

BAZI SOLANACEAE TÜRLERİNİN MORFOLOJİK VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BAKIRIN ETKİLERİ

Ercan ÇATAK¹, Güler ÇOLAK¹, Süleyman TOKUR¹, Orhan BİLGİÇ²

1. Osmangazi Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE; 2. Osmangazi
Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Eskişehir, TÜRKİYE

Özet: Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *Lycopersicum esculentum* Mill. (domates) ve *Nicotiana tabacum* L. (tütün) türlerinde $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ formunda tercih edilen ve toplam 13 farklı konsantrasyonda hazırlanan bakır elementinin etkisiyle bitkilerin morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerinde gözlenen değişimler incelendi. Artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak gerek fotoperyot gerekse karanlık uygulamalarında domates fideciklerinde tütün fideciklerinden çok daha belirgin kök, hipokotil ve kotiledon gelişimlerine tanık olunurken, her iki bitki türünde de çimlenme oranlarının toksik konsantrasyonlarda bakır uygulamalarına bağlı olarak önemli ölçüde indirildiği saptandı. *L. esculentum* fideciklerinin bakır kasyonu analizleri açısından değerlendirme kapsamına alınan serilerinde, fideciklerde 100 ve özellikle 200 $\mu\text{g/g}$ bakır uygulamalarında Cu^{+2} birikimlerine tanık olunurken, aynı konsantrasyonlarda bakır uygulanan *N. tabacum* fideciklerinde Cu^{+2} kationuna rastlanmadı.

Anahtar Kelimeler: Bakır, *Nicotiana tabacum*, *Lycopersicon esculentum*

EFFECTS OF COPPER ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF SOME SOLANACEAE SPECIES

Summary: With the effects of copper element preferred in the form of $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ which is totally prepared as 13 different concentrations, some changes observed on the morphological and physiological properties of plants, *Lycopersicum esculentum* Mill. (tomato) and *Nicotiana tabacum* L. (tobacco) species having grown in dark conditions and applied photoperiod, are investigated. Witnessing more evident root, hypocotyl and cotyledon developments on tomato seedlings than tobacco seedlings at photoperiod and also at dark applications related to the increasing copper concentrations, on the other side at both two plant species it is appointed that there is significant reduction in germination rates related to the copper applications in toxic concentrations. Witnessing Cu^{+2} accumulation on seedlings, *L. esculentum* at 100 and especially 200 $\mu\text{g/g}$ copper applications at the series taken to the comprehension of assessment with respect to copper cation analysis on *N. tabacum* seedlings copper applied at same concentrations there is no Cu^{+2} cation is encountered.

Key Words: Copper, *Nicotiana tabacum*, *Lycopersicon esculentum*

Giriş

Bitkide bulunduğu miktar ve bitkinin ihtiyacı esas alınarak yapılan sınıflandırmada mikro element, biyokimyasal reaksiyonlardaki rolleri ve fizyolojik fonksiyonları dikkate alınarak yapılan sınıflandırmada ise 4. grup element kategorisine dahil edilen bakır [1] aslında çok seyreltik çözeltiler hariç bitkiler için son derece zehirlidir [2]. Bir çalışmada artan konsantrasyonlarda kadmiyum veya bakır içeren besin çözeltilerinde yetiştirilen 17 günlük domates fideciklerinde uygulanan metal konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak

kadmium ve bakır birikiminin de arttığı bildirilmektedir; birikim köklerde primer yapraklardan daha yüksek olarak gözlenmiş, yüksek konsantrasyonlarda köklerde ve primer yapraklarda biyokütle üretimi şiddetle baskılanmıştır [3]. Bununla birlikte bitkideki önemli bazı fizyolojik aktivitelerin gerçekleşebilmesi için bakır çok düşük konsantrasyonlarda da olsa gereklidir. *In vitro* şartlarda yapılan bir çalışmada 0.1-100 mM CuSO₄'ın buğday ve triticale kallusları ile tütün yaprak disk kültürlerinden sürgün yenilenmesini önemli ölçüde arttırdığı, kök oluşumunu teşvik ettiği, CuSO₄'ın dengeli konsantrasyonları farklı besi ortamlarına ilave edildiği zaman temel ortam bileşenleri üzerinde değiştirici edici etkileri olduğu ve CuSO₄ ön uygulamalarının yenilenen buğday bitkileri toprağa transfer edildikleri zaman hayatta kalma oranlarını arttırdığı belirlenmiştir [4]. Benzer bir çalışmada *Cucumis melo* kotiledon eksplant kültürlerinin besi ortamlarına 0.1-5 mg/l CuSO₄ ilavesi morfojenetik cevapta artışa neden olmuş ve en iyi sonuçlar litrede 1 mg CuSO₄ ilavesi ile elde edilmiştir [5]. Bunun yanında değişik özellikte ve değişik fonksiyonlara sahip bir çok enzimde aktivasyon bakır tarafından gerçekleştirilmektedir; bunlar fenolazlar, askorbik asit oksidaz, amin oksidazlar, sitokrom oksidaz ve diğer bazı önemli enzimlerdir [1]. Bir çalışmada bir tomurcuk ve yaprak ile birlikte izole edilen çay bitkisi sürgünlerine %0.1 CuSO₄'ın pülverize edilmesi ile polifenol oksidaz ve nitrat redüktazın maksimum aktiviteleri elde edilirken [6], bir başka çalışmada süperoksit dismutaz aktivitesi bakır uygulanan soya fasulyesi köklerinde, uygulama yapılmayan kontrol bitkilerin köklerinden iki kat daha fazla olarak saptanmıştır [7]. Ayrıca bakırın solunum olayında etkin rol oynadığı, klorofil molekülünde yer almamakla birlikte, klorofil oluşumunda önemli etkiye sahip olduğu, bitkilerin yalnızca klorofil içeriğini arttırmakla kalmayıp, klorofil parçalanmasını da önlediği, fotosentezin oluşumunda ve azot metabolizması üzerinde de etkileri olduğu bildirilmektedir [8]. Ispanak bitkisinde yapılan bir çalışmada 160 mM bakır ile muamele edilen bitkilerin ağır metal zehirlenmesi belirtileri gösterdikleri, net CO₂ asimilasyonu, transpirasyon oranı ve stomatal iletkenliğin bakır uygulamalarına bağlı olarak azaldığı, 160 mM bakır uygulanması durumunda klorofil fluoresansında gözlenen anlamlı artışın, zar seviyesinde çok daha şiddetli hasarlara uğrandığının bir işareti olabileceği belirtilmektedir [9]. Karbonhidrat ve protein metabolizması ile simbiyotik azot tespiti üzerinde de bakırın özel bir önemi vardır [1].

Bu çalışmada, *Solanaceae* familyasına ait iki türün iki farklı kültür varyetesini kullanarak bakır uygulamalarına bağlı olarak bitkilerin morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerinde gözlenen değişimleri incelemeyi amaç edindik. *Solanaceae* familyasının tercih edilmesinin sebebi, bu familyanın 90 cins ve 2500 kadar tür içeren, ülkemizde de 9 cins ve 36 türü doğal yayılış gösteren kozmopolit bir familya olarak tanımlanması [10], ayrıca türlerinden birçoğunun insanlar tarafından kültüre alınarak drog, besin ve süs bitkisi olarak değerlendirilebilmesidir [11]. Özellikle bizim araştırma objemizi teşkil eden *L. esculentum* ve *N. tabacum* türleri ülkemiz ekonomisi açısından büyük öneme sahip kültür bitkileridir. Çalışmada her iki türe ait ikişer farklı kültür varyetesinin kullanılma amacı ise, aynı familyadan iki farklı türün bakır uygulamalarına bağlı olarak morfolojik ve fizyolojik bazı parametrelerde gösterdikleri reaksiyonların tür içinde de genotip düzeyinde incelenmek istenmesidir.

Gereç ve Yöntem

Araştırma materyali olarak, *Solanaceae* familyasından *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerine ait ikişer kültür varyetesi kullanıldı. *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 tohumları Eskişehir Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden, *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova tohumları ise Ege Üniversitesi'nden temin edildi.

Çalışmanın başlangıcında araştırma materyalini teşkil eden *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova 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 (NaOCl) çözeltileri içerisine alındılar. Sterilizasyon çözeltisi içerisinde bekletilme süresi domates tohumları için 30-35 dakika, tütün tohumları için 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. Her genotip ve her uygulama için 200'er adet tohum inceleme kapsamına alındı.

Çalışmada $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ formunda bakır içeren ve toplam 13 farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler besi ortamları olarak kullanıldılar. Bu konsantrasyonlar 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000 ve 10000 $\mu\text{g/g}$ 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* cv. Karabağlar ve Taşova tohumlarının gerek kontrol gruplarında, gerekse bakır 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 bakır çözeltilerine eşit miktarlarda olacak şekilde ayarlandı. Tütün tohumlarının kontrol gruplarına ise eşit miktarlarda saf su ve KNOP çözeltisi uygulamaları yapıldı.

Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova tohumlarında 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 bir fotoperiyot düzeni uygulanan ve $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 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 bırakıldı.

L. esculentum cv. H-2274 ve İ-40 tohumları için 11-12 gün, *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova tohumları için 15-16 gün olarak tespit edilen inkübasyon süreleri sonunda tohumlarda öncelikle çimlenme yüzdeleri açısından bir değerlendirme yapıldı. 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 petriler ölçüm esnasında buzdolabında $+4^\circ\text{C}$ 'de muhafaza edildi.

Çalışmada bakır analizleri 1, 10, 100 ve 200 µg/g CuSO₄.5H₂O çözeltilerinde ayrı ayrı yetiştirilen ve fotoperyot uygulanan 15 gün yaşlı *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fidelerinde gerçekleştirildi. Örneklerin içerdiği bakır katyonları Hitachi 180 model Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre cihazında tespit edildi. Alevli (Flame) ortamda bu katyonlar litrede mg olarak saptandı.

Verilerin değerlendirilmesi bilgisayarda SPSS paket programında yapıldı. Ortalamalar, standart hatalar ve yüzdelik değerler hesaplandı. Grupların karşılaştırılmasında, ANOVA tek yönlü varyans analizi veya Student's t testi yapıldı. Veri sayısı her seride çimlenen tohum sayısına bağlı olarak değişti. Ancak özellikle bakırın yüksek konsantrasyonlarında tohumların çimlenme oranlarında azalmalar gözlemlendi için, bu seriler tekrarlanarak veri sayısının hiçbir zaman 15'in altına düşmemesi sağlandı.

Bulgular

Tohum Çimlendirme Çalışmaları

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 tohumlarının çimlenme özelliklerine 13 farklı konsantrasyonda uygulanan bakırın etkileri kontrol grup sonuçları ile karşılaştırıldığında, kontrol grup ile elde edilen çimlenme oranlarının 5000 ve 10000 µg/g bakır konsantrasyonları dışındaki tüm seriler ile elde edilen değerlerden düşük olduğu görüldü. 5000 ve özellikle 10000 µg/g bakır konsantrasyonlarına maruz bırakılan tohumların çimlenme özelliklerinde ise önemli bir azalma tespit edildi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 tohumlarının çimlenme özelliklerinde 2000 µg/g bakır konsantrasyonundan itibaren çok belirgin bir düşüş gözlemlendi. En yüksek çimlenme oranına 20 µg/g bakır konsantrasyonunda ulaşıldı. Kontrol grup ve inceleme kapsamına alınan diğer tüm serilerde çimlenme oranları yüksekti ve birbirine yakın değerler verdi .

L. esculentum cv. İ-40 tohumlarının fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen tüm serilerinde bakır uygulamalarına bağlı olarak elde edilen çimlenme oranları kontrol grup değerinden düşüktü. Çimlenme özelliğindeki en belirgin azalma 10000 µg/g bakır konsantrasyonunda elde edildi. Diğer tüm bakır uygulanan seriler birbirine yakın değerler verdiler (Çizelge 1).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Karabağlar tohumlarında en yüksek çimlenme oranına 100 ve 200 µg/g bakır konsantrasyonları ile ulaşılrken, kontrol grup dahil 1000 µg/g'e kadar olan diğer serilerde birbirine yakın çimlenme oranları elde edildi. 1000 µg/g bakır konsantrasyonundan itibaren de tohumların çimlenme oranlarında önemli düşüşler gözlemlendi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinde en yüksek çimlenme oranına 50 µg/g bakır konsantrasyonunda ulaşıldı. Kontrol grup dahil 500 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde birbirine yakın çimlenme oranları elde edildi. 500 µg/g bakır konsantrasyonundan itibaren de düşüşler gözlemlendi (Çizelge 1).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Taşova tohumlarında en yüksek çimlenme oranı 10 µg/g bakır konsantrasyonunda bulundu. 200 µg/g 'e adar olan diğer serilerde kontrol grup değerine yakın değerler elde edildi. 500 µg/g bakır konsantrasyonundan itibaren de düşüşler gözlemlendi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Taşova tohumlarında da en yüksek çimlenme oranına 10 µg/g bakır konsantrasyonu ile ulaşıldı.

1, 2, 5, 20 ve 50 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonlarında birbirine yakın değerler elde edildi. Çimlenme oranlarındaki düşüşler 100 ve 200 bakır konsantrasyonları ile başladı. 500, 2000 ve 5000 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonları ile sağlanan çimlenme oranları kontrol grup değeri ile aynı idi. En düşük çimlenme oranı ise 10000 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonu ile elde edildi (Çizelge 1).

Çizelge 1: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 tohumları ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova tohumlarının artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak çimlenme yüzdeleri

CuSO ₄ .5H ₂ O	H-2274 Fotoperyot	İ-40 Fotoperyot	H-2274 Karanlık	İ-40 Karanlık	Karabağlar Fotoperyot	Taşova Fotoperyot	Karabağlar Karanlık	Taşova Karanlık
Kontrol	81	88	95	86	89	86	93	70
1 $\mu\text{g/g}$	92	62	98	71	81	87	92	87
2 $\mu\text{g/g}$	88	69	96	63	85	86	90	81
5 $\mu\text{g/g}$	89	53	93	54	73	85	89	86
10 $\mu\text{g/g}$	96	62	95	62	83	93	86	89
20 $\mu\text{g/g}$	90	71	99	68	84	81	89	84
50 $\mu\text{g/g}$	95	66	97	74	83	87	96	88
100 $\mu\text{g/g}$	93	68	98	70	95	87	91	77
200 $\mu\text{g/g}$	92	60	94	70	95	79	85	77
500 $\mu\text{g/g}$	84	69	97	77	77	71	74	70
1000 $\mu\text{g/g}$	91	62	93	76	42	39	67	67
2000 $\mu\text{g/g}$	87	60	73	74	60	39	55	70
5000 $\mu\text{g/g}$	76	63	10	83	43	45	69	70
10000 $\mu\text{g/g}$	22	30	1	41	42	36	52	66

Biyometrik Ölçüm Çalışmaları

Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerine 13 farklı konsantrasyonda uygulanan bakırın etkileri kontrol grup sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 2-11'de gösterilmiştir.

Çizelge 2: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Fotoperyot Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Karanlık Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				
	Konsantrasyon ($\mu\text{g/g}$)	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		17,4136	0,6138	2,0000	29,0000	17,0316	0,8420	3,0000	43,0000
1 $\mu\text{g/g}$		18,1374	0,6906	4,0000	45,0000	27,0105	1,1790	1,0000	56,0000
2 $\mu\text{g/g}$		26,5284	1,1652	3,0000	53,0000	13,5833	0,4645	3,0000	25,0000
5 $\mu\text{g/g}$		22,0568	0,5994	4,5000	36,0000	18,3804	0,8541	6,0000	41,0000
10 $\mu\text{g/g}$		29,9309	1,0462	1,5000	56,0000	24,0842	0,9332	6,0000	49,0000
20 $\mu\text{g/g}$		34,7111	1,5120	2,0000	85,0000	29,0606	1,3917	1,5000	54,0000
50 $\mu\text{g/g}$		21,7895	1,1945	4,0000	54,0000	9,5464	0,5272	1,0000	23,0000
100 $\mu\text{g/g}$		17,5699	0,7599	4,0000	36,0000	10,0051	0,9819	1,0000	40,0000
200 $\mu\text{g/g}$		6,9674	0,3874	1,5000	21,0000	4,8138	0,4608	1,0000	27,0000
500 $\mu\text{g/g}$		2,8750	0,0825	1,5000	4,5000	4,0825	0,2888	1,5000	15,0000
1000 $\mu\text{g/g}$		2,6868	0,0572	1,5000	4,0000	1,9032	0,0722	0,5000	3,5000
2000 $\mu\text{g/g}$		1,7011	0,0412	1,0000	2,5000	1,6781	0,0758	0,5000	3,0000
5000 $\mu\text{g/g}$		1,1053	0,0442	0,5000	1,5000	1,1500	0,1302	0,5000	1,5000
10000 $\mu\text{g/g}$		0,5682	0,0374	0,5000	1,0000				
Total		15,6566	0,3921	0,5000	85,0000	13,5789	0,3591	0,5000	56,0000

F=193,93 ; P<0,001

F=124,68 ; P<0,001

Çizelge 3: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi (mm).

CuSO ₄ ·5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Fotoperyot Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Karanlık Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				
	Konsantrasyon (µg/g)	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		21,6307	1,1276	0,5000	45,0000	8,4512	0,8090	0,5000	58,0000
1 µg/g		15,9032	0,7167	5,0000	35,0000	23,7000	1,6457	2,0000	75,0000
2 µg/g		25,1176	1,5515	2,0000	67,0000	19,5714	1,4903	1,0000	50,0000
5 µg/g		31,0943	1,9302	9,5000	59,0000	25,8889	2,2166	4,0000	75,0000
10 µg/g		27,6452	1,5925	2,5000	67,5000	19,3226	1,2239	2,0000	44,0000
20 µg/g		23,6739	1,2507	1,0000	46,0000	17,1471	0,9770	5,0000	40,0000
50 µg/g		18,1894	1,2252	2,5000	53,0000	10,2431	0,9574	1,5000	34,0000
100 µg/g		12,2353	0,7622	1,0000	29,0000	8,4857	0,9513	1,0000	27,0000
200 µg/g		5,4667	0,4667	1,5000	19,0000	4,9783	0,3145	1,0000	13,0000
500 µg/g		2,8015	0,1414	1,0000	8,0000	4,0584	0,3195	1,5000	18,0000
1000 µg/g		2,4919	0,1082	1,0000	5,0000	2,4079	0,0575	1,5000	4,0000
2000 µg/g		1,9000	0,0721	1,0000	4,0000	1,8716	0,0561	0,5000	3,0000
5000 µg/g		1,2698	0,0504	0,5000	2,5000	1,3253	0,0368	0,5000	2,0000
10000 µg/g		0,6167	0,0393	0,5000	1,0000	0,8780	0,0455	0,5000	1,5000
Total		14,2332	0,4466	0,5000	67,5000	10,1998	0,3688	0,5000	75,0000

F=104,52 ; P<0,001

F=78,60 ; P<0,001

Çizelge 4: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi (mm).

CuSO ₄ ·5H ₂ O	<i>N. tabacum</i> cv. Karabağlar Fotoperyot Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>N. tabacum</i> cv. Karabağlar Karanlık Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				
	Konsantrasyon (µg/g)	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boy Uzunluğu	Maksimum Kök Boy Uzunluğu	Kök Boyu Ortalama Uzunluğu	Standart Hata	Minimum Kök Boyu Uzunluğu	Maksimum Kök Boyu Uzunluğu
Kontrol		12,5125	0,6539	3,0000	24,0000	4,2898	0,1397	2,0000	8,0000
1 µg/g		11,6154	0,6853	2,0000	30,0000	4,3506	0,1469	1,0000	7,0000
2 µg/g		14,3182	0,7370	4,0000	27,0000	4,5562	0,1609	1,5000	8,0000
5 µg/g		12,4478	0,5469	3,0000	24,0000	3,6742	0,1531	1,0000	8,0000
10 µg/g		8,6364	0,4150	2,0000	18,0000	4,0118	0,1548	1,0000	8,0000
20 µg/g		11,0610	0,4631	2,0000	21,0000	3,5955	0,1471	2,0000	8,0000
50 µg/g		6,2879	0,3251	2,0000	13,0000	2,3854	0,1072	1,0000	5,0000
100 µg/g		1,9651	0,1520	0,5000	5,0000	1,7472	0,0720	1,0000	4,0000
200 µg/g		1,9362	0,1160	0,5000	6,0000	2,8824	0,1432	1,0000	6,0000
500 µg/g		0,5641	0,0271	0,5000	1,0000	0,6167	0,0393	0,5000	1,0000
1000 µg/g		0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,6724	0,0622	0,5000	1,5000
2000 µg/g		0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	1,0909	0,0610	1,0000	1,5000
5000 µg/g		0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,6042	0,0423	0,5000	1,0000
10000 µg/g		0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5417	0,0417	0,5000	1,0000
Total		7,9132	0,2279	0,5000	30,0000	3,1561	0,0581	0,5000	8,0000

F=84,71 ; P<0,001

F=72,34 ; P<0,001

Çizelge 5: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimi (mm).

CuSO ₄ ·5H ₂ O	<i>N. tabacum</i> cv. Taşova Fotoperyot Kök Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>N. tabacum</i> cv. Taşova Karanlık Kök Boyu Ortalama Uzunluğu			
	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	10,4167	0,4272	1,0000	18,0000	1,9286	0,0743	0,5000	3,0000
1 µg/g	8,5402	0,4507	1,0000	19,0000	3,9425	0,1702	1,0000	7,0000
2 µg/g	12,0000	0,5172	1,0000	22,0000	3,0625	0,1359	1,0000	6,0000
5 µg/g	9,8941	0,4888	1,0000	21,0000	3,0233	0,1292	1,0000	6,0000
10 µg/g	9,3333	0,3696	1,0000	16,0000	3,3708	0,1433	1,0000	6,0000
20 µg/g	7,6200	0,4780	0,5000	16,0000	2,5476	0,1178	1,0000	5,0000
50 µg/g	4,4540	0,2769	1,0000	13,0000	2,2500	0,1255	1,0000	7,0000
100 µg/g	4,0952	0,2538	1,0000	12,0000	1,5130	0,0837	1,0000	5,0000
200 µg/g	1,6076	0,0829	0,5000	4,0000	0,5887	0,0294	0,5000	1,5000
500 µg/g	0,8700	0,0491	0,5000	1,5000	0,5972	0,0394	0,5000	1,0000
1000 µg/g	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5926	0,0381	0,5000	1,0000
2000 µg/g	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000
5000 µg/g	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000
10000 µg/g	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000	0,5000	0,0000	0,5000	0,5000
Total	7,0018	0,1738	0,5000	22,0000	2,2684	0,0523	0,5000	7,0000

F=70,03 ; P<0,001

F=73,42 ; P<0,001

Çizelge 6: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak ek kök gelişimi.

CuSO ₄ ·5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Fotoperyot Ek Kök Ortalama Sayısı				<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Karanlık Ek Kök Ortalama 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	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	2,3544	0,1690	1,0000	7,0000
1 µg/g	1,4091	0,0880	1,0000	3,0000	2,3875	0,1160	1,0000	5,0000
2 µg/g	2,3750	0,1304	1,0000	5,0000	3,4318	0,1732	1,0000	8,0000
5 µg/g	2,0270	0,1170	1,0000	5,0000	2,7590	0,1604	1,0000	8,0000
10 µg/g	2,3425	0,1326	1,0000	5,0000	2,2740	0,1437	1,0000	7,0000
20 µg/g	3,6628	0,1626	1,0000	8,0000	1,3488	0,0873	1,0000	3,0000
50 µg/g	4,2826	0,1428	1,0000	9,0000	2,2632	0,1874	1,0000	5,0000
100 µg/g	5,3548	0,1734	2,0000	11,0000	1,5556	0,2422	1,0000	3,0000
200 µg/g	4,5412	0,1575	1,0000	7,0000	2,4444	0,2318	1,0000	4,0000
500 µg/g					1,6333	0,1312	1,0000	3,0000
1000 µg/g								
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	3,4645	0,0737	1,0000	11,0000	2,4492	0,0599	1,0000	8,0000

F=72,93 ; P<0,001

F=11,94 ; P<0,001

Çizelge 7: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fidiciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak ek kök gelişimi.

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Fotoperyot Ek Kök Ortalama Sayısı				<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Karanlık Ek Kök Ortalama 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	1,5240	0,1432	1,0000	5,0000	2,2581	0,1507	1,0000	5,0000
1 µg/g	1,6471	0,1455	1,0000	5,0000	2,5738	0,2084	1,0000	7,0000
2 µg/g	4,1538	0,1952	1,0000	8,0000	2,6182	0,1788	1,0000	6,0000
5 µg/g	3,9020	0,1732	2,0000	7,0000	2,5652	0,2123	1,0000	7,0000
10 µg/g	4,6000	0,2020	1,0000	9,0000	2,9273	0,2024	1,0000	7,0000
20 µg/g	5,2647	0,2358	2,0000	9,0000	3,1194	0,2001	1,0000	7,0000
50 µg/g	4,6818	0,2565	1,0000	14,0000	2,4000	0,3377	1,0000	8,0000
100 µg/g	4,8769	0,1747	3,0000	9,0000	2,6364	0,2509	1,0000	5,0000
200 µg/g	3,4510	0,2525	1,0000	9,0000	3,5862	0,2423	1,0000	9,0000
500 µg/g	2,0000	1,0000	1,0000	3,0000	2,0238	0,1425	1,0000	4,0000
1000 µg/g								
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	4,0359	0,0876	1,0000	14,0000	2,7114	0,0692	1,0000	9,0000

F=28,97 ; P<0,001

F=4,45 ; P<0,001

Çizelge 8: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fidiciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Fotoperyot Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>L. esculentum</i> cv. H-2274 Karanlık Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu			
	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	12,0395	0,4752	2,0000	23,0000	33,9789	0,9178	4,0000	50,0000
1 µg/g	13,0659	0,5557	2,0000	22,0000	38,5260	1,3098	5,0000	67,0000
2 µg/g	17,8171	0,3467	4,0000	23,0000	21,2813	0,7785	6,0000	37,0000
5 µg/g	16,3750	0,2588	7,0000	21,0000	30,7826	0,7399	4,0000	48,0000
10 µg/g	19,0000	0,3293	5,0000	26,0000	40,1702	0,7304	18,0000	58,0000
20 µg/g	17,6556	0,2629	11,5000	24,0000	30,5789	0,6420	12,0000	43,0000
50 µg/g	16,1789	0,2742	5,5000	21,0000	31,2022	0,7707	12,0000	46,0000
100 µg/g	15,3280	0,2319	9,5000	22,5000	15,9357	1,1976	3,0000	42,0000
200 µg/g	11,3626	0,2575	5,5000	17,0000	18,3333	0,8691	3,0000	36,0000
500 µg/g	3,9375	0,3014	2,5000	7,0000	10,4857	0,7389	2,5000	30,0000
1000 µg/g					6,0500	0,8043	2,5000	11,0000
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	15,1312	0,1564	2,0000	26,0000	27,6695	0,4193	2,5000	67,0000

F=89,05 ; P<0,001

F=113,47 ; P<0,001

Çizelge 9: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Fotoperyot Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>L. esculentum</i> cv. İ-40 Karanlık Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu			
	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	21,5183	0,7640	1,0000	32,0000	34,1975	1,6431	3,0000	72,0000
1 µg/g	11,7213	0,4107	3,0000	17,0000	44,6620	1,5602	9,0000	83,0000
2 µg/g	19,4328	0,5330	5,0000	29,0000	48,9524	2,2307	4,0000	82,0000
5 µg/g	20,3846	0,4417	11,0000	28,0000	51,2593	1,7814	9,0000	76,0000
10 µg/g	20,4262	0,4606	9,5000	28,0000	40,2951	1,8801	10,0000	70,0000
20 µg/g	18,4211	0,4662	5,5000	26,5000	41,2500	1,5675	18,0000	71,0000
50 µg/g	16,9848	0,3244	9,0000	25,0000	26,0462	1,4580	3,0000	52,0000
100 µg/g	14,7239	0,3034	3,5000	19,0000	25,5000	2,1540	5,0000	67,0000
200 µg/g	11,6525	0,4453	4,0000	21,0000	26,3088	1,1609	5,0000	48,0000
500 µg/g	6,7551	0,3185	2,0000	14,0000	18,4400	0,8207	5,0000	40,0000
1000 µg/g	4,3333	0,3660	1,5000	8,0000	7,9474	0,8324	3,0000	14,0000
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	16,2319	0,2416	1,0000	32,0000	34,4555	0,6619	3,0000	83,0000

F=96,25 ; P<0,001

F=50,21 ; P<0,001

Çizelge 10: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>N. tabacum</i> cv. Karabağlar Fotoperyot Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>N. tabacum</i> cv. Karabağlar Karanlık Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu			
	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	2,0059	0,0589	1,0000	3,0000	7,6932	0,3365	1,0000	16,0000
1 µg/g	1,9063	0,0584	1,0000	3,0000	7,9121	0,3284	2,0000	15,0000
2 µg/g	1,9345	0,0547	1,0000	3,5000	7,7529	0,3514	2,0000	15,0000
5 µg/g	2,0890	0,0563	1,5000	3,5000	7,0787	0,3189	2,0000	13,0000
10 µg/g	1,9451	0,0491	1,5000	3,5000	9,2791	0,3484	3,0000	16,0000
20 µg/g	2,1566	0,0528	1,0000	3,0000	8,2439	0,3567	3,0000	16,0000
50 µg/g	1,5361	0,0580	0,5000	2,5000	7,9130	0,2547	3,0000	13,0000
100 µg/g	2,1786	0,0845	1,0000	5,0000	5,7176	0,2114	2,0000	13,0000
200 µg/g	2,4947	0,0481	1,5000	4,0000	8,5570	0,3566	1,0000	16,0000
500 µg/g								
1000 µg/g								
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	2,0327	0,0215	0,5000	5,0000	7,7864	0,1113	1,0000	16,0000

F=18,48 ; P<0,001

F=9,42 ; P<0,001

Çizelge 11: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimi (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	<i>N. tabacum</i> cv. Taşova Fotoperyot Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu				<i>N. tabacum</i> cv. Taşova Karanlık Hipokotil Boyu Ortalama Uzunluğu			
	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	1,9740	0,0554	1,0000	3,0000	3,1667	0,1950	0,5000	6,0000
1 µg/g	2,4535	0,0695	1,5000	4,0000	6,1084	0,2924	1,0000	12,0000
2 µg/g	2,2235	0,0539	1,5000	4,0000	8,3714	0,3332	3,0000	13,0000
5 µg/g	2,1203	0,0535	1,5000	3,0000	8,6267	0,3203	3,0000	13,0000
10 µg/g	2,4946	0,0667	1,0000	4,5000	8,6905	0,3025	2,0000	14,0000
20 µg/g	3,0130	0,0768	2,0000	6,0000	6,2530	0,2903	1,0000	12,0000
50 µg/g	2,2849	0,0520	1,5000	4,0000	7,8023	0,2811	2,0000	13,0000
100 µg/g	1,9157	0,0513	1,0000	3,0000	6,5556	0,2246	2,0000	11,0000
200 µg/g	1,7237	0,0516	1,0000	2,5000				
500 µg/g	1,6111	0,2324	0,5000	2,5000				
1000 µg/g								
2000 µg/g								
5000 µg/g								
10000 µg/g								
Total	2,2427	0,0237	0,5000	6,0000	7,0317	0,1212	0,5000	14,0000

F=35,56 ; P<0,001

F=37,51 ; P<0,001

Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* fideciklerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan bakırın etkisi ile elde edilen kök boyu ortalama uzunluklarının genotiplere göre değişimi incelendiğinde, her iki durumda da H-2274 genotipinde İ-40 genotipinden daha fazla kök gelişimlerine tanık olundu. Genotipler arasında gözlenen farklılıklar her iki seride de istatistiksel açıdan anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla kök gelişimleri izlenmekle birlikte, fotoperyot uygulamalarının olumlu etkisi özellikle İ-40 genotipinde daha belirgindi (Çizelge 12).

Çizelge 12: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fidecikleri ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H 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	15,6566	14,2332	13,5789	10,1998	7,9132	7,0018	3,1561	2,2684
Standart Hata	0,3921	0,4466	0,3591	0,3688	0,2279	0,1738	0,0581	0,0523
Minimum Kök Boyu Uzunluğu	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	85,0000	67,5000	56,0000	75,0000	30,0000	22,0000	8,0000	7,0000

t=5,71 ; P<0,05

t=42,70 ; P<0,001

t=10,30 ; P<0,00

t=127,73;P<0,001

N. tabacum fideciklerine bakır uygulanması durumunda hem fotoperyot hem de karanlık uygulamalarında Karabağlar genotipinde Taşova genotipinden daha fazla kök gelişimleri gözlemlendi. Farklılıklar her iki seride de istatistiksel açıdan anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serileri karanlıkta yetiştirilen serilerine nazaran daha iyi kök gelişimleri gösterdiler (Çizelge 12).

L. esculentum fideciklerine artan konsantrasyonlarda bakır uygulanması durumunda elde edilen hipokotil boyu ortalama uzunluklarının genotiplere göre değişimi incelendiğinde, hem fotoperyot hem de karanlık uygulamalarında İ-40 genotipinde H-2274 genotipinden daha fazla hipokotil gelişimleri belirlendi. Genotipler arasında gözlenen farklılıklar her iki seride de anlamlı idi. Her iki genotipinde karanlıkta yetiştirilen serilerinde daha fazla hipokotil gelişimleri gözlenmekle birlikte, farklılıklar özellikle İ-40 genotipinde daha belirgindi (Çizelge 13).

Çizelge 13: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fidecikleri ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H 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	15,1312	16,2319	27,6695	34,4555	2,0327	2,2427	7,7864	7,0317
Standart Hata	0,1564	0,2416	0,4193	0,6619	0,0215	0,0237	0,1113	0,1212
Minimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	2,0000	1,0000	2,5000	3,0000	0,5000	0,5000	1,0000	0,5000
Maksimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	26,0000	32,0000	67,0000	83,0000	5,0000	6,0000	16,0000	14,0000

t=15,71 ; P<0,001 t=81,55 ; P<0,001 t=43,02 ; P<0,001 t=20,88 ; P<0,001

N. tabacum fideciklerine artan konsantrasyonlarda bakır 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 elde edilen hipokotil boyu ortalama uzunlukları fotoperyot uygulanan serilerde gözlenen değerlerden yüksekti (Çizelge 13).

L. esculentum fideciklerinde uygulanan bakır konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak, fotoperyot uygulamalarında İ-40 genotipinde, karanlık şartlarda ise H-2274 genotipinde daha fazla kotiledon gelişimlerine tanık olundu; ancak fotoperyot serisinde gözlenen farklılık istatistiksel anlam taşııyordu. Her iki genotipinde kotiledonlarının fotoperyot uygulamalarında daha iyi gelişim gösterdikleri saptandı (Çizelge 14).

Çizelge 14: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fidecikleri ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon boyu gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H 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	7,3083	7,3309	6,7667	6,1886	1,2195	1,0972	1,0327	1,1132
Standart Hata	0,0443	0,0477	0,0460	0,1351	0,0087	0,0066	0,0069	0,0057
Minimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	4,0000	4,0000	5,0000	4,0000	0,4000	0,5000	0,5000	0,5000
Maksimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	10,5000	10,0000	10,0000	8,0000	2,8000	1,7000	1,6000	1,3000
	t=0,17;P>0,05		t=21,52;P<0,001		t=124,11;P<0,001		t=68,71;P<0,001	

N. tabacum fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak fotoperyot şartlarında Karabağlar genotipinde, karanlık şartlarda ise Taşova genotipinde daha fazla kotiledon gelişimlerine tanık olundu. Farklılıklar her iki durumda da anlamlı idi (Çizelge 14).

L. esculentum fideciklerinin kotiledon eni ortalama uzunluklarına artan konsantrasyonlarda uygulanan bakırın etkileri incelendiğinde, fotoperyot şartlarında İ-40 genotipinde, karanlık şartlarda ise H-2274 genotipinde daha fazla kotiledon gelişimleri saptandı; ancak genotipler arasında gözlenen farklılıklar fotoperyot serisinde anlamlı değildi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde kotiledon eni ortalama uzunluklarında belirgin artışlar gözlemlendi (Çizelge 15).

Çizelge 15: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fidecikleri ile *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon eni gelişimlerinin karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H 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	1,4067	1,4429	1,2174	1,0841	0,9624	0,8791	0,5658	0,5598
Standart Hata	0,0147	0,0186	0,0130	0,0220	0,0086	0,0077	0,0065	0,0065
Minimum Kotiledon Eni Uzunluğu	0,7000	0,7000	0,6000	0,9000	0,2000	0,3000	0,3000	0,2000
Maksimum Kotiledon En Uzunluğu	2,2000	2,2000	1,9000	1,6000	2,0000	1,3000	1,2000	0,9000
	t=2,38 ; P>0,05		t=16,50 ; P<0,001		t=51,57 ; P<0,001		t=0,38 ; P>0,05	

N. tabacum fideciklerinin gerek fotoperyot uygulanan ve gerekse karanlıkta yetiştirilen serilerinde Karabağlar genotipinde Taşova genotipinden daha fazla kotiledon gelişimlerine tanık olunmakla birlikte, genotipler arasında gözlenen farklılıklar yalnız fotoperyot serisinde anlamlı idi. Her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serileri ile elde edilen kotiledon eni ortalama uzunlukları karanlık şartlarda elde edilen ortalama değerlerden yüksekti (Çizelge 15).

L. esculentum fideciklerinde uygulanan bakır konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak elde edilen ortalama ek kök sayıları açısından genotipler arasında bir değerlendirme yapıldığında, her iki genotipinde fotoperyot uygulanan serilerinde daha fazla ek kök gelişimleri belirlendi. Hem fotoperyot hem de karanlık uygulamalarında İ-40 genotipi ile elde edilen ortalama ek kök sayıları H-2274 genotipi ile elde edilen ortalama değerlerden yüksekti. Farklılıklar her iki seride de istatistiksel açıdan anlamlı idi (Çizelge 16).

Çizelge 16: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fideciklerinde artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak ek kök gelişimlerinin karşılaştırılması .

CuSO ₄ .5H 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	3,4645	4,0359	2,4492	2,7114
Standart Hata	0,0737	0,0876	0,0599	0,0692
Minimum Ek Kök Sayısı.	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Maksimum Ek Kök Sayısı	11,0000	14,0000	8,0000	9,0000

t=25,26 ; P<0,001

t=8,28 ; P<0,01

N. tabacum cv. Karabağlar ve Taşova tohumlarına bakır uygulandığı durumlarda fideciklerde ek kök gelişimleri bakımından istatistiki anlamda yeterli veriler elde edilemediği için, tütün genotiplerinde ek kök sayıları açısından bir değerlendirme yapılamadı.

Fotoperyot uygulanan ve karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinin ikişer kültür varyetesi ile kontrol grup ve artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak elde edilen kök boyu, hipokotil boyu, kotiledon eni ve kotiledon boyu ortalama uzunluklarının türler düzeyinde genel bir değerlendirmesi yapıldığında, gerek fotoperyot gerekse karanlık uygulamalarında, domates fideciklerinde tütün fideciklerinden çok daha belirgin kök, hipokotil ve kotiledon gelişimlerine tanık olundu. Farklılıklar her durumda istatistiksel açıdan anlamlı idi (Çizelge 17-20).

Çizelge 17: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök boyu ortalama uzunluklarının karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	2 <i>L. esculentum</i> Genotipi ve 2 <i>N. tabacum</i> Genotipi Kök Boyu Ortalama 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	15,0466	7,4384	12,0296	2,7272
Standart Hata	0,2950	0,1422	0,2602	0,0407
Minimum Kök Boyu Uzunluğu	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
Maksimum Kök Boyu Uzunluğu	85,0000	30,0000	75,0000	8,0000

t=454,32 ; P<0,001

t=1047,31 ; P<0,001

Çizelge 18: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak hipokotil boyu ortalama uzunluklarının karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	2 <i>L. esculentum</i> Genotipi ve 2 <i>N. tabacum</i> Genotipi Hipokotil Boyu Ortalama 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	15,6182	2,1378	30,6078	7,4526
Standart Hata	0,1386	0,0162	0,3817	0,0826
Minimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	1,0000	0,5000	2,5000	0,5000
Maksimum Hipokotil Boyu Uzunluğu	32,000	6,000	83,0000	16,000

t=9469,94 ; P<0,001 t=3126,62 ; P<0,001

Çizelge 19: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon boyu ortalama uzunluklarının karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	2 <i>L. esculentum</i> Genotipi ve 2 <i>N. tabacum</i> Genotipi Kotiledon Boyu Ortalama 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	7,3176	1,1599	6,6825	1,0639
Standart Hata	0,0326	0,0057	0,0454	0,0049
Minimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	4,0000	0,4000	4,0000	0,5000
Maksimum Kotiledon Boyu Uzunluğu	10,5000	2,8000	10,0000	1,6000

t=43016,72 ; P<0,001 t=46751,48 ; P<0,001

Çizelge 20: Fotoperyot uygulanan ve karanlıkta yetiştirilen *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kotiledon eni ortalama uzunluklarının karşılaştırılması (mm).

CuSO ₄ .5H ₂ O	2 <i>L. esculentum</i> Genotipi ve 2 <i>N. tabacum</i> Genotipi Kotiledon Eni Ortalama 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	1,4215	0,9218	1,1980	0,5635
Standart Hata	0,0115	0,0059	0,0119	0,0047
Minimum Kotiledon Eni Uzunluğu	0,7000	0,2000	0,6000	0,2000
Maksimum Kotiledon Eni Uzunluğu	2,2000	2,0000	1,9000	1,2000

t=1678,33 ; P<0,001 t=3401,61 ; P<0,001

Kasyon tayini çalışmaları

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* fideciklerinde artan konsantrasyonlarda uygulanan (1, 10, 100 ve 200 µg/g) bakırın etkisi ile kökçük, hipokotil, kotiledon ve tohum kabuklarında biriken Cu⁺² kationları açısından bir değerlendirme yapıldığında, H-2274 genotipinde kontrol grup dahil 100 µg/g 'e kadar olan bakır konsantrasyonlarında fideciklerde bakır birikimleri saptanamazken, 100 µg/g 'de yalnızca testada 19.77 mg/kg düzeyinde Cu⁺² birikimi tespit edildi. 200 µg/g bakır uygulanması durumunda kökte 17.1 mg/kg, tohum kabuğunda 55.35 mg/kg düzeyinde Cu⁺² birikimlerine tanık olundu. *L. esculentum* İ-40 fideciklerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonlarında artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak Cu⁺² kasyonu saptanamazken, testalarda yalnızca 200 µg/g bakır uygulanması durumunda 110.95 mg/kg düzeyinde Cu⁺² birikimi belirlendi. Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* Karabağlar ve Taşova fideciklerinin kökçük, hipokotil ve kotiledonları ile tohum kabuklarında ise uygulanan bakır konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak Cu⁺² kasyonu tespit edilemedi.

Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan çalışmalarda bakır zehirlenmesine bağlı olarak kök gelişmesinin hızla zayıfladığı ve köklerin zarar gördüğü bildirilmektedir [1,12]. Bir çalışmada bakır hidroksit ile iç yüzeyleri kaplanan plastik kaplarda 7 ay süreyle geliştirilen *Ilex cassine* bitkilerinin kök:sürgün oranlarının uygulama yapılmayan kaplarda yetiştirilen bitkilerden daha az olduğu, bakır uygulanan kaplarda gelişen bitkilerde kök yumağının 1 cm dışındaki, çapları 5 mm'den küçük köklerin kuru ağırlıklarının bakır uygulanmayan kaplarda gelişen bitkilerden önemli ölçüde az olduğu, fakat kök yumağının içindeki çapı 5 mm'den büyük köklerin kuru ağırlıklarının bakır hidroksit uygulamalarından etkilenmediği belirlenmiştir [13]. Domates bitkilerinde sera şartlarında 6 hafta süreyle yapılan bir başka çalışmada 6.5'un altındaki toprak pH'larında topraktaki bakır seviyeleri 150 ppm'in üzerinde iken, 6.5'un üzerindeki toprak pH'larında ise 350 ppm'in üzerinde olduğunda bitki büyümesinde dikkat çekici azalmalara tanık olunmuştur [14]. *Ipomoea aquatica*'da ise bakırın bodurlaşma ve küçük yaprak belirtilerine neden olduğu gözlenmiş, aynı çalışmada bakır toksisitesi için başlangıç konsantrasyonu 5 ppm olarak tespit edilmiştir [15]. Lyanguzova, yaban mersini tohumlarının çimlenmesi ve fide gelişimleri üzerine bakır ve nikelin etkilerini incelediği araştırmasında, bakır ve nikel uygulamalarına bağlı olarak çimlenmede bir gecikme ve fide büyümesinde yavaşlama gözlendiğini, ancak bakırın yaban mersini tohumları için nikelden çok daha zehirli olduğunu belirtmekte; bu durumu nikel yada bakır iyonlarının hücre genişlemesi ve bölünmesini inhibe ederek fide büyümesini baskı altına almaları ile açıklamaktadır [16]. Buna karşın Longnecker v.d. buğday bitkisinde yaptıkları çalışmalarında, bakır uygulaması yapılmayan bitkilerde elde edilen sürgün ağırlıklarının, 1600 mg bakır verilen bitkilerin sürgün ağırlıklarından %85 daha az olduğunu, keza bakır uygulaması yapılmayan veya 400 mg bakır verilen bitkiler üzerinde yaprakların ortaya çıkışının 1600 mg bakır verilen bitkilerden daha uzun zaman aldığını ifade etmektedirler [17].

Çalışmamızda fotoperyot uygulanan *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinin artan bakır konsantrasyonlarına bağlı olarak kök gelişimleri incelendiğinde, en yüksek gelişme düzeyinin 20 µg/g bakır konsantrasyonu ile sağlandığı görüldü. 20 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra istatistiki azalış 500 µg/g 'e kadar devam etti. 500 µg/g 'den 10000 µg/g 'e kadar ise kök boyu ortalama uzunluklarında istatistiki anlamlılık gösterilemeyen azalış devam ediyordu. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde 1 µg/g bakır konsantrasyonunda kontrolden anlamlı derecede daha yüksek bir kök boyu ortalaması elde edildi. 20 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde fideciklerin kök boyu ortalama uzunluklarında düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 20 µg/g bakır konsantrasyonunda bu serinin en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldı. 50 µg/g'de anlamlı bir düşüş gözlenirken, 100 µg/g bakır konsantrasyonundaki hafif yükseliş istatistiki farklılık vermedi. 200 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra da düşüş devam etti. 10000 bakır konsantrasyonunda ise kök gelişimi yalnızca radikula gelişimi ile sınırlı kaldığından, 10000 µg/g değeri değerlendirme kapsamına alınmadı (Çizelge 2)

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* cv. I-40 fideciklerinde en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna 5 µg/g bakır konsantrasyonunda ulaşıldı. Bundan sonra birbirinden anlamlı farklılık gösteren düşüşler 500 µg/g 'e kadar devam etti. 500 µg/g 'den 10000 µg/g bakır konsantrasyonuna kadar, istatistiki olarak gösterilemeyen bir

düşüş yine de vardı. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde de en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna 5 µg/g bakır konsantrasyonu ile ulaşılırken, daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise düzenli bir azalış söz konusu idi (Çizelge 3).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinin kök boyu ortalama uzunluklarında 1 µg/g bakır konsantrasyonunda kontrol grup değerinden istatistiki anlamda farklılık belirlenemezken, 2 µg/g 'de en yüksek kök boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldı. Kök boyu ortalama uzunluklarında özellikle 50 µg/g bakır konsantrasyonunda başlayan belirgin düşme, daha yüksek konsantrasyonlarda da devam etti. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinde 1 ve 2 µg/g bakır konsantrasyonlarında kontrol grup değerine benzer bir kök boy ortalaması elde edilmiş iken, 200 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde düzensiz artış ve azalışlara tanık olundu. 200 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra ise düşük ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edildi (Çizelge 4).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde 1 µg/g bakır konsantrasyonunda kontrol grup değerinden daha düşük bir kök boy ortalaması elde edilmiş iken, 2 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek ortalama değere ulaşıldı. Kök boyu ortalamalarındaki anlamlı düşüş 10 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra belirginleşti. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde ise, kontrol grup ile sağlanan kök boy ortalamasına göre 1 µg/g bakır konsantrasyonunda daha yüksek bir ortalama değer elde edildi. Benzer ortalama değerler 20 µg/g bakır konsantrasyonuna kadar gözlemlendi. 20 µg/g bakır konsantrasyonunda istatistiki anlamlılık veren bir düşme tespit edildi. Bu düşüş 100 µg/g 'e kadar belirgin şekilde devam etti. Daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise düşük, ancak birbirine benzer ortalama değerler elde edildi (Çizelge 5).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde en düşük ortalama ek kök sayısı kontrol grup ile elde edildi. Bakır konsantrasyonlarına bağlı en düşük ek kök ortalama sayısı ise 1 µg/g de gözlemlendi. 2, 5 ve 10 µg/g bakır konsantrasyonlarında birbirine benzer ortalama değerler elde edilirken, 20 µg/g bakır konsantrasyonunda istatistiki anlamlılık veren bir artış saptandı. Bunu 50 ve 100 µg/g bakır konsantrasyonları ile elde edilen artışlar izledi. 200 µg/g 'de yine bir azalış söz konusu idi. 200 µg/g 'den daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise ek kök gelişimi gözlemlenmedi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde 1 µg/g bakır konsantrasyonu ile elde edilen ek kök ortalama sayısı kontrol grup değeri ile benzerdi. 2 µg/g 'de istatistiki anlamı olan bir artış gözlemlendi. Bunu daha yüksek bakır konsantrasyonlarındaki düzensiz artış ve azalışlar izledi. 500 µg/g 'den daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise ek kök gelişimi belirlenemedi (Çizelge 6).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinin ek kök gelişimleri üzerine artan konsantrasyonlarda uygulanan bakırın etkileri incelendiğinde, 1 µg/g bakır konsantrasyonunda kontrol grup ortalamasına benzer bir değer elde edilmiş iken, 2 µg/g bakır konsantrasyonunda istatistiki anlamlılık veren bir artış tespit edildi. 2, 5 ve 10 µg/g değerleri birbirine benzerdi. 20 µg/g bakır konsantrasyonu ile en yüksek ek kök ortalama sayısına ulaşıldı. 50 µg/g bakır konsantrasyonunda bir düşüş gözlemlenirken, 100 µg/g 'de 50 µg/g değerine benzer bir ortalama değer elde edildi. 200 ve 500 µg/g bakır konsantrasyonlarında da azalış devam etti. 500 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra ise ek kök gelişimi belirlenemedi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde 1, 2 ve 5 µg/g bakır konsantrasyonlarında kontrol grup değerine yakın ortalama değerler

elde edildi. 10 ve 20 µg/g bakır konsantrasyonlarında istatistiki anlamı olan artışlar tespit edildi. 50 ve 100 µg/g değerleri ile düzensiz düşümlere tanık olunurken, 200 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek ek kök ortalama sayısı elde edildi. 500 µg/g bakır konsantrasyonunda tekrar belirgin bir düşüş söz konusu iken, daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise ek kök gelişimi gözlenmedi (Çizelge 7).

Fotoperyot şartlarında yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinin hipokotil boyu ortalama uzunluklarına artan konsantrasyonlarda uygulanan bakırın etkileri incelendiğinde, kontrol grup değerinin 200 ve 500 µg/g hariç, bakır uygulanan diğer tüm serilerden düşük olduğu görüldü. 10 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu elde edildi. 20 µg/g bakır konsantrasyonunda başlayan ve istatistiki anlamlılık veren düşme, 500 µg/g 'e kadar devam etti. 500 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde 10 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu elde edilirken, 10 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde düzensiz artış ve azalışlara tanık olundu. 20 ve 50 µg/g bakır konsantrasyonlarında benzer ortalama değerler gözlenirken, 100 µg/g 'de belirgin bir düşüş saptandı. 200 µg/g bakır konsantrasyonundaki yükselme istatistiksel açıdan anlamlı değildi. 500 ve 1000 µg/g bakır konsantrasyonlarında da hipokotil uzunluğundaki düşme devam etti. 1000 µg/g 'den sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi (Çizelge 8).

Fotoperyot uygulanan *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu kontrol grup ile kaydedildi. Bu seride özellikle 2, 5, 10 ve 20 µg/g bakır konsantrasyonlarında benzer ortalama değerler elde edilirken, 50 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra istatistiki anlamlılık veren düzenli bir azalış gözlemlendi. 1000 µg/g bakır konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi belirlenemedi. Karanlık şartlarda yetiştirilen *L. esculentum* cv. İ-40 fideciklerinde 1, 2 ve 5 µg/g bakır konsantrasyonları, hipokotil boyu ortalama uzunluklarında istatistiki anlamlılık veren düzenli bir artışlara neden oldu. 5 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğuna ulaşılırken, 10 µg/g 'de belirgin bir azalış dikkati çekici idi. 20 µg/g bakır konsantrasyonu ile elde edilen ortalama değer 10 µg/g değerine benzerdi. 50 µg/g bakır konsantrasyonunda hipokotil boyu ortalama uzunluğunda önemli bir düşüş gözlemlendi. 50, 100 ve 200 µg/g değerleri birbirine benzer değerlerdi. 500 ve 1000 µg/g bakır konsantrasyonlarında da düşüş devam etti. 1000 µg/g 'den sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi (Çizelge 9).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerinde kontrol grup ile elde edilen hipokotil boyu ortalama uzunlukları 10 µg/g bakır konsantrasyonuna kadar benzer ortalama değerler ile devam etti. 20 µg/g bakır konsantrasyonunda istatistiki anlamlılık veren bir artış gözlemlendi. 200 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde düzensiz artış ve azalışlara tanık olunurken, 200 µg/g bakır konsantrasyonunda en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldı. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Karabağlar fideciklerine 1, 2 ve 5 µg/g bakır uygulanması durumunda kontrol grup ortalamasına benzer ortalama değerler elde edilirken, 10 µg/g 'de önemli bir yükseliş gözlemlendi ve en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu da 10 µg/g bakır konsantrasyonunda kaydedildi. 20 µg/g 'den daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise düzenli olmayan artış ve azalışlar tespit edildi (Çizelge 10).

Fotoperyot uygulanan *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde 1 µg/g bakır konsantrasyonu kontrol grup ile kıyaslandığında hipokotil boyu ortalama uzunluğunda önemli bir artışa neden oldu ve benzer ortalama değerler

10 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonuna kadar devam etti. En yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğu 20 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonu ile elde edilirken, daha yüksek konsantrasyonlarda istatistiki anlamlılık veren azalışlar gözlemlendi. 500 $\mu\text{g/g}$ 'den daha yüksek bakır konsantrasyonlarında ise hipokotil gelişimi saptanamadı. Karanlık şartlarda yetiştirilen *N. tabacum* cv. Taşova fideciklerinde de aynı genotipin fotoperyot uygulanan serilerinde olduğu gibi, 1 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonu kontrol grup ile kıyaslandığında hipokotil boyu ortalama uzunluğunda, belirgin bir artışa neden oldu. Artışlar 10 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonuna kadar devam etti ve 10 $\mu\text{g/g}$ 'de en yüksek hipokotil boyu ortalama uzunluğuna ulaşıldı. 20, 50 ve 100 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonlarında ise ortalamaya göre düşük, ancak birbirine benzer değerler elde edildi. 100 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonundan sonra ise hipokotil gelişimi gözlenmedi (Çizelge 11)

Çalışmamızda karanlık şartlarda yetiştirilen tüm serilerde elde edilen hipokotil boyu ortalama uzunluklarının fotoperyot uygulanan tüm seriler ile elde edilen değerlerden belirgin olarak yüksek olduğu görüldü. Bu durum aslında karanlık şartlarda yetiştirilen etiole bitkilerde beklenen bir özelliği (12). Ancak toksik konsantrasyonlardan itibaren etiole fideciklerin hipokotillerinde de çok belirgin büyüme inhibisyonlarına tanık olundu. Literatür incelendiğinde daha önce etiole bitkiler üzerinde ağır metal toksisitesini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için araştırmamızın sonuçları literatür bulgularıyla karşılaştırılmadı.

Bir çalışmada *N. tabacum*'un yaprak diskleri ve *Spirodela oligorrhiza*'nın tüm bileşik yaprakları 0.5 mg/ml CuSO_4 ile muamele edildiğinde etilen biyosentezinin teşvik edildiği bildirilmektedir [18]. *In vitro* şartlarda domates bitkisinde yapılan bir başka 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 [19]. Bilindiği gibi etilen bitki metabolizmasında daha çok inhibe edici etkileri ile tanınmaktadır. Bu iki ayrı araştırmada da bakır ve kadmiyum uygulamalarına bağlı olarak etilen biyosentezinin teşvik edilmesi, bizim kanaatimizce tüm bitkilerde bakır ve kadmiyum toksisitelerine bağlı olarak ortaya çıkan büyüme inhibisyonlarını açıklamada yardımcı olacaktır.

Çalışmamızda *L. esculentum* cv. H-2274 ve İ-40 fideciklerinin hipokotillerinde özellikle 100 $\mu\text{g/g}$ bakır konsantrasyonundan itibaren koyu kırmızı-mor renkli antosiyanin pigmentasyonuna tanık olundu; pigmentasyonun özellikle hipokotillerin tabana yakın bölgelerinde, sınırlı bir alanda lokalize olduğu görüldü. Tütün genotiplerinde ise antosiyanin pigmentasyonuna işaret eden herhangi bir renk değişimi gözlenmedi. Bakırın toksik etkisinin daha çok diğer metal iyonları özellikle demiri fizyolojik bakımdan önemli yerlerden uzaklaştırmasından kaynaklandığı [1] ve topraktaki fazla bakır içeriğinin tipik şekliyle klorosis olarak bilinen demir eksikliğine neden olduğu belirtilmektedir [20]. Buğdayda yapılan bir çalışmada bakır verilmeyen bitkilerin tohum ekiminden 14 gün sonra genç yapraklarda bakır noksanlığı klorosis gösterdikleri ve ekimden 27 gün sonra da yaprak uçlarının kuruduğu, bakırın yapraklara pülverize edilmesiyle başlangıçta klorosis ve nekrotik lekelere ve yapraklarda gevşekliğe neden olduğu, fakat bitkilerin bu etkileri telafi edebildikleri bildirilmektedir [17]. Bizim çalışmamızda gerek domates ve gerekse tütün bitkilerinin bakır uygulanan genotiplerinde tipik klorosis semptomları gözlenmedi. Literatürde bizim çok genç domates fideciklerinde bakır uygulamalarında tespit ettiğimiz antosiyanin pigmentasyonuna işaret eden herhangi bir çalışmaya rastlanmadı. Her iki bitki türünün karanlıkta yetiştirilen serilerinde ise fotoperyot uygulanan serilerinden tamamen farklı bir durum gözlemlendi.

Domates ve tütün fideciklerinin karanlık şartlarda yetiştirilen serilerinde hipokotillerin beyaz renkli oldukları, her ne kadar fotoperyot uygulanan serilerin hipokotillerinden boyca daha uzun bir gelişme gösterecekler de, hipokotillerin zayıf ve kırılğan yapıda oldukları belirlendi. Ayrıca karanlıkta yetiştirilen tüm serilerde kotiledonların fotoperyot uygulanan serilere nazaran daha zayıf gelişme gösterdikleri, karanlık şartlarda yeterince klorofil sentezi olmadığı için kotiledonların çok açık yeşil-sarı renkli oldukları saptandı. Literatür incelendiğinde bakır zehirlenmesini etiole bitkilerde araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için literatür bulguları ile bizim sonuçlarımız arasında bir değerlendirme yapma imkanı bulunamadı.

Quariti vd., kadmiyum yada bakır içeren besin çözeltilerinde gelişmeye terk edilen 17 gün yaşlı domates fideciklerinde uygulanan metal konsantrasyonlarındaki artışlarla birlikte fideciklerinde bakır ve kadmiyum içeriklerinin arttığını, birikimin köklerde primer yapraklardan daha yüksek olduğunu gözlemişlerdir [3]. *Lavandula angustifolia*'da toprak ve havadaki ağır metal kirliliğine bağlı olarak, bitki organlarındaki ağır metal birikimlerini inceleyen bir çalışmada bakırın en fazla köklerde birikim gösterdiği, bunu yapraklar, çiçek durumları ve gövdeler ile elde edilen düşük, ancak birbirine benzer değerlerin takip ettiği belirtilmektedir [21]. Alva ve Chen bazı *Citrus* fiderlerinde, uygulanan bakır konsantrasyonlarındaki artışlara bağlı olarak sürgün ve kök kuru ağırlıklarının önemli ölçüde azaldığını, buna karşın her iki bitki organındaki bakır konsantrasyonlarının artış gösterdiğini ve doku bakır konsantrasyonundaki artışın köklerde sürgünlerden çok daha dikkat çekici olduğunu gözlemişlerdir [22]. Rhoads v.d. ise domates bitkisinde doku bakır konsantrasyonunun her zaman bakır toksisitesini yansıtmayacağını iddia etmektedirler [14]. Bizim çalışmamızda bakır uygulanan *L. esculentum* cv. H-2274 fideciklerinde yalnızca 200 µg/g bakır konsantrasyonunda köklerde Cu⁺² birikimlerine tanık olunurken, kontrol grup dahil 200 µg/g 'e kadar olan diğer serilerde Cu⁺² katyonu saptanamadı. Testalarda ise 100 ve 200 µg/g bakır konsantrasyonlarında önemli birikimler söz konusu idi. İ-40 genotipinde fideciklerde bakır birikimi belirlenemezken, testalarda yalnızca 200 µg/g bakır uygulamasında Cu⁺² katyonu tespit edilebildi. *N. tabacum* cv. Karabağlar ve Taşova fideciklerinin kökçük, hipokotil, kotiledon ve testalarında ise Cu⁺² katyonu saptanamadı.

Sonuç olarak; çalışmamızın *L. esculentum* ve *N. tabacum* türlerinde çimlenme yüzdeleri, fideciklerde metal iyonlarının birikimi, kökçük, hipokotil, kotiledon ve ek kök gelişimleri gibi inceleme kapsamına alınan tüm morfolojik ve fizyolojik parametrelerde bakır uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkan değişimlerin değerlendirilmesinde genotip etkisini ortaya koymuş olması yanında bakırın fitotoksik etkilerini ilk kez etiole bitkilerde göstermiş olması nedeniyle de bu sahada yapılan araştırmalara önemli bir katkısı olacağı inancındayız.

Teşekkür

İstatistiksel çalışmalarda yardımcı olan Doç.Dr. Selma Metintaş'a, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre Cihazı ile katyon tayininde yardımcı olan Bilim Uzmanı Aslan Teker'e ve kimyasal hesaplamalardaki katkılarından dolayı Yrd.Doç.Dr. Temir Ali Demir ve Yrd.Doç.Dr. Necmettin Caner'e teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] M. Aktaş, "Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları., (1991).
- [2] S. Bozcuk, "Bitki Fizyolojisi", Hatipoğlu Yayınevi, Ankara., (1997).
- [3] O. Quariti, N. Boussama, M. Zarrouk, A. Cherif and M.H. Ghorbal, "Cadmium and copper induced changes in tomato membrane lipids", *Phytochemistry.*, 45, 7, 1343-1350 (1997).
- [4] L. Purnhauser and G. Gyulabi, "Effect of copper on shoot and root regeneration in wheat, triticale, rape and tobacco tissue cultures", *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 35, 2, 131-139 (1993).
- [5] S.B. Garcia, L.A. Roig and V. Moreno, "Enhancement of morphogenetic response in cotyledone-derived explants of *Cucumis melo* induced by copper ion", *Acta Horticulturae*, 289, 229-230 (1991).
- [6] W.Y. Han, Y.W. Xu and B.H. Wu, "Effects of Cu and Zn on the development and physiological metabolism of tea plants I. Effect of Cu on the growth of tea plants", *Journal of Tea Science*, 13,2, 101-108 (1993).
- [7] P. Chongpraditnum, S. Mori and M. Chino, "Excess copper induces a cytosolic Cu, Zn-superoxidedismutase in soybean root", *Plant and Cell Physiology*, 33, 3, 239-244 (1992).
- [8] B. Kacar, "Bitki Besleme", Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara (1984).
- [9] G. Ouzounidou, I. Ilias, H. Tranopoulou and S. Karataglis, "Amelioration of copper toxicity by iron spinach physiology", *Journal of Plant Nutrition*, 21, 10, 2089-2101 (1998).
- [10] Ö. Seçmen, Y. Gemici, G. Görk, L. Bekat, E. Leblebici, "Tohumlu Bitkiler Sistematığı", Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, İzmir (1995).
- [11] F. Yaltrık, A. Efe, "Otsu Bitkiler Sistematığı", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul (1989).
- [12] D. Başaran, "Modern Genel Botanik", Dicle Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları, Diyarbakır (1991) [13]. E.F. Gilman and R.J. Beeson, "Copper hydroxide affects root distribution of *Ilex cassine* in plastic containers", *Hort. Technology*, 5, 1, 48-49 (1995).
- [14] F.M. Rhoads, S.M. Olson and A. Manning, "Copper toxicity in tomato plants", *Journal of Environmental Quality*, 18, 2, 195-197 (1989).
- [15] E. J. Sun and F.Y. Wu, "Along vein necrosis as indicator symptom on water spinach caused by nickel in water culture", *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 39, 4, 255-259 (1998).
- [16] L.V. Lyanguzova, "Effects of nickel and copper on bilberry seed germination and seedling development", *Russian Journal of Plant Physiology.*, 46, 3, 431-433 (1999).
- [17] N. Longnecker, J. Slater, A. Robson and N.J. Barrow, "Copper supply and the leaf emergence rate of spring wheat", *Plant Nutrition from Genetic Engineering to Field Practice, Proceedings of the Twelfth International Plant Nutrition Colloquium, Perth, Western Australia*, 673-675 (1993).
- [18] A.K. Mattoo, R.A. Mehta and J.E. Baker, "Copper-induced ethylene biosynthesis in terrestrial (*Nicotiana tabacum*) and aquatic (*Spirodela oligorrhiza*) higher plants", *Phytochemistry*, 31, 2, 405-409 (1992).
- [19] B. Pezzarossa, L. Lubrano, G. Petruzzelli and P. Tonutti, "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).
- [20] M. Kılıç, "Toprak kirliliği", *Cumhuriyet Üniversitesi Fen bilimleri Dergisi*, 3, 111-129 (1985).
- [21] V.D. Zheljzkov and N.E. Nielsen, "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).
- [22] A.K. Alva and E.Q. Chen, "Effects of external copper concentrations on uptake of trace elements by *Citrus* seedlings", *Soil Science*, 159,1, 59-64 (1995).