200 ppm'de çok belirgin bir birikim söz konusu idi. Domates fideciklerinde kotiledonlarda Cd²⁺ birikimine yalnızca H-2274

genotipinde ve 200 ppm konsantrasyonunda rastlandı. Testalarda ise özellikle H-2274 genotipinde çok yüksek konsantrasyonlarda birikim gözlemlendi. *N. tabacum* L. cv. Karabağlar ve Taşova (tütün) fideciklerinde ise kadmiyum birikimi saptanamadı.

Sonuç olarak gerek fotoperyot uygulanan ve gerekse karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* Mill. (domates) ve *N. tabacum* L. (tütün) türlerinde kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak, inceleme kapsamına alınan tüm morfolojik ve fizyolojik parametrelerde genotiplere göre farklılaşan düzeylerde değişimlere tanık olundu ve her iki bitki türünde de yüksek konsantrasyonlardan itibaren kadmiyumun fitotoksik bir element gibi işlev gördüğü belirlendi.

KAYNAKLAR

- [1] Bayçu, G., "*Picea abies*'te Kadmiyum Toksisitesi ve Köklerde Kadmiyum Birikimi" XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi 17-20 Eylül 1996, İstanbul. Kongre Kitapçığı, Cilt:III, s:433-442 (1997)
- [2] Peterson, P.J., "**Plant Adaptation to Environmental Stress: Metal Pollution Tolerance**" Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J., Chapman&Hall, p:171-188 (1993)
- [3] Geiger, G., Federer, P., Sticher, H., "Reclamation of Heavy Metal Contaminated Soils: Field Studies and Germination Experiments" **Journal of Environmental Quality**, 22:(1) 201-207 (1993)
- [4] Jiang, W.Z., Li, J.L., "Effects of Cadmium on Photosynthetic Characteristics of Tobacco" **Plant Physiology Communications**, 6: 27-31 (1989)
- [5] Quariti, O., Gouia, H., Ghorbal, M.H., "Responses of Bean and Tomato Plants to Cadmium: Growth, Mineral Nutrition and Nitrate Reduction" **Plant Physiology and Biochemistry**, 35:(5) 347-354 (1997)
- [6] Pasquale, R., Rapisarda, A., Germano, M.P., Ragusa, S., Kirjavainen, S., Galati E.M., "Effects of Cadmium on Growth and Pharmacologically Active Constituents of the Medicinal Plant *Coriandrum sativum* L." **Water, Air and Soil Pollution**, 84: 1-2, 147-157 (1995)
- [7] Quariti, O., Boussama, N., Zarrouk, M., Cherif, A., Ghorbal, M.H., "Cadmium and Copper Induced Changes in Tomato Membrane Lipids" **Phytochemistry**, 45:(7) 1343-1350 (1997)

- [8] Seçmen, Ö., Gemici, Y., Görk, G., Bekat, L., Leblebici, E., 1992, "**Tohumlu Bitkiler Sistematigi**" Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi. İzmir. s:268-270 (1995)
- [9] Yalıtık, F., Efe, A., "Otsu Bitkiler Sistematigi" İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul. s:385-389 (1989)
- [10] Moral, R., Gomez, I., Navarro Pedreno, J., Mataix, J., "Effects of Cadmium on Nutrient Distribution, Yield and Growth of Tomato Grown in Soilless Culture" **Journal of Plant Nutrition**, 17:(6) 953 - 962 (1994)
- [11] Clarke, B.B., Brennan, E., "Differential Cadmium Accumulation and Phytotoxicity in Sixteen Tobacco Cultivars" **Journal of the Air and Waste Management Association**, 39:(10) 1319 - 1322 (1989)
- [12] Başaran, D., "**Modern Genel Botanik**" Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Diyarbakır. s:130-131 (1991)
- [13] Pezzarossa, B., Lubrano, L., Petruzzelli, G., Tonutti, P., "The Effect on Cd Contents and Ethylene Biosynthesis in Tomato Plants of Adding Cadmium sulphate to Soil" **Water Air and Soil Pollution**, 57-58: 589 -596 (1991)
- [14] Zheljaskov, V.D., Nielsen, N.E., " Studies on the Effect of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Mn, Zn and Fe) upon the Growth, Productivity and Quality of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) Production" **Journal of Essential Oil Research**, 8:(3) 259-274 (1996)
- [15] Xue, D.S., Harrison, R.B., Henry, C.L., "Effect of Organic Acid on Cd Toxicity in Tomato and Bean Growth" **Journal of Environmental Sciences**, 7: (4) 399-406 (1995)
- [16] Zhou, Z.L., Zhao, H.R., "Methods for Growing Unpolluted Vegetables in the Xian suburbs" **Shaanxi - Journal of Agricultural Sciences**, 1, 20-22 (1992)
- [17] Metzger, L., Fouchault, I., Glad, C., Prost, R., Tepfer, D., "Estimation of Cadmium Availability Using Transformed Roots" **Plant and Soil**, 143:(2) 249-257 (1992)

Teşekkür

İstatistiksel çalışmalarda büyük özveri ve titizlikle bizi yönlendiren ayrıca değerli yardımlarını da esirgemeyen Doç.Dr. Selma Metintaş'a, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre Cihazı ile katyon tayininde yardımcı

olan Bilim Uzmanı Aslan Teker'e ve kimyasal hesaplamalardaki değerli katkılarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Temir Ali Demir ve Yrd.Doç.Dr. Necmettin Caner'e teşekkür ederiz.