

Bazı *Solanaceae* Familyası Üyelerinin Çimlenme ve Bitki Gelişimine Boya Atık Suyunun Etkileri

Ercan ÇATAK¹ , Ferhan KORKMAZ*¹ 

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 26040, Eskişehir, Türkiye

(Alınış / Received: 29.07.2024, Kabul / Accepted: 18.09.2024, Online Yayınlanma / Published Online: 23.12.2024)

Anahtar Kelimeler

Endüstriyel atık su,
Ağır metal,
Tohum çimlenme,
Lycopersicum esculentum,
Capsicum annuum

Özet: Yaşadığımız yüzyılda en önemli problemlerden bir tanesi çevre kirliliğidir. Endüstriyel üretimlerin artmasıyla birlikte çevreye salınan endüstriyel atık su miktarı da giderek artmaktadır. Atık sulardaki ağır metaller toksisitenin başlıca sebeplerinden birisidir. Bu nedenle atık suların çevre ve canlılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi de giderek önem kazanmaktadır. Bu etkileri ortaya koyabilmek için kullanılan etkin yöntemlerden biri tohum çimlendirme ve bitki gelişimi deneyleridir. Bu çalışmada kullanılan boya endüstrisi atık suyu %100'den %1'e kadar altı farklı konsantrasyonda uygulanmıştır. Su örneklerinin toksik etkileri *Solanaceae* familyasına ait *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) ve *Capsicum annuum* L. cv. İlica 256 (biber) bitki tohumları üzerinde denenecek ortaya konulmaya çalışılmıştır. Atık suyun konsantrasyon artışına bağlı olarak hem çimlenmeyi hem de gelişimi olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Denenen her iki bitki tohumunda boya atık suyunun yüksek serilerde (%25, %50, %75 ve %100) tohum çimlenmesini durdurarak toksik etki gösterdiği belirlenmiştir. Atık su uygulamasının %1 ve %10'luk serilerinde ise kontrole göre Vigor İndeksleri (VI) ve kök uzunluklarının azaldığı saptanmıştır. Kök, hipokotil ve kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında tüm serilerde paralel bir durum gözlenmemiş, bazılarında azalma görülürken bazılarında ise değerler aynı kalmıştır. Bazı konsantrasyonlarda ise kontrole göre anlamlı yükselmeler belirlenmiştir.

Effects of Dye Wastewater on Germination and Plant Development of Some *Solanaceae* Family Members

Keywords

Industrial waste,
Heavy metal,
Seed germination,
Lycopersicum esculentum,
Capsicum annuum

Abstract: One of the most important problems in the century we live in is the environmental pollution. With the growth of industrial production, the amount of industrial wastewater released is also increasing. Heavy metals found in wastewater are one of the main causes of toxicity. For this reason, determining the effects of wastewater on the environment and living things is becoming increasingly important. One of the effective methods used to reveal these effects is seed germination and plant growth experiments. The dye industry wastewater used in this study was studied at six different concentrations from 100% to 1%. The toxic effects of water samples were tried to be revealed by testing them on plant seeds of *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. H-2274 (tomato) and *Capsicum annuum* L. cv. İlica 256 (pepper) belonging to the *Solanaceae* family. It has been determined that wastewater negatively affects both germination and development due to increased concentration. It was determined that dye wastewater had a toxic effect by stopping seed germination at high levels (25%, 50%, 75% and 100%) in both plant seeds tested. In the 1% and 10% series of wastewater application, it was determined that Vigor Indexes (VI) and root lengths decreased compared to the control. A parallel situation was not observed in all series in the fresh and dry weights of roots, hypocotyls and cotyledons; while a decrease was observed in some, the values

remained the same in others. Significant increases were determined at some concentrations compared to the control.

1. Giriş

Endüstriyel üretimler sonucunda çevreye yayılan ağır metaller kentleşme ve sanayileşmenin de etkisiyle her geçen gün artarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. [1, 2].

Başlıca ağır metal kaynakları yerkabuğunun aşınması, madencilik, endüstriyel atıklar, tarım alanlarında kullanılan pestisitler ve kanalizasyondur [1, 3]. Ağır metal içeren atık sular canlılar için çok önemli bir tehlike kaynağı olarak görülmektedir [4]. Endüstrilerden salınan atık sular farklı toksik kirleticiler taşıdığı için canlılar için olduğu kadar çevre için de tehlikelidir. Farklı endüstrilerden deşarj edilen atık sular çevre kirliliği kaynakları arasında yer almaktadır [5].

Boya atık suları çevre ve insan sağlığına zarar veren ağır metaller ve toksik bileşikler içerir [6]. Bu atık su içinde bulunan endüstriyel boyalar içerdikleri krom, bakır, arsenik, kurşun, kadmiyum, cıva, nikel ve kobalt gibi ağır metaller ve diğer kimyasal maddeler nedeniyle üretim sonucunda oluşan atık suların oldukça toksik olmasına sebep olurlar [7].

Ağır metaller bitkilerin fizyolojik aktivitelerini engelleyerek verimliliklerini düşürmekte, ürün kalite ve miktarının azalmasına yol açmaktadırlar [8, 9, 10]. Ağır metallerin toksik etkileri hem metalin özelliğine hem de alınan doz ve maruz kalınan doz ve şekline göre farklılık göstermektedir [4].

Tohum çimlendirme ve bitki gelişimi deneyleri çeşitli materyallerin toksik etkilerini belirlemek için en uygun yöntemlerden bir tanesidir [11, 12, 13]. Çalışmamızda boya endüstrisi atık suyunun toksisitesini araştırmak üzere tohum çimlenmesi ve gelişimi üzerine olan etkilerini belirlenmeyi amaçladık.

2. Materyal ve Metot

2.1. Atık su konsantrasyonlarının hazırlanması ve tohum temini

Çalışmada kullanılan atık su Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan bir boya fabrikasından alınmış ve kullanılıncaya kadar +4 °C'de saklanmıştır. Alınan bu su %100 olarak kabul edilmiş, ardından saf su ile seyreltilerek %75, 50, 25, 10 ve 1 olacak şekilde diğer konsantrasyonlar hazırlanmıştır. Kontrol serisi olarak saf su kullanılmıştır. Tüm örnekler otoklavda sterilize edilmiştir.

Solanaceae familyasına ait olan *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) ve *Capsicum*

annuum L. cv. Ilıca 256 (biber) tohumları T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

2.2. Boya atık suyu içeriği

ICP/MS yöntemi ile analiz edilen boya atık suyunun içerdiği metaller ve miktarları Tablo 1'de gösterilmiştir. Atık su içeriğinde en fazla miktarda görülen Magnezyum (Mg)'u sırasıyla Mangan (Mn), Çinko (Zn), Bakır (Cu), Nikel (Ni) takip etmektedir. Arsenik (As), Kadmiyum (Cd) ve Cıva (Hg) ise çok düşük miktarlarda bulunmaktadır.

Tablo 1. Boya Endüstrisi Atık Suyunda Bulunan Ağır Metallerin ICP/MS Yöntemi ile Analiz Sonuçları

Metal Adı	Konsantrasyon (ppm)
Magnezyum (Mg)	15,914
Mangan (Mn)	0,766
Çinko (Zn)	0,597
Bakır (Cu)	0,361
Nikel (Ni)	0,098
Arsenik (As)	0,005
Kadmiyum (Cd)	0,001
Cıva (Hg)	0,001

2.3. Tohum sterilizasyon işlemleri

Tohumlar standart prosedürler kullanılarak sterilize edilmiştir [14, 15, 16]. Önce % 96'lık etil alkolde 1 dakika, sonrasında % 5'lik sodyum hipoklorit çözeltisinde 25-30 dakika süreyle yüzeysel sterilizasyon gerçekleştirilmiştir. Ardından, tohumlar steril saf su ile beşer kez yıkanarak, içlerinde kurutma kağıtları bulunan steril petri kaplarına alınmıştır. Sterilizasyon ve tohum ekim işlemleriyle, tohum çimlendirme ve geliştirme çalışmalarının tamamı kapalı ve kontrollü ortamda yapılmıştır.

2.4. Tohumların ekimi ve inkübasyon

Tohumları çimlendirmek için 5x5 cm ebatlarında kare cam ve üzerinde kurutma kağıtlarının yer aldığı sterilize edilmiş petri kapları kullanılmıştır. Her bir petri kabına steril tohumlar 100'er adet olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her seri için ikişer petri kabı kullanılmıştır. Çalışmada 1400'er domates ve biber tohumu kullanılmış, toplamda 2800 adet tohum değerlendirmeye alınmıştır. Öncelikle her petri kabına 3'er ml çözelti uygulanmıştır. 24 saatte bir çözelti miktarları ve çimlenme gelişimleri takip edilmiş, gerektiği zaman eşit miktarlarda çözelti eklenmiştir. Tohumlar 16 saat ışık, 8 saat karanlık ve 25 ±2 °C

sıcaklık, 8000-9000 lüks ışık şiddeti şartlarında inkübe edilmiştir.

2.5. Vigor indekslerinin belirlenmesi ve uzunluk ölçümleri

Tohumun testasından radikulanın kendini göstermesi tohum çimlenmesi olarak değerlendirilmiştir [13]. Petri kaplarındaki çimlenen tohumlar sayılarak çimlenme yüzdeleri belirlenmiş; aynı seriye ait verilerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Çimlenme sayıları ile yüzde tespiti, kök ve hipokotil uzunluklarının ölçümü domates (H-2274) tohumlarında fideciklerin petri kabının kapağına değdiği gün olan 8. günde, biber (İlıca 256) tohumlarında ise 10. günde yapılmıştır.

Tüm fideciklerin kök ve hipokotilleri jilet ile kesilmiş; milimetrik cetvel ile hipokotil ve kök uzunlukları ölçülmüştür. Petri kapları ölçüm ve tartımlar yapıncaya kadar +4 °C'de bekletilmiştir. Vigor İndeksleri her seriye ait çimlenen tohumların (fidecik) kök ve hipokotil uzunlukları toplanarak çimlenme oranlarıyla çarpılması sonucu elde edilmiştir (17, 18). "Vigor İndeksi" fide güç indeksi olarak da bilinir. Çimlenme oranıyla fidenin fiziksel özelliklerinin gelişmişlik derecesini ve bu değerlerin kombinasyonunu gösterir (18). Bu değer aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (19, 20):

Vigor İndeks (VI) = Çimlenme yüzdesi x (kök uzunluğu + hipokotil uzunluğu).

2.6. Yaş ve kuru ağırlık tayinleri

Tüm serilerdeki fideciklerin kök, hipokotil ve kotiledonları kesilmiş, hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları tespit edilmiştir. Sonrasında kök, hipokotil ve kotiledonlar 70 °C'de en az 72 saat süre ile tutularak kuru ağırlıkları elde edilmiştir. Toplam ağırlıklar değerlendirilen organların sayılarına bölünerek birim yaş ve kuru ağırlıkları ayrı ayrı belirlenmiştir.

2.7. İstatistiksel analizler

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics 26 programı kullanılarak yapılmıştır. Veriler değerlendirilmesinde sayısal değişkenler için tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, medyan) verilmiştir. Öncelikle tüm ölçümlere normal dağılım varsayımı için Kolmogorow Smirnov Testi (n>30) uygulanmıştır. Test sonucunda ölçümlerin normal dağılım varsayımını sağladığı için karşılaştırmalarda parametrik testler uygulanmıştır. Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile ikiden fazla bağımsız grup arasında ölçümlere göre farklılık olup olmadığı belirlenmiş, hangi gruplar arasında farklılık olduğuna ise Tukey Testi (Homojenlik sağlandığında) ve Tamhane Testi (Homojenlik sağlanmadığında) ile bakılmıştır. Homojenlik varsayımını test etmek için Levene Testi ve Brown-Forsythe Testleri kullanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Vigor indeksleri (VI)

Domates (H-2274) ve (biber) İlıca 256 tohumlarına ait olan Vigor İndeksleri (VI) Tablo 2'de verilmiştir. H-2274 için konsantrasyonlar arasında VI ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüştür. İlıca 256 için de konsantrasyonlar arasında VI ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüştür. Buna göre; H-2274 için konsantrasyon değeri arttıkça VI'nin azaldığını söyleyebiliriz. İlıca 256 için kontrol grubu konsantrasyonundaki VI, %10 konsantrasyonundaki VI'den, %10 konsantrasyonundaki VI ortalaması ise %1 konsantrasyonundaki VI ortalamasından anlamlı derecede yüksektir.

Tablo 2. H-2274 ve İlıca 256 genotiplerinin farklı konsantrasyonlardaki Vigor indeksi (VI) değerleri

Atık su konsantrasyonları (%)	Vigor İndeksi (VI)	
	H-2274	İlıca 256
Kontrol	4365	792
1	3600*	270*
10	1095*	520*
25	0,000	0,00
50	0,000	0,00
75	0,000	0,00
100	0,000	0,00
F	8776,575	2044,84
p	0,000***	0,000***

*Kontrol grubundan farklı olan gruplar (p<0,05) ***p<0,001

F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA).

3.2. Uzunluk ölçümleri (mm)

Tablo 3'de H-2274 ve İlıca 256 tohumlarına ait kök uzunlukları yer almaktadır. H-2274 için konsantrasyonlar arasında kök uzunlukları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüş, İlıca 256 için de konsantrasyonlar arasında kök uzunlukları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu görülmüştür (p<0,05). Buna göre; H-2274 için konsantrasyon değeri arttıkça kök uzunluğu ölçüm ortalamalarının azaldığını söyleyebiliriz. İlıca 256 için kontrol grubu konsantrasyonundaki kök uzunluğu ortalaması, %1 ve %10 konsantrasyonundaki kök uzunluğu ortalamalarından anlamlı derecede yüksektir.

Tablo 3. H-2274 ve İlıca 256 fideciklerinin farklı konsantrasyonlardaki kök uzunlukları

Atık su	Kök Uzunlukları (mm)
---------	----------------------

konsantrasyonları (%)	H-2274 Ort.±SS.	İlıca 256 Ort.±SS.
Kontrol	21,71±11,101	9,97±4,356
1	17,45*±6,211	3,73*±1,980
10	7,74*±4,047	4,00*±2,909
25	0,00±0,000	0,00±0,000
50	0,00±0,000	0,00±0,000
75	0,00±0,000	0,00±0,000
100	0,00±0,000	0,00±0,000
F	52,363	27,852
p	0,000*	0,000*

*p<0,05, F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Fark=Tukey Testi, p=Anlamlılık Düzeyi

Tablo 4'te verilmiş olan hipokotil uzunluklarına baktığımızda hem H-2274 hem de İlıca 256 tohumlarının hipokotil uzunluklarının %1 ve %10'luk konsantrasyonlarda kontrole göre anlamlı bir şekilde azaldığı görülmektedir.

Tablo 4. H-2274 ve İlıca 256 fidiciklerinin farklı konsantrasyonlardaki hipokotil uzunlukları

Atık su konsantrasyonları (%)	Hipokotil Uzunlukları (mm)	
	H-2274	İlıca 256
Kontrol	23,23±4,276	8,15±4,240
1	21,56*±4,576	5,55*±1,565
10	6,88*±5,064	8,71±3,429
25	0,00±0,000	0,00±0,000
50	0,00±0,000	0,00±0,000
75	0,00±0,000	0,00±0,000
100	0,00±0,000	0,00±0,000
F	251,894	4,923
p	0,000*	0,000*

*p<0,05, F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Fark=Tukey Testi, p=Anlamlılık Düzeyi

3.3. Yaş ve kuru ağırlık tayinleri

Tablo 5'de H-2274 ve İlıca 256 tohumlarına ait kök yaş ağırlıkları ve kök kuru ağırlıkları bulunmaktadır. H-2274 tohumları için konsantrasyonlar arasında kök yaş ağırlıkları ve kök kuru ağırlıkları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p>0,05) görülmemiştir. İlıca 256 tohumları için konsantrasyonlar arasında kök yaş ağırlıkları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüş, kök kuru ağırlıkları ortalamalarına göre ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p>0,05) görülmemiştir. Buna göre; İlıca 256 için kontrol konsantrasyonundaki kök yaş ağırlığı ortalaması, %1 ve %10 konsantrasyonundaki kök yaş ağırlığı ortalamalarından anlamlı derecede yüksektir.

Tablo 5. H-2274 ve İlıca 256 fidiciklerinin farklı konsantrasyonlardaki kök yaş ve kuru ağırlıkları

Atık su konsantrasyonları (%)	Kök Yaş Ağırlığı (g)		Kök Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlıca 256	H-2274	İlıca 256
Kontrol	0,0007	0,0029	0,0003	0,0003
1	0,0008	0,0014*	0,0003	0,0003
10	0,0006	0,0014*	0,0001	0,0003
25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
75	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	3,000	225,00	4,000	0,0000
p	0,125	0,000*	0,079	1,0000

*p<0,05, F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Fark=Tukey Testi, p=Anlamlılık Düzeyi

Tablo 6' da H-2274 ve İlıca 256 tohumları hipokotil yaş ağırlıkları ve hipokotil kuru ağırlıkları yer almaktadır. H-2274 için konsantrasyonlar arasında hipokotil yaş ağırlıkları ve hipokotil kuru ağırlıkları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüştür. Buna göre; H-2274 için konsantrasyon değeri arttıkça hipokotil yaş ağırlığı ölçüm ortalamalarının azaldığını söyleyebiliriz. Ancak %10 konsantrasyonunda p<0,001 derecesinde anlamlı bir fark göze çarpmaktadır. Kontrol ve %1 konsantrasyonundaki hipokotil kuru ağırlığı ortalamaları ise %10 konsantrasyonundaki hipokotil kuru ağırlığı ortalamasından anlamlı derecede yüksektir. İlıca 256 tohumları için konsantrasyonlar arasında hipokotil yaş ağırlıkları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüş, hipokotil kuru ağırlıkları ortalamalarına göre ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p>0,05) görülmemiştir. İlıca 256 için %1 konsantrasyonundaki hipokotil yaş ağırlığı ortalaması kontrol konsantrasyonundaki yaş ağırlığı ortalamasından düşük iken, %10 hipokotil yaş ağırlığı ortalaması kontrol konsantrasyonundaki hipokotil yaş ağırlığı ortalamasından anlamlı derecede yüksektir.

Tablo 6. H-2274 ve İlıca 256 fidiciklerinin farklı konsantrasyonlardaki hipokotil yaş ve kuru ağırlıkları

Atık su Konsant. (%)	Hipokotil Yaş Ağırlığı (g)		Hipokotil Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlıca 256	H-2274	İlıca 256
Kontrol	0,0107	0,0053	0,0008	0,0008
1	0,0101*	0,0016*	0,0008	0,0008
10	0,0024*	0,0066*	0,0003**	0,0010
25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
75	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	6427	219	25	0,118
p	0,000*	0,000*	0,001**	0,891

**p<0,05, *p<0,001, F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Fark=Tukey Testi, p=Anlamlılık Düzeyi

Tablo 7'de H-2274 ve Ilıca 256 tohumları için kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları görülmektedir. H-2274 için konsantrasyonlar arasında kotiledon yaş ağırlıkları ortalamalarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüştür. %1 ve %10'luk konsantrasyonlarda kontrole göre kotiledon yaş ağırlıklarında anlamlı bir azalma bulunmaktadır. Kotiledon kuru ağırlıkları ortalamalarına göre ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p>0,05) görülmemiştir. Ilıca 256 tohumları için konsantrasyonlar arasında kotiledon yaş ağırlıkları ve kotiledon kuru ağırlıkları ortalamalarına göre ise istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık (p<0,05) olduğu görülmüştür. Ilıca 256 için %1 konsantrasyonundaki kotiledon yaş ve kuru ağırlığı ortalamaları, kontrol ve %10 konsantrasyonundaki yaş ve kuru ağırlığı ortalamalarından anlamlı derecede düşüktür.

Tablo 7. H-2274 ve Ilıca 256 fidiciklerinin farklı konsantrasyonlardaki kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları

Atık su Konsant. (%)	Kotiledon Yaş Ağırlığı (g)		Kotiledon Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlıca 256	H-2274	İlıca 256
Kontrol	0,0047	0,0070	0,0008	0,0019
1	0,0042*	0,0000*	0,0008	0,0000**
10	0,0035*	0,0078	0,0006	0,0020
25	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
50	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
75	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	109,000	164,079	4,000	11,317
p	0,000*	0,000*	0,079	0,009**

**p<0,01, *p<0,001, F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA)

Fark=Tukey Testi, p=Anlamlılık Düzeyi

4. Tartışma ve Sonuç

Sağlık ve çevre açısından risk oluşturan ağır metaller Zn, Cu, Ni, As, Cd, Hg, Cr, Pb'dür (1, 20). Çalışmamızda kullandığımız boya atık suyunun içeriğinde de bu metallerin çoğu bulunmaktadır (Tablo 1).

Bazı elementler bitki gelişimi için mutlak gerekli iken Cd, Pb, As, Hg, Cr, Fe gibi bazı elementler bitki gelişimi için mutlak gerekli iken yüksek miktarlarda bulunduğu Cd, Pb, As, Hg ve Cr gibi bazı elementlerin gösterdiği şekilde toksik etkileri de görülebilmektedir (22, 23). Bu çalışmada elde edilen bulgular da kullanılan atık suyun, özellikle yüksek

konsantrasyonlarda (% 25, % 50, %75 ve %100) tohum çimlenmesi ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuştur.

Yukarıda bahsedilen ağır metallerin yanı sıra test ettiğimiz atık suda Mg ve Mn'de bulunmaktadır bulunmaktadır (Tablo 1). (24)'de belirtildiği üzere Mg'nin bitki beslenmesinde önemli olduğu bilinmektedir.

Mg klorofilin merkez atomudur ve fotosentezde önemli rol oynayan, yaşamın devamlılığını sağlayan en önemli elementlerden biridir. Ayrıca ATP yapımında yardımcı faktördür (25). Bununla birlikte Mg'nin bitkilerde olumsuz etkileri de bulunmaktadır (26, 27).

(28)'nin yaptığı çalışmada aşırı magnezyumun bazı toksisite semptomlarına neden olduğu rapor edilmektedir. Çalışmada kullandığımız atık suyun içeriğinde 15,914 ppm düzeyinde Mg bulunmaktadır. Ancak bu miktarlardaki Mg'nin bitkiler üzerinde toksik etki oluşturduğuna dair literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu bize, çalışmamızda elde ettiğimiz yüksek konsantrasyonlardaki (% 25, % 50, %75 ve %100) atık suyun bitki tohum çimlenmesi ve bitki gelişimine dair olumsuz etkilerin nedeninin Mg'nin dışındaki diğer metallerin toksik etkisi olduğunu düşündürmektedir.

Optimum bitki büyümesi, gelişimi ve üretkenliği için gerekli olan Mn, Zn, Cu, Ni, Fe, Mo gibi ağır metal iyonlarının yanında Co gibi bitkinin yapısında belirli oranlarda bulunan ancak bitkinin büyüme ve gelişmesinde zorunlu olarak gerek duymadığı ağır metal iyonlarının varlığı, birçok enzim ve proteinin fonksiyonlarını kolayca etkileyerek metabolizmayı durdurabilir ve optimumun üzerinde fitotoksisite gösterebilirler (25). Bizim çalışmamızda kullandığımız atık suyun içerisinde de en çok bulunan ağır metaller Mn, Zn ve Cu'dur.

Gassama vd., 2015'nin yaptığı çalışmada, düşük konsantrasyonlardaki (<25%) atık su, ürünlerin büyümesini ve gelişmesini daha az engellerken, yani daha düşük bir toksisiteye sahipken, daha yüksek konsantrasyonlarda (%50 - %100) atık su pirinç çimlenme sürecinde büyüme ve gelişmeyi azaltacak kadar yüksek fitotoksisite gösterdiği belirtilmektedir (29).

Kuru ve yaş ağırlıkları parametrelerine baktığımızda (Tablo 5), Ilıca 256 tohumlarında %1 ve %10'luk konsantrasyonların kök yaş ağırlıklarını kontrole göre anlamlı bir şekilde düşürdüğü görülmektedir. Ertekin ve Bilgen'in yaptıkları çalışmada kök yaş ağırlığı üzerine ağır metallerin ve dozların önemli etkisi olduğu vurgulanmaktadır (30).

%1 ve %10'luk konsantrasyonlarda H-2274 tohumlarının hipokotil yaş ağırlığının kontrole göre anlamlı bir şekilde azaldığı görülmektedir (Tablo 6). Zea mays (mısır) bitkisine uygulanan bazı ağır metal konsantrasyonlarının hipokotil yaş ağırlıklarını kontrole göre azalttığı rapor edilmektedir (30).

Boya atık suyunun içeriğinde bulunan ağır metaller bitkilerin gelişimlerine olumlu yöndeki katkılarının yanında olumsuz etkiler de göstermektedir. Bu çalışmada da kullanılan atık suyun özellikle % 25 ve üzeri konsantrasyonlarda hem domates hem de biber tohumlarının gelişimlerini engellendiği ortaya konmuştur. Bu olumsuz etkiler tohum çimlenmesinin yanında kök ve hipokotil oluşumu ve gelişimleri üzerinde de görülmüştür. Söz konusu olumsuz etkide atık suda en fazla miktarlarda bulunan Mg, Mn, Zn ve Cu'nun daha etkin rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Literatürde de bu elementlerin bitkiler üzerindeki toksik etkilerinin varlığı çalışmamızdaki bu sonuçları destekler niteliktedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan tohumların temin edildiği T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Çavuşoğlu, K., Acar, A., Yalçın, E. 2018. Cıva (Hg) ağır metal iyonunun Allium cepa L.(soğan)'da teşvik ettiği fizyolojik, sitogenetik ve anatomik değişimlerin araştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(4), 887-892.
- [2] Praveena, M., Sandeep, V., Kavitha, N., Jayantha Rao, K. 2013. Impact of tannery effluent, chromium on hematological parameters in a fresh water fish, Labeo Rohita (Hamilton). Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences, 1(6), 1-5.
- [3] Morais, S., Costa, F. G., Pereira, M. D. L. 2012. Heavy metals and human health. Environmental health-emerging issues and practice, 10(1), 227-245. Acar, B. Ç., Acar, M. B. 2022. Kimyasal yöntemlerle atık sulardan ağır metal giderimi. Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, 3(1), 1-13.
- [4] Saxena, G., Bharagava, R. N. 2017. Organic and inorganic pollutants in industrial wastes; ecotoxicological effects, health hazards, and bioremediation approaches. ss 23-56. Bharagava R. N., ed. 2017. Environmental Pollutants and their Bioremediation Approaches, CRC Press, Boca Raton 472s.

- [5] Erkuş, A., Oygün, E., Türkmenoğlu, M., Aldemir, A. 2018. Boya endüstrisi atıksularının karakterizasyonu. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 23(3), 308-319.
- [6] Kant, R. 2012. Textile dyeing industry an environmental hazard. Natural Science, 4(1), 5.
- [7] Filipović, J., Grčić, I., Bermanec, V., Kniewald, G. 2013. Monitoring of total metal concentration in sludge samples: Case study for the mechanical-biological wastewater treatment plant in Velika Gorica, Croatia. Science of the total environment, 447, 17-24.
- [8] Krogmann, U., Boyles, L. S., Martel, C. J., McComas, K. A. 1997. Biosolids and sludge management. Water environment research, 69(4), 534-550.
- [9] Doğaroğlu, Z.G. 2018. Kadmiyum, kurşun ve çinko metallerinin marul (Lactuca sativa) tohumlarının çimlenme özellikleri üzerine etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(2), 299-308.
- [10] Asri, F. Ö., & Sönmez, S. (2006). AĞIR METAL TOKSİSİTESİNİN BİTKİ METABOLİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ. Derim, 23(2), 36-45.
- [11] Nordberg G.F., Nordberg M. Biological monitoring of cadmium. 1988. Clarkson T.W., Friberg L., Nordberg G.F., Sager P.R., ed. 1988. Biological monitoring of toxic metals, Plenum, New York, 151.
- [12] Yıldız, M., Uruşak, B. ve Terzi, H. 2010. Türkiye'de ekimi yapılan bazı arpa çeşitlerinin erken fide evresinde krom (VI) toleransı üzerine bir ön çalışma. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(1), 1-10.
- [13] Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S. 2001. Bitki Biyoteknolojisi I: Doku Kültürü ve Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Yayınları, 374.
- [14] Başaran, D. 1990. Bitki Doku Kültürleri, Dicle Üniversitesi, 208.
- [15] Çatak, E., Çolak, G., & Caner, N. (2010). Oryza sativa L. ve Capsicum annuum L.'nin bazı fizyolojik ve makromorfolojik gelişim parametreleri üzerine silisyum'un etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 26(4), 351-361.
- [16] Abdul - Baki, A.A., Anderson, J.D. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. Crop Science, 13(6), 630-633.
- [17] Karaer, M., Gülümser, E., Başaran, U. ve Mut, H. 2021. Artırılmış atık su seviyelerinin mürdümük

- (*Lathyrus sativus* L.) genotiplerinin çimlenme gelişimine etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 5(4), 919-926.
- [18] Hu, J., Zhu, Z.Y., Song, W.J., Wang, J.C., and Hu, W. M. 2005. Effects of sand priming on germination and field performance in direct-sown rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 33(1), 243-248.
- [19] Tatar, N., Öztürk, Y. ve Çarpıcı, E.B. 2018. NaCl ön uygulamalarının farklı tuz seviyelerinde çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.)'in çimlenme özellikleri üzerine etkileri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 28-33.
- [20] Lambert, M., Leven, B. A., Green, R. M. 2000. New methods of cleaning up heavy metal in soils and water. *Environmental science and technology briefs for citizens*, 7(4), 133-163.
- [21] Güvercin, D. 2017. Sorgum tohumlarında ağır metal stresi etkilerinin hafifletilmesinde bazı bitki büyüme regülatörlerinin rolü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(3), 886-893.
- [22] Yıldız, N. 2004. Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller. ZT-531. Yüksek Lisans Ders Notları. Erzurum.
- [23] Barlas, N. T. 2023. Functions of magnesium in plants. 75-80.. Bengisu G., ed. 2023. Planning topics in agriculture. Iksad Publications, Türkiye, 145s.
- [24] Guo, W., Chen, S., Hussain, N., Cong, Y., Liang, Z., Chen, K. 2015. Magnesium stress signaling in plant: Just a beginning. *Plant Signaling & Behavior*, 10(3), e992287.
- [25] Bolat, İ., & Kara, Ö. (2017). Bitki besin elementleri: Kaynakları, işlevleri, eksik ve fazlalıkları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19(1), 218-228.
- [26] Bradshaw, H. D. 2005. Mutations in CAX1 produce phenotypes characteristic of plants tolerant to serpentine soils. *New Phytologist*, 167(1), 81-88.
- [27] Selvaraj Venkatesan, S. V., Sankar Jayaganesh, S. J. 2010. Characterisation of magnesium toxicity, its influence on amino acid synthesis pathway and biochemical parameters of tea. *Research Journal of Phytochemistry*, 4(2), 67-77.
- [28] Anjum, N. A., Singh, H. P., Khan, M. I. R., Masood, A., Per, T. S., Negi, A., Ahmad, I. 2015. Too much is bad—an appraisal of phytotoxicity of elevated plant-beneficial heavy metal ions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 3361-3382.
- [29] Gassama, U. M., Puteh, A. B., Abd-Halim, M. R., Kargbo, B. 2015. Influence of municipal wastewater on rice seed germination, seedling performance, nutrient uptake, and chlorophyll content. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18, 9-19.
- [30] Ertekin, E. N. ve Bilgen, M., 2021. Bazı ağır metallerin at dişi mısır (*Zea mays* L.)'da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkileri. *Biological Diversity and Conservation*, 14(2), 198-207.