

Farklı Dozlarda Uygulanan Ağır Metallerin *In Vitro* Koşullarda Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisi Gelişimi Üzerine Etkilerinin Belirlenmesi

Ecem KARA¹, Meliha Feryal SARIKAYA¹, Yeter ÇİLESİZ², Faruk AKKAŞ¹, Tolga KARAKÖY², Gökhan BAKTEMUR^{1*}

¹Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Sivas

²Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Sivas

*Sorumlu Yazar: gbaktemur@gmail.com

Geliş Tarihi: 07.07.2022 Düzeltme Geliş Tarihi: 19.08.2022 Kabul Tarihi: 19.08.2022

Öz

Çalışma süresince, gıda güvenliğini tehdit eden ağır metallerin *in vitro* koşullarda biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinin gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, beş farklı konsantrasyonda yedi değişik ağır metal, MS (Murashige ve Skoog 1962) besin ortamına eklenmiştir. Kullanılan ağır metaller kadmiyum (Cd), kobalt (Co), nikel (Ni), alüminyum (Al), kurşun (Pb), krom (Cr), bakırdır (Cu) içerisinde hiç ağır metal bulunmayan ortam kontrol grubunu oluşturmuş ve diğer ortamlar 100 µM, 200 µM, 300 µM, 400 µM ve 500 µM konsantrasyonunda ağır metal içerecek şekilde hazırlanmıştır. Çalışma süresince, tohum gelişimi, yaprak sayısı, kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu parametreleri incelenmiştir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, artan konsantrasyonlarda kobaltın tohum gelişiminden başlayarak, yaprak sayısı, kök gelişimi ve sürgün gelişimi üzerinde durdurucu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Kromun 500 µM konsantrasyonu tohum gelişimi açısından faydalı olmuştur. Yaprak sayısı, kök ve sürgün gelişimi açısından, kromun artan konsantrasyonları, hiç krom içermeyen kontrol grubuyla kıyaslandığında aralarında fark bulunmamıştır. Krom ağır metalinin biber bitkisinde büyüme ve gelişmeyi etkilemediği önemli bir sonuçtur. Kurşunun artan konsantrasyonlarına bitki içerisinde bulunduğu fizyolojik büyüme dönemine göre farklı tepkiler vermiştir. Çalışma sonuçları, ağır metallerin zarar boyutunun bitkinin içerisinde bulunduğu gelişme dönemine, ağır metalin cinsine ve ortamda bulunan konsantrasyonuna göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Biber, Ağır metal, *In vitro*, *Capsicum annuum*

Determination The Effects of Heavy Metals Applied at Different Doses in *In Vitro* Conditions on the Development of Pepper (*Capsicum annuum*) Plant

Abstract

During the study, the effects of heavy metals, which threaten food safety, on the growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) plant under *in vitro* conditions were investigated. Within the scope of the study, seven different heavy metals at five different concentrations, were added to the MS (Murashige and Skoog 1962) nutrient medium. The heavy metals used are cadmium (Cd), cobalt (Co), nickel (Ni), aluminum (Al), lead (Pb), chromium (Cr), copper (Cu). It is prepared to contain heavy metals at concentrations of µM, 200 µM, 300 µM, 400 µM and 500 µM. During the study, seed development germination rate, number of leaves, root length and shoot length parameters were investigated. When the results of the study were evaluated, it was determined that increasing concentrations of cobalt had a stopping effect on the number of leaves, root development and shoot development, starting from seed development. 500 µM concentration of chromium was beneficial for seed development. In terms of leaf number, root and shoot development, there was no difference between increasing concentrations of chromium when compared to the control group containing no chromium. It is an important result that chromium heavy metal does not affect the growth and development of pepper plants. The plant gave different responses to increasing concentrations of lead according to the physiological growth

period in which it was found. The results of the study revealed that the damage rate of heavy metals differs according to the development period of the plant, the type of heavy metal and its concentration in the medium.

Key words: Pepper, Heavy metal, In vitro, *Capsicum annuum*.

Giriş

Artan dünya nüfusu ve küresel iklim değişikliği ile birlikte doğal kaynakların korunarak insanların ihtiyaçları dahilinde yeterli gıda üretimini sağlamak önemli bir konudur. Küresel iklim değişikliği kapsamında sıcaklığın artması, yağışın ve elverişli suyun azalması gibi ekolojik değişimler bitkisel üretimde verimliliği azaltmaktadır. Bununla birlikte diğer abiyotik (tuzluluk, ağır metaller, su fazlalığı gibi) ve biyotik (virüs, bakteri, mantar, yabancı ot gibi) stres faktörleri bitkisel üretimde %70'e varan verim kayıplarına neden olmaktadır (Vorasoot ve ark., 2003; Kaur ve ark., 2008; Thakur ve ark., 2010; Mantri ve ark., 2012; Parvaiz ve ark., 2012). Özellikle endüstriyel gelişme ile toprak ağır metallerle kirlenmekte, dolayısıyla bitkilerde verim ve kalite kayıpları meydana gelmektedir (Michalak, 2006).

Ağır metaller yoğunluğu 5 ve 6 g cm⁻³ olan kadmiyum, krom, civa, kurşun, alüminyum ve gümüş gibi elementlerdir. Bu elementlerden bazıları (bakır, çinko, mangan) bitki metabolizması için gerekli iken bazılarının (kadmiyum, kurşun, nikel, kurşun, krom) bilinen herhangi bir işlevi bulunmamaktadır (Okçu ve ark., 2009). Kökler vasıtasıyla alınıp transpirasyon ile bitki dokularına taşınan ağır metaller, bitki metabolizmasının bozulmasına sebep olmaktadır. İyon dengesinin bozulması, CO² alımının azalması, su ve besin elementlerinin alınmaması veya sürgünlere taşınmaması (Bartels ve Sunkar, 2005) gibi çeşitli etkiler ile fotosentez olayını olumsuz etkilemekte nihayetinde ağır metal içeren topraklarda yetişen bitkilerin biokütle üretimi azalmaktadır. Aynı zamanda ağır metallerin biyolojik olarak parçalanmaması, besin zinciri yoluyla insan sağlığını da tehdit etmektedir.

Biber (*Capsicum annuum* L.) ekonomik olarak önemli olan Solanaceae familyasına ait tek yıllık bir bitkidir (Khan ve ark., 2006). A, C, E vitaminleri, antioksidan (fenolikler, karotenoidler ve flavonoidler) yönünden zengin içeriğe sahip olması sebebi ile besin değeri yönünden değerli bir bitkidir (Palevitch ve Craker, 1996; Thuphairo ve ark., 2019) Ancak çevresel stres koşulları biberin verim ve kalitesini olumsuz etkilemektedir.

Sanayileşme ve modern tarım uygulamaları ile ağır metallerin rizosferde ve yer altı sularında artan konsantrasyonları ekosisteme zarar vermektedir. Bu durumun sürdürülebilir uygulamalar ile giderilebilmesi için ağır metallerin farklı konsantrasyonlarının bitkilerde gelişim aşamalarına ve organlarına etkilerini anlamak için araştırmalar yapılması gerekmektedir. Bu çalışmanın amacı; *in vitro* koşullarda biber tohumlarına uygulanan farklı ağır metal ve dozlarının çimlenme ve bitki gelişimi üzerine etkilerinin araştırılmasıdır.

Materyal ve Metot

Çalışma, Cumhuriyet Teknokent bünyesinde kurulmuş olan AgroGeneTech bitki doku kültürü laboratuvarında 2022 yılında yürütülmüştür. Araştırmada bitkisel materyal olarak Maraş-1 çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada kadmiyum, kobalt, nikel, alüminyum, kurşun, krom ve bakır olmak üzere yedi farklı ağır metal ve bunların kontrol (0 µM), 100 µM, 200 µM, 300 µM, 400 µM ve 500 µM konsantrasyonları kullanılarak besin ortamları hazırlanmıştır (Çizelge 1). Besin ortamı olarak Murashige ve Skoog (MS) kullanılmış ve karbon kaynağı olarak sakkaroz, katılaştırmak için ise agar ilave edilmiştir. Besin ortamının pH'sı, NaOH ve HCl ile 5.8 olarak ayarlanmıştır. Besin ortamları 121°C sıcaklıkta, 1.2 atmosfer basınçta 15 dakika boyunca otoklav ile steril edilmiştir. Sterilizasyon sonrası ortamlar steril kabin içerisinde ¾'ü dolu olacak şekilde petrilere dökülmüştür. Petriler içerisindeki ortam soğuyup katılaşıncaya kadar steril kabin içerisinde bekletilmiştir. Çalışmada kullanılan biber tohumları % 20'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 20 dakika bekletilerek steril hale getirilmiştir. Bu süre sonunda steril saf su ile 4-5 defa çalkalanarak materyaller hipoklorit çözeltisinden arındırılmıştır. Sterilize edilen tohumların, steril kabin içerisinde pens ve bisturi yardımı ile daha önce hazırlanmış olan 90 mm'lik petrilere her petri de 10 tohum olacak şekilde tohum ekimi yapılmıştır. Ekimi tamamlanan tohumlar 25 ± 2°C sıcaklık ve 3.000 lüks' lük ışık altında 16 saat aydınlık 8 saat karanlık olacak şekilde bitki büyütme odasında bekletilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ortamlar ve sembolleri

Konsantrasyonlar	Kontrol	100 µM	200 µM	300 µM	400 µM	500 µM	Ağır Metal
Adlandırma	Cd-K	Cd-1	Cd-2	Cd-3	Cd-4	Cd-5	Kadmiyum
	Co-K	Co-1	Co-2	Co-3	Co-4	Co-5	Kobalt
	Ni-K	Ni-1	Ni-2	Ni-3	Ni-4	Ni-5	Nikel
	Al-K	Al-1	Al-2	Al-3	Al-4	Al-5	Alüminyum
	Cu-K	Cu-1	Cu-2	Cu-3	Cu-4	Cu-5	Bakır
	Cr-K	Cr-1	Cr-2	Cr-3	Cr-4	Cr-5	Krom
	Pb-K	Pb-1	Pb-2	Pb-3	Pb-4	Pb-5	Kurşun

Çalışmada Yapılan Ölçümler

Gelişen Tohum Sayısı (GTS): Tohum ekiminden bir ay sonra gerçekleşen çimlenme ve kotiledon sayısı % olarak belirlenmiştir.

Yaprak Sayısı (YS): Her bitkide, yaprak oluşumlarının sayılmasıyla adet olarak hesaplanmıştır.

Kök Uzunluğu (KU): Her bitkide oluşan kökler cm olarak ölçülmesiyle belirlenmiştir.

Sürgün Uzunluğu (SU): Her bitkide oluşan sürgünlerin cm olarak ölçülmesiyle bulunmuştur. Ölçümlerin tamamı tohum ekiminden bir ay sonra gerçekleştirilmiştir.

İstatistiksel analiz

Deneme, Tesadüf Parselleri Deneme Deseni'ne göre 4 tekerrürlü ve her bir tekerrürde 5 petri olacık şekilde yürütülmüştür. ANOVA testi için JMP 8. 0. 1 istatistik paket programı kullanılmıştır. Farklılığın istatistiksel olarak önemli olduğu verilere, LSD testi uygulanarak harflendirme yapılmıştır.

Bulgular ve Tartışma

Kadmiyumun (Cd) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Kadmiyum eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir. Buna göre Kadmiyumun ortamda bulunan miktarı arttıkça tohum gelişiminde azalma olduğu istatistiksel olarak dikkat çekmiştir. Tohum gelişimi en fazla kontrol grubunda (%50.76), en az Cd-4 (%19.48) ve Cd-5 (%16.64) ortamlarında gerçekleşmiştir. Kadmiyumun 400 µM ve 500 µM konsantrasyonunun çimlenmeyi engellediği tespit edilmiştir. Baran ve ark. (2022)'nin çalışmalarında,

500 µM kadmiyumun hıyar tohumlarının çimlenme oranını arttırdığı tespit edilmiştir. Sevim ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, sorgum tohumlarının 200 µM kadmiyum ağır metaline maruz kaldığında çimlenin olumlu etkilendiği bildirilmiştir. Sorgum üzerine yapılan bir başka çalışmada, kadmiyumun artan konsantrasyonlarının çimlenme oranı üzerine etkisinin önemli olmadığı tespit edilmiştir (Ertekin ve ark., 2020). *H. vulgare* bitkisi üzerine yapılan bir çalışmada ise kadmiyum artan konsantrasyonlarının çimlenmeyi engelleyici etkisinin olduğu dikkat çekmiştir (Nouri ve ark., 2019). Yetiştiricilik ortamında bulunan kadmiyumun bitkide oluşan yaprak sayısı üzerine etkisi incelendiğinde, en fazla yaprak oluşumunun hiç kadmiyum içermeyen kontrol grubunda (5.60 adet) olduğu dikkat çekmektedir. Yaprak oluşumu en az olan ortamlar, 400 µM ve 500 µM kadmiyum içeren Cd-4 (2.00 adet) ve Cd-5 (2.00 adet) ortamları olmuştur. Kadmiyumun ortamda bulunan konsantrasyonu arttıkça bitkide yaprak oluşumu azalmaktadır. Sevim ve ark. (2022)'nin çalışmalarında sorgum bitkisinde hiç kadmiyum içermeyen kontrol grubunda yaprak sayısının en yüksek olduğunu bildirilmiştir. 400 µM ve 500 µM kadmiyum içeren ortamlarda ise hiç yaprak oluşumu gerçekleşmemiştir. Çalışma sonuçları, bu çalışmadaki bulguları destekler niteliktedir. Bu çalışmada da 400 µM ve 500 µM kadmiyum konsantrasyonları biber bitkisinin gelişimini baskılamıştır. Biber bitkisinin yetiştirildiği besin ortamında bulunan kadmiyumun farklı dozlarının bitki kök gelişimi üzerine etkileri incelendiğinde, en uzun köklü bitki kontrol grubundan (9.76 cm) elde edilmiştir. Bunu Cd-1 (7.18 cm) ve Cd-2 (5.26 cm) ortamları izlemiştir. 400 ve 500 µM konsantrasyonunda hazırlanan Cd-4 ve Cd-5

ortamlarında kök gelişiminin oldukça düşük olduğu dikkat çekmektedir. Bu çalışmayla birlikte, biber yetiştiriciliğinde 300 μM ve üzeri konsantrasyonlarda kadmiyumun kök gelişimini baskıladığı ortaya çıkmıştır. Literatürde, artan kadmiyum konsantrasyonlarının *H. vulgare* ve *H. distichum*'un kök gelişimini baskıladığı bildirilmiştir (Nouri ve ark., 2019). Yapılan farklı bir çalışmada ise 400 ve 500 μM konsantrasyonlarında kadmiyumun hıyar (Baran ve ark., 2022) ve sorgum (Sevim ve ark., 2022) bitkisinde kök gelişimini sınırladığı tespit edilmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki kadmiyumun biber bitkisinin sürgün uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, en

uzun sürgün oluşumunun görüldüğü ortam kontrol grubu (3.86 cm) olmuştur. Bunu Cd-1 (2.96 cm), Cd-2 (2.74 cm) ve Cd-3 (2.36 cm) ortamları izlemiştir. Sürgünleri en kısa bitkiler Cd-5 (1.44) ortamında görülmüştür. Çalışma boyunca incelenen diğer parametrelerde de olduğu gibi, kadmiyumun artan konsantrasyonları sürgün gelişimini engellemiştir. Yapılan önceki çalışmalar incelendiğinde, 400 ve 500 μM konsantrasyonunda kadmiyumun, hıyarda (Baran ve ark., 2022) ve sorgumda (Sevim ve ark., 2022) sürgün gelişimini baskıladığı dikkat çekmiştir.

Çizelge 2. Değişik dozlarda kadmiyum eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Cd-K	50.76 A	5.60 A	9.76 A	3.86 A
Cd-1	22.53 C	3.80 B	7.18 B	2.96 AB
Cd-2	33.29 B	3.60 B	5.26 C	2.74 B
Cd-3	32.30 B	3.60 B	2.74 D	2.36 B
Cd-4	19.48 D	2.00 C	1.16 DE	2.08 BC
Cd-5	16.64 E	2.00 C	0.42 E	1.44 C
	LSD***: 1.42	LSD***: 1.32	LSD***: 1.59	LSD***: 0.90

1. Aynı sütunda aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar önemli bulunmuştur.

2. Ö.D., Önemli değil; *. $P < 0.05$. ** $p \leq 0.01$. *** $p \leq 0.001$ 'i ifade etmektedir. GTS: Gelişen Tohum Sayısı, YS: Yaprak Sayısı, KU: Kök Uzunluğu, SU: Sürgün Uzunluğu

Kobaltın (Co) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda kobalt eklenerek hazırlanan ortamlara ekilen biber tohumlarının gelişim durumu üzerine yapılan ölçüm sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Gelişen tohum sayısı incelendiğinde, en yüksek oran Co-2 (%24.50) ortamından elde edilmiştir. Bunu Co-K (%14.60), Co-5 (%14.21), Co-1 (%14.14) ve Co-4 (%13.55) ortamları izlemiştir. Bu ortamlar istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve aralarındaki fark önemsiz bulunmuştur. Kobalt ağır metalinin çimlenme üzerine etkisi hakkında literatür incelendiğinde, hıyar (Baran ve ark., 2022), sorgum (Sevim ve ark., 2022) ve inci darı (*Pennisetum glaucum*), (Gangaiah ve ark., 2013) bitkilerinde artan konsantrasyonlarda çimlenme oranının düştüğü dikkat çekmiştir.

Kobaltın artan konsantrasyonlarının bitkide yaprak oluşumu üzerine etkileri incelendiğinde, en fazla yaprak oluşumu Co-2 (6.80 adet) ortamındaki bitkilerden elde edilmiştir. Diğer ortamların tamamı istatistiksel olarak aynı grupta

yer alsada kontrol grubu (4.60 adet) ile Co-5 (2.80 adet) ortamları arasındaki fark dikkat çekmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, Sevim ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmayı destekler niteliktedir. Sorgum bitkisinde yapılan çalışmada da 100 ve 200 μM konsantrasyonlarında kobaltın yaprak oluşumunu teşvik ettiği bildirilmiştir.

Kök uzunluğu üzerinde kobaltın farklı konsantrasyonlarının etkisi incelendiğinde, Co-2 (9.42 cm) ortamı dikkat çekmektedir. Bunu Co-1 (7.68 cm) ve Co-K (6.82 cm) ortamları izlemektedir. 300 μM ve üzerindeki kobalt konsantrasyonları kök uzunluğunu baskı altına almaktadır. Literatüre göre, hıyar (Baran ve ark., 2022) ve sorgumda da (Sevim ve ark., 2022) 300 μM ve üzerindeki kobalt konsantrasyonları kök gelişimini olumsuz etkilemektedir.

Çalışmada kobaltın biber bitkisinde sürgün gelişimi üzerine etkileri incelendiğinde, en uzun sürgünü oluşturan bitkiler Co-2 (3.72 cm) ortamından elde edilmiştir. Bunu sırasıyla Co-K (2.88 cm) ve Co-1 (2.36 cm) ortamları izlemiştir. Diğer parametreler gibi sürgün uzunluğu da 300

μM ve üzeri dozlardan olumsuz etkilenmiş ve gelişme baskı altına alınmıştır. Çalışma sonuçları literatür ile kıyaslandığında benzer sonuçlar elde edilmiştir. İngiliz çimi ve kırmızı yumak üzerine yapılan bir çalışmada, 100 mg L^{-1} ve üzerindeki kobalt konsantrasyonlarının fide gelişimini sınırlandırdığı tespit edilmiştir (Taghizadeh ve Solgi, 2017). Kobaltın artan konsantrasyonlarının, arpa (*Hordeum vulgare* L.), yağlı tohumlu kolza (*Brassica napus* L.) ve domates (*Lycopersicon esculentum* L.) üzerinde toksik etkisinin bulunarak bitkinin sürgün

büyümesini sınırlandırdığı bildirilmiştir (Li ve ark., 2009). Hıyar (Baran ve ark., 2022) ve sorgum (Sevim ve ark., 2022) çalışmalarında da aynı şekilde kobaltın artan konsantrasyonlarının sürgün gelişimini olumsuz etkilediği belirtilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, $200 \mu\text{M}$ kobalt biber bitkisinde tohum gelişimini, yaprak sayısını, kök ve sürgün uzunluğunu olumlu yönde etkilemektedir. $300 \mu\text{M}$ ve üzeri dozlarda çimlenme ve bitki oluşumunu engelleyici etkide bulunmaktadır.

Çizelge 3. Değişik dozlarda kobalt eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Co-K	14.60 B	4.60 B	6.82 B	2.88 B
Co-1	14.14 B	4.40 B	7.68 AB	2.36 BC
Co-2	24.50 A	6.80 A	9.42 A	3.72 A
Co-3	5.42 C	3.40 B	2.38 C	1.94 C
Co-4	13.55 B	3.20 B	2.06 C	2.06 C
Co-5	14.21 B	2.80 B	2.30 C	1.98 C
	LSD***: 1.31	LSD**: 1.81	LSD***: 2.30	LSD***: 0.79

Nikelin (Ni) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Beş farklı konsantrasyonda nikel eklenerek hazırlanan besin ortamlarının kontrol grubuna göre kıyaslaması Çizelge 4'te verilmiştir. Nikelin konsantrasyon artışı tohum gelişimi üzerinde olumlu etkilere neden olmuştur. En fazla çimlenme ve kotiledon oluşumu Ni-5 (%20.64) ortamında gerçekleşmiştir. Bunu sırasıyla, Ni-2 (% 17.34), Ni-1 (%14.64) ve Ni-4 (%13.42) ortamları izlemiştir. Tohum gelişiminin en yavaş olduğu ortam kontrol grubu (%7.61) olarak tespit edilmiştir. Nikelin belirli dozlarının tohum gelişimini teşvik ettiği dikkat çekmektedir. Nikelin bitki gelişimi üzerine etkileri ile ilgili literatür incelendiğinde, 100 ppm konsantrasyonunun nohut bitkisinin büyüme ve gelişimi üzerine etkisinin bulunmadığı bildirilmiştir (Khan ve ark., 2006). Yapılan başka bir çalışmada, aynı şekilde farklı konsantrasyonlarda nikelin hıyar tohumlarının çimlenmesi üzerine etki etmediği dikkat çekmiştir (Baran ve ark., 2022). $300 \mu\text{M}$ nikel konsantrasyonu *in vitro* koşullarda ekimi yapılan sorgum tohumlarının çimlenme oranını arttırmıştır (Sevim ve ark., 2022).

Artan konsantrasyonlarda nikelin bitkide oluşan yaprak sayısına etkisi incelendiğinde, Ni-2 (5.40 adet) ve Ni-1 (5.20 adet) ortamlarının en yüksek oranda yaprak oluşturduğu ve aynı grupta

yer aldığı gözlemlenmiştir. Diğer ortamların tamamında yaprak oluşumu düşük olup, istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Literatüre göre, sorgum bitkisinin yaprak sayısı üzerine $100 \mu\text{M}$ nikel konsantrasyonu olumlu etkilerde bulunurken, farklı konsantrasyonları yaprak sayısını azaltıcı etkide bulunmuştur (Sevim ve ark., 2022).

Çizelge 4'e göre, kök gelişiminin farklı konsantrasyonlarda nikel verildiği tepki incelenecek olursa, en iyi gelişim 6.46 cm ve 6.28 cm ile sırasıyla Ni-2 ve Ni-1 ortamlarından elde edilmiştir. Bunu 3.66 ile kontrol grubu takip etmiştir. Ni-3 (0.60 cm), Ni-4 (0.50 cm) ve Ni-5 (0.42 cm) ortamları takip etmiş ve istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. $300 \mu\text{M}$ ve üzeri konsantrasyonlarda nikelin, bitki kök gelişimini baskıladığı tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Hıyar bitkisinde $400 \mu\text{M}$ nikel konsantrasyonu kök gelişimi açısından en iyi sonucu verirken (Baran ve ark., 2022), sorgum bitkisinde kontrol grubunda en iyi kök uzunluğuna ulaşılmıştır (Sevim ve ark., 2022). Sorgum ile yapılan bir başka çalışmada ise 400 ppm 'e kadar nikelin toksik etki oluşturmadığı ancak bunun üzerindeki konsantrasyonların büyüme ve gelişmeyi olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Kökten ve ark., 2019).

Çalışmada nikelin sürgün uzunluğu üzerine etkisi incelendiğinde, en uzun sürgünlerin olduğu ortam Ni-1 (2.62 cm) olarak belirlenmiştir. Bunu sırasıyla Ni-2 (2.40 cm), Ni-3 (1.80 cm) ve Ni-4 (1.70 cm) ortamları takip etmiştir. Sürgün gelişimi en düşük olan ortamın, Ni-5 (1.48) olduğu dikkat çekmiştir. 500 μM konsantrasyonunda nikel, bitkinin sürgün gelişimi üzerinde inhibitör etki oluşturmuştur. Literatüre göre, nikelin farklı dozlarının hıyar bitkisinin sürgün gelişimi üzerine etkisinin olmadığı dikkat çekmiştir (Baran ve ark., 2022). Sorgum bitkisinde, 200 μM konsantrasyona

kadar olumlu etkinin olduğu ancak 200 μM 'den fazla konsantrasyonların sürgün gelişimini olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Sevim ve ark., 2022). Nohut (*Cicer arietinum*) bitkisi ile yapılan bir başka çalışmada ise, nikelin artan konsantrasyonlarının bitkide kök ve sürgün gelişimini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir (Khan ve Khan, 2010).

Çalışmaya göre, 300 μM ve üzeri konsantrasyonlar, nikel bitkisinde yaprak oluşumu ve kök gelişimi üzerine engelleyici etki oluşturmuştur. Bitki kökleri gelişip yayılmadığı için yaprak oluşumu ve gelişimi de sağlanamamıştır.

Çizelge 4. Değişik dozlarda nikel eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Ni-K	7.61 E	2.40 B	3.66 B	1.56 C
Ni-1	14.64 C	5.20 A	6.28 A	2.62 A
Ni-2	17.34 B	5.40 A	6.46 A	2.40 AB
Ni-3	8.52 E	2.40 B	0.60 C	1.80 BC
Ni-4	13.42 D	2.40 B	0.50 C	1.70 BC
Ni-5	20.64 A	2.40 B	0.42 C	1.48 C
	LSD***: 0.96	LSD***: 1.27	LSD***: 2.23	LSD*: 0.71

Alüminyumun (Al) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Alüminyum eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen biber bitkisinin gelişim durumu Çizelge 5'de verilmiştir. Tohum gelişiminin en fazla olduğu ortam %25.65 ile Al-1 ortamı olmuştur. Bunu %20.40 ile Al-3, %19.41 ile Al-K ve %15.61 ile Al-4 ortamı takip etmiştir. 500 μM alüminyumun tohum çimlenme ve gelişimini engellediği dikkat çekmektedir. Alüminyumun bitkiler üzerindeki etkileriyle ilgili literatür incelendiğinde, artan konsantrasyonlarının hıyar tohumlarının çimlenme oranını düşürdüğü dikkat çekmiştir (Baran ve ark., 2022). Sorgum tohumları üzerinde ise farklı etkileri olmuştur. 100, 200, 400 ve 500 μM konsantrasyonlarında alüminyum içeren ortamlardaki tohumların çimlenme oranının oldukça yüksek olduğu bildirilmiştir (Sevim ve ark., 2022).

Alüminyumun yaprak oluşumu üzerine etkisi incelendiğinde, en fazla yaprak oluşumunun kontrol grubunda (5.80 adet) olduğu gözlemlenmiştir. Bunu 5.00 adet ile Al-1 ve 3.00 adet ile Al-2 ortamları izlemiştir. 500 μM alüminyum içeren Al-5 ortamındaki bitkilerde yaprak oluşumunun görüldüğü dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar literatür ile

kıyaslandığında farklılıklar olduğu dikkat çekmektedir. Sevim ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, 400 μM 'a kadar alüminyumun yaprak gelişimini teşvik ettiği bildirilmiştir.

Kök gelişiminin farklı konsantrasyonlarda alüminyuma verdiği tepki incelendiğinde, hiç alüminyum içermeyen kontrol grubundaki (7.30 cm) bitkilerin en uzun kökleri oluşturduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla Al-1 (6.74 cm), Al-2 (6.62 cm) ve Al-4 (4.96 cm) ortamları izlemiş ve istatistiksel olarak aralarında fark bulunmamıştır. Al-3 ortamından en kısa köklü bitkiler elde edilmiştir. Alüminyumun en önemli toksik etkilerinden bir tanesi de kök gelişimini engellemesidir (Aksoy ve Doğan, 2020). Bu çalışmada da 500 μM alüminyum içeren Al-5 ortamında kök gelişiminin gerçekleşmemesi literatürü destekler niteliktedir. Farklı çalışmalar incelendiğinde ise sorgum (Sevim ve ark., 2022) ve hıyar (Baran ve ark., 2022) bitkilerinde 500 μM alüminyum içeren ortamlarda kök gelişiminin sınırlandırıldığı dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar, ağır metal etkisinin bitkinin türüne göre değişebildiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Bitkilerin sürgün uzunlukları Çizelge 5'e göre değerlendirildiğinde, %3.40 ile Al-1, %2.06 ile

Al-K, %2.64 ile Al-4 ve %2.42 ile Al-2 ortamları arasında fark olmayıp, istatistiksel olarak aynı grupta yer almışlardır. En kısa sürgünlü bitkiler, 0.92 ile Al-4 ortamından elde edilmiştir. Al-5 ortamındaki tohumlarda sürgün oluşumu gerçekleşmemiştir. Baran ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, alüminyumun farklı

konsantrasyonlarının hıyar bitkisinin gelişimi üzerine etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Sevim ve ark. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada ise, alüminyumun artan konsantrasyonlarının sürgün gelişimi üzerinde engelleyici bir etkisinin olmadığı bildirilmiştir.

Çizelge 5. Değişik dozlarda alüminyum eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Al-K	19.41 C	5.80 A	7.30 A	3.06 A
Al-1	25.65 A	5.00 AB	6.74 A	3.40 A
Al-2	12.50 E	3.00 BC	6.62 A	2.42 A
Al-3	20.40 B	0.80 DE	1.06 B	0.92 B
Al-4	15.61 D	2.60 CD	4.96 A	2.64 A
Al-5	2.51 F	-	-	-
	LSD***: 0.94	LSD***: 2.18	LSD***: 2.65	LSD***: 1.37

Bakırın (Cu) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Çizelge 6'da farklı konsantrasyonlarda bakır eklenerek hazırlanan ortamlara ekilen biber tohumlarının gözlem sonuçları verilmiştir. Tabloya göre, farklı konsantrasyonlarda bakır içeren ortamlara ekilen biber tohumları, en iyi gelişimi Cu-3 ortamında gerçekleştirmiştir. Bunu sırasıyla, Cu-2 (%43.36), Cu-4 (%41.43) ve Cu-1 (31.38) ortamları izlemiştir. Tohum gelişiminin en az olduğu ortamın Cu-5 (%19.52) olduğu dikkat çekmiştir. 500 µM bakır içeren Cu-5 ortamının tohum gelişimini engellediği ortaya çıkmıştır. Aly ve Mohammed (2012) yaptıkları bir çalışmada, artan bakır konsantrasyonlarının mısır bitkisinde çimlenmeyi engellediğini tespit etmişlerdir. Bezini ve ark. (2019), yonca tohumu üzerine artan bakır konsantrasyonlarının etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, bakır konsantrasyonu arttıkça çimlenmenin azaldığı bildirilmiştir. Baran ve ark. (2022) tarafından hıyar bitkisinde yapılan bir çalışmada, bakırın farklı konsantrasyonlarının çimlenme ve gelişim üzerine etkili olmadığını bildirmiştir. Sevim ve ark. (2022) sorgum bitkisinde yaptığı bir çalışmada, bakırın 200 µM konsantrasyonunun tohum gelişimini teşvik ettiği, üzeri konsantrasyonların ise gelişimi azaltıcı etki yaptığı tespit etmiştir.

Yaprak oluşumunun farklı konsantrasyonlarda bakıra verdiği tepki incelendiğinde, Cu-2 (6.80 adet) ve Cu-1 (5.60 adet) ortamları dikkat çekmektedir. En yüksek yaprak

sayısı bu iki ortamdaki bitkilerden elde edilmiştir. Cu-4 (2.20 adet) ve Cu-5 (2.00 adet) ortamlarındaki bitkilerden az sayıda yaprak elde edilmiştir. 400 ve 500 µM bakır içeren Cu-4 ve Cu-5 ortamlarında bitki gelişiminin engellendiği ve yaprak oluşumunun baskılandığı dikkat çekmiştir. Sevim ve ark. (2022), sorgum bitkisinde yaprak oluşumunun, 400 µM ve üzeri bakır konsantrasyonlarından olumsuz etkilendiğini belirtmişlerdir.

Farklı konsantrasyonlarda bakır içeren ortamlarda en uzun köklü bitki Cu-1 (9.38 adet) ve kontrol gurubundan (8.40 adet) elde edilmiştir. Cu-3 (1.60 adet), Cu-4 (0.72 adet) ve Cu-5 (0.66 adet) ortamlarından elde edilen bitkilerin kök gelişimi ağır metal nedeniyle engellenmiş ve en kısa kök oluşumu gözlemlenmiştir. Bu üç ortam istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. 300 µM ve üzeri konsantrasyonlardaki bakır kök gelişimini baskılamaktadır. Baran ve ark. (2022)'nin, *in vitro* koşullarda farklı dozlarda bakır uyguladıkları çalışmalarında en uzun sürgünlü bitkilerin Cu-1 (4.04 cm) ve Cu-2 (3.36 cm) ortamlarından elde edildiği dikkat çekmektedir. Bunu sırasıyla Cu-K (2.8 cm) ve Cu-4 (2.08 cm) izlemiştir. En kısa sürgün uzunluğuna sahip bitkiler Cu-5 ortamından elde edilmiştir. Literatür incelendiğinde, sorgum bitkisinde bakırın artan konsantrasyonları sürgün gelişimini engelleyici etkide bulunurken (Sevim., 2022), hıyar bitkisinde 300 µM bakır sürgün gelişimini teşvik etmiştir (Baran ve ark., 2022).

Çizelge 6. Değişik dozlarda bakır eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Cu-K	27.53 E	4.80 B	8.40 A	2.98 AB
Cu-1	31.38 D	5.60 AB	9.38 A	4.04 A
Cu-2	43.36 B	6.80 A	5.94 B	3.36 A
Cu-3	49.44 A	4.20 B	1.60 C	1.80 C
Cu-4	41.43 C	2.20 C	0.72 C	2.08 BC
Cu-5	19.52 F	2.00 C	0.66 C	1.76 C
	LSD***: 0.93	LSD***: 1.52	LSD***: 1.93	LSD**: 1.17

Kromun (Cr) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Krom eklenerek hazırlanan ortamlara ekilen biber tohumlarının gelişim durumu ve oluşan bitkinin özellikleri Çizelge 7’de verilmiştir. Tohum gelişimi en fazla Cr-5 (%23.34) ortamında görülmüştür. Çalışma verilerine göre Kromun yüksek konsantrasyonları biber tohumu gelişimini teşvik etmektedir. İçerisinde hiç bakır bulunmayan Cr-K (%14.36), 400 µM konsantrasyonunda bakır bulunan Cr-4 (%14.36) ve 200 µM içeren Cr-2 (%13.41) ortamları arasında istatistiksel olarak fark

bulunmamış ve aynı grupta yer almıştır. Krom ağır metalinin farklı bitkiler üzerine etkileri incelendiğinde; 5 ile 40 mg⁻¹ konsantrasyonu yoncada (Peralta ve ark., 2001), 0.01 ile 10 mM konsantrasyonu kerevizde (Scocianti ve ark., 2006) 200 µM üzerindeki konsantrasyonu ise hıyarda çimlenmeyi engellediği dikkat çekmiştir (Baran ve ark., 2022).

Kromun farklı konsantrasyonlarının bitkide oluşan yaprak sayısı, kök uzunluğu ve sürgün uzunluğu üzerine etkisi olmadığı istatistiksel olarak belirlenmiştir (Çizelge 7).

Çizelge 7. Değişik dozlarda krom eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Cr-K	14.36 C	3.20	7.76	2.38
Cr-1	11.42 D	3.80	8.34	2.42
Cr-2	13.41 C	4.60	5.20	2.40
Cr-3	16.64 B	5.60	6.60	3.58
Cr-4	14.36 C	4.60	7.92	3.38
Cr-5	23.34 A	5.20	7.88	3.78
	LSD***: 0.97	LSD: Ö.D.	LSD: Ö.D.	LSD: Ö.D.

Kurşunun (Pb) *in vitro* Koşullarda Biber Gelişimi Üzerine Etkisi

Kurşunun farklı konsantrasyonları eklenerek hazırlanan ortamlara ekimi yapılan hıyar tohumlarının en iyi gelişim sağladığı ortamlar Pb-1 (%20.53) ve Pb-2 (%20.46) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8). Bu iki ortam istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Bunu sırasıyla %19.39 ve %18.58 ile Pb-5 ve Pb-3 ortamları takip etmiştir. En düşük gelişim oranının ise Pb-K (%16.42) grubunda

olduğu dikkat çekmiştir. Kontrol grubunda bulunan tohumların durumu diğer ortamlarla kıyaslandığında, gelişim oldukça düşük olmuştur. Buna göre, istatistiksel olarak kurşunun artan konsantrasyonlarının tohum gelişimini teşvik ettiği belirlenmiştir. Gangaiah ve ark. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, kurşun ağır metalinin farklı dozlarının inci darısında çimlenmeyi etkilemediğini bildirilmiştir. Yahaghi ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada, yonca bitkisinin çimlenme ve fide

gelişimi üzerine kurşunun etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda, 4 µM kurşun konsantrasyonunun yonca tohumlarında çimlenmeyi yarıya düşürdüğü tespit edilmiştir. Baran ve ark. (2022) göre, 100 µM kurşun konsantrasyonu hıyar tohumlarında çimlenmeyi arttırdığı, ancak bunun üzerindeki konsantrasyonların azaltıcı etki ettiğini bildirmiştir. Sevim ve ark. (2022), tarafından yapılan bir çalışmada, sorgum tohumlarının çimlenme oranının 300 µM kurşun konsantrasyonunda en iyi sonuç verdiğini tespit edilmiştir.

Çalışma boyunca yapılan ölçümler sonucu, farklı konsantrasyonlarda kurşunun biber tohumları üzerine etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. En yüksek yaprak sayısının 8.00 adet ile Pb-3 ve 7.00 adet ile Pb-5 ortamlarında olduğu istatistiksel olarak belirlenmiştir. Bunu 6.40 adet ile Pb-2 ve 6.20 adet ile Pb-1 ortamları takip etmiştir. 4.40 adet ile kontrol grubu ve 4.20 ile Pb-4 ortamlarında en düşük yaprak oluşumu tespit edilmiştir. Kurşunun artan konsantrasyonlarının yaprak oluşumunu teşvik ettiği gözlenmiştir. Kabir ve ark. (2009), kurşun konsantrasyonundaki artış ile birlikte bitkide yaprak sayısı ve gövde uzunluğunda azalmalar meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Sorgumda yapılan başka bir çalışmada ise 400 ve 500 µM kurşun içeren ortamlardan, en yüksek yaprak sayısı ve bitki uzunluğu elde edildiği bildirmiştir (Sevim ve ark., 2022).

Kök gelişiminin artan kurşun konsantrasyonlarına etkisi incelendiğinde, 300 µM kurşun içeren Pb-3 (10.86 cm) ve 500 µM içeren Pb-5 (9.68 cm) ortamlarından en uzun köklü bitkiler elde edilmiştir. 400 µM kurşun içeren Pb-4 (9.06 cm) ortamından elde edilen bitkilerin kök gelişiminin zayıf olduğu dikkat çekmiştir. Biber bitkisinde kurşunun farklı dozlarının kök uzunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemliken yapılan başka bir çalışmada kurşunun hıyar tohumları üzerine etki etmediği bildirilmiştir (Baran ve ark., 2022). Sorgum bitkisinde ise kök uzunluğu üzerine etkide bulunmasına rağmen, kök sayısı üzerine etkide bulunmamıştır (Sevim ve ark., 2022).

Farklı konsantrasyonlarda kurşun eklenen ortamlarda gelişen bitkilerin sürgün uzunluğu değerlendirildiğinde, Pb-5 (4.80 cm) ortamında oluşan bitkilerin sürgünlerinin daha uzun olduğu dikkat çekmiştir. Bunu Pb-3 (3.98 cm) ve Pb-2 (3.52 cm) ortamları takip etmiştir. Kurşunun farklı konsantrasyonlarında gelişen bitkiler ile kontrol grubundakiler kıyaslandığında, kontrol grubunun daha kısa sürgünlü bitkiler geliştirdiği tespit edilmiştir. Hıyar bitkisinde kurşun ağır metalinin artan konsantrasyonları sürgün oluşumu üzerine etkide bulunmamıştır (Baran ve ark., 2022).

Çizelge 8. Değişik dozlarda kurşun eklenerek hazırlanan besin ortamlarında gelişen bitkilerin özellikleri

Ortamlar	GTS (%)	YS (adet)	KU (cm)	SU (cm)
Pb-K	16.42 D	4.40 B	6.74 CD	2.78 B
Pb-1	20.53 A	6.20 AB	8.92 ABC	3.42 B
Pb-2	20.46 A	6.40 AB	7.82 BCD	3.52 AB
Pb-3	18.58 B	8.00 A	10.86 A	3.98 AB
Pb-4	17.56 C	4.20 B	6.06 D	2.66 B
Pb-5	19.39 B	7.00 A	9.68 AB	4.80 A
	LSD***: 0.92	LSD*: 2.32	LSD**: 2.36	LSD*: 1.34

Sonuç ve Öneriler

Çalışma süresince, sağlık açısından önem arz eden ağır metallerin *in vitro* koşullarda biber (*Capsicum annum* L.) bitkisinin gelişimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, artan konsantrasyonlarda kobaltın tohum gelişiminden başlayarak, yaprak

sayısı, kök gelişimi ve sürgün gelişimi üzerinde durdurucu etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Kobaltın 200 µM doza kadar büyüme parametrelerini teşvik ettiği ancak bunun üzerindeki konsantrasyonların büyümeyi inhibe ettiği dikkat çekmiştir. Nikelin 500 µM konsantrasyonu tohum gelişimini olumlu

etkilerken, yaprak sayısı, kök gelişimi ve sürgün gelişimini olumsuz etkilemiştir. Alüminyumun aynı şekilde 500 µM konsantrasyonu tohum gelişimini olumsuz etkileyerek kök oluşumunu engellemiştir. Kök gelişimi sağlanmadığı için tohumların sürgün ve yaprak oluşumu gerçekleşmemiştir. 300 µM bakırın tohum gelişimini teşvik ettiği, kök ve sürgün gelişimini ise engellediği tespit edilmiştir. Kromun 500 µM konsantrasyonu tohum gelişimi açısından faydalı olmuştur. Yaprak sayısı, kök ve sürgün gelişimi açısından, kromun artan konsantrasyonları, hiç krom içermeyen kontrol grubuyla kıyaslandığında aralarında fark bulunmamıştır. Krom ağır metalinin biber bitkisinde büyüme ve gelişmeyi etkilemediği önemli bir sonuçtur. Kurşunun artan konsantrasyonlarına bitki içerisinde bulunduğu fizyolojik büyüme dönemine göre farklı tepkiler vermiştir. Çalışma sonuçları, ağır metallerin zarar boyutunun bitkinin içerisinde bulunduğu gelişme dönemine, ağır metalin cinsine ve ortamda bulunan konsantrasyonuna göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynaklar

- Aksoy, P., Doğan, M. (2020). Alüminyum toksisitesine *Ocimum basilicum* var. *purpurascens*' in fizyolojik yanıtları. *Ecological Life Sciences*, 15(3), 85-93.
- Aly, A. A., & Mohamed, A. A. (2012). The impact of copper ion on growth, thiol compounds and lipid peroxidation in two maize cultivars ('*Zea mays*' L.) grown 'in vitro'. *Australian Journal of Crop Science*, 6(3), 541-549.
- Baran, O., Kara, E., Karaköy, T., Baktemur, G. (2022). Determination of the effects of some heavy metals applied *in vitro* conditions on the development of cucumber (*Cucumis sativus* L.). 8th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference June 4-6, 2022, 1296-1314. Mardin, Turkey.
- Bartels, D., Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 24(1), 23-58.
- Ertekin, E.N., Ertekin, İ., Bilgen, M. (2020). Effects of some heavy metals on germination and seedling growth of sorghum. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1608-1615.
- Gangaiah, A., Chandrasekhar, T., Varaprasad, D., Hima Bindu, Y., Keerthi Kumari, M., Chakradhar, T., & Madhava Reddy, C. (2013). Effects of heavy metals on in vitro seed germination and early seedling growth of *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. *Food Agriculture and Veterinary Sciences*, 3(3), 87-93.
- Kabir A.M, Iqbal M.Z, Shafiq M. (2009). Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. *Advances in Env. Biology*, 3(2):184–190.
- Kaur, G., Kumar, S., Nayyar, H., Upadhyaya, H. D. (2008). Cold stress injury during the pod-filling phase in chickpea (*Cicer arietinum* L.): Effects on quantitative and qualitative components of seeds. *Journal of Agronomy And Crop Science*, 194(6), 457-464.
- Khan, H., Siddique, I., Anis, M. (2006). Thidiazuron induced somatic embryogenesis and plant regeneration in *Capsicum annum*. *Biologia Plantarum*, 50(4), 789-792.
- Khan MR, Khan MM. (2010). Effect of varying concentration of nickel and cobalt on the plant growth and yield of chickpea. *Australian Journal of Basic and Applied Science*. 4(6):1036-1046.
- Kökten, K., Yılmaz, H. Ş., Kaplan, M., Çağan, E., Çağlayan, B. (2019). Bazı Ağır Metallerin (Cd, Cr, Ni) Farklı Tane Sorgum (*Sorghum bicolor* L.) Çeşitlerinin Kök Ağırlıklarına Etkisinin Araştırılması, Uluslararası Tarım ve Kırsal Kalkınma Kongresi, 10-12 Haziran 2019, Siirt.
- Li, H. F., Gray, C., Mico, C., Zhao, F. J., and Mc Grath, S. P. (2009). Phytotoxicity and bio availability of cobalt to plants in range of soils. *Chemosphere* 75, 979 – 986. doi:10.1016/j.chemosphere.2008.12.068
- Mantri, N., Patade, V., Penna, S., Ford, R., Pang, E. (2012). Abiotic stress responses in plants: present and future. In *Abiotic Stress Responses in Plants*, Springer, New York, pp. 1-19.
- Michalak, A. (2006). Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(4).
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, 15(3), 473-497.
- Nouri, M., El Rasafi, T., & Haddioui, A. (2019). Responses of Two Barley Subspecies to In

- vitro-Induced Heavy Metal Stress: Seeds Germination, Seedlings Growth and Cytotoxicity Assay. *Agriculture/Pol'nohospodárstvo*, 65 (3): 107–118.
- Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A.M., Pehlivan, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.
- Palevitch, D., Craker, L. E. (1996). Nutritional and medical importance of red pepper (*Capsicum* spp.). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 3(2), 55-83.
- Parvaiz, A., Khalid, U. R. H., Ashwani, K., Muhammad, A., Nudrat, A. A. (2012). Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.). *African Journal of Biotechnology*, 11(11), 2694-2703.
- Peralta JR, Gardea-Torresdey JL, Tiemann KJ, Gomez E, Arteaga S, Rascon E, Parsons JG (2001). Uptake and effects of five heavy metals on seed germination and plant growth in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66: 727-734.
- Sevim, A., Yüce, İ., Bekiş, P., Çilesiz, Y., Karaköy, T. (2022). Determination of the effects of some heavy metals applied in vitro conditions on the development of sorghum (*sorghum bicolor* L.) 8th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference June 4-6, 2022, 1283-1295. Mardin, Turkey
- Scoccianti V, Crinelli R, Tirillini B, Mancinelli V, Speranza A (2006). Uptake and toxicity of Cr(III) in celery seedlings. *Chemosphere*, 64: 1695-1703.
- Taghizadeh, M., Solgi, E. (2017). Impact of heavy metal stress on in vitro seed germination and seedling growth indices of two turfgrass species. *Journal of Rangeland Science*, 7(3), 220-231.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 429-443.
- Thuphairo, K., Sornchan, P., Suttisansanee, U. (2019). Bioactive compounds, antioxidant activity and inhibition of key enzymes relevant to Alzheimer's disease from sweet pepper (*Capsicum annuum*) extracts. *Preventive Nutrition and Food Science*, 24(3), 327.
- Vorasoot, N., Songsri, P., Akkasaeng, C., Jogloy, S., Patanothai, A. (2003). Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 25(3), 283-288.
- Yahaghi, Z., Shirvani, M., Nourbakhsh, F., Pueyo, J. J. (2019). Uptake and effects of lead and zinc on alfalfa (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth: Role of plant growth promoting bacteria. *South African Journal of Botany*, 124, 573-582.