

Seramik Atık Suyunun Bazı *Solanaceae* Familyası Üyelerinde Çimlenme ve Bitki Gelişimine Etkileri

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 13.03.2024

Kabul/Accepted: 05.08.2024

Yayımlandı/Published:02.12.2024

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

Ferhan KORKMAZ * , Ercan ÇATAK 

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

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Özet

Endüstriyel üretimlerin arttığı günümüzde en önemli konulardan birisi bu üretimler sonucu ortaya çıkan atık suların, çevre ve canlılar üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir. Bu atık suların içeriğindeki ağır metaller bitkiler üzerinde olumlu ve olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Bu ağır metallerin konsantrasyona bağlı olarak gösterdikleri etkilerin saptanması, bu bitkileri besin olarak tüketen tüm canlılar açısından oldukça önemlidir. Çalışmada kullanılan seramik endüstrisi atık suyu %100'den başlayarak %1'e kadar altı farklı konsantrasyonda hazırlanmış; *Solanaceae* familyasına ait *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) ve *Capsicum annuum* L. cv. Ilica 256 (biber) bitki tohumları kullanılarak test edilmiştir. Ağır metallerin bilinen olumsuz etkileri yanında bitkilerin gelişimine olumlu katkılar sağlayabileceği de bilinmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarda da bazı konsantrasyonların tohum çimlenme oranını arttırdığı belirlenmiştir. Her iki tohumda da %50'lik konsantrasyonlarda en yüksek Vigor indeksi ve kök uzunluk değerlerine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel atık su; Ağır metal; *Lycopersicum esculentum*; *Capsicum annuum*

Abstract

As industrial production increases, one of the most important issues today is the determination of the effects of wastewater resulting from these productions on the environment and living things. Heavy metals in this wastewater can have positive and negative effects on plants. Determining the concentration-dependent effects of these heavy metals is very important for all living organisms that consume these plants as food. The ceramic industry wastewater used in the study was prepared in six different concentrations, starting from 100% to 1%. It was tested using plant seeds of *Lycopersicum esculentum* Mill. cv. H-2274 (tomato) and *Capsicum annuum* L. cv. Ilica 256 (pepper), belonging to the *Solanaceae* family. In addition to the known negative effects of heavy metals, it is also known that they can make positive contributions to the development of plants. The results obtained in this study determined that some concentrations increased the seed germination rate. It was determined that the highest Vigor Index and root length values were reached in both seeds at 50% concentrations.

Keywords: Industrial waste water; Heavy metal; *Lycopersicum esculentum*; *Capsicum annuum*

1. Giriş

Endüstriyel, tarımsal, evsel ve diğer kullanımlar sonucu açığa çıkan, sağlığa zararlı biyolojik ve kimyasal maddeler içeren sular atık su olarak tanımlanmaktadır. Bu sular yer altı suları ve akarsu, göl, deniz gibi yüzey sularının en önemli kirlilik kaynağını oluştururlar (Dündar vd. 2012, Tabuman 1995). Üretim sürecinde çeşitli kimyasal maddelerin kullanılması nedeniyle endüstriyel atık sular çeşitli kirleticileri içermektedir. Bu suların çevresel etkilerini kontrol etmek amacıyla fiziksel ve kimyasal parametrelerle birlikte toksisitenin de izlenmesi gerekmektedir (Pagano 2013). Tohum çimlenme düzeyi, yüzde canlılık oranı ve bitki boyu üzerine olumsuz fitotoksik etkiler çevre kirleticilerinin etkilerinin izlenmesinde kullanılan yöntemlerdir (Stojanoviç *et al.* 2010). Ülkemizde yaygın bir endüstri olan seramik endüstrisi, üretimi sırasında ağır metal içeren yüksek miktarda atık su oluşturmaktadır. Bunlar alıcı ortama verildiğinde çevresel problemlere neden olmaktadır (Emir

2019). Ağır metaller bitkilerde ağır metalin konsantrasyonu, çeşidi, maruz kalma süresi ve bitki türüne bağlı olarak farklı etkiler göstermektedir (Sevgi ve Leblebici 2022). Diğer taraftan, atık suların düşük konsantrasyonlarda bitki büyüme ve gelişmesinde olumlu katkılar sağlayabileceği göz ardı edilmemelidir. Çünkü atık sular bakır (Cu), çinko (Zn), demir (Fe), mangan (Mn), molibden (Mo), nikel (Ni) ve kobalt (Co) gibi bitkinin büyüme ve gelişmesi için ihtiyaç duyduğu mikro besin elementlerinden bazılarını içerebilmektedirler (Özay ve Mammadov 2013).

Bu çalışmada seramik endüstrisi atık suyunun tohum çimlenmesi ve gelişimi üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Atık Su ve Tohum Temini ve Çözelti Hazırlanması

Bu çalışmada, Eskişehir Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren seramik fabrikasından alınan atık suyun

tohum çimlenme ve bitki büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Tesisten alınan sular kullanılıncaya kadar +4 °C'de saklanmıştır. Atık suyun altı farklı konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Kontrol grubu olarak saf su kullanılmıştır. Seramik fabrikasından alınan atık su %100 olarak kabul edilip %75, 50, 25, 10 ve 1 olacak şekilde diğer konsantrasyonlar hazırlanmış ve otoklavda sterilize edilmiştir.

Araştırma materyali olarak, her ikisi de *Solanaceae* familyasına ait ekonomik değerleri yüksek olan; *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H-2274 (domates) ve *Capsicum annuum* L. cv. Ilıca 256 (biber) bitki tohumları kullanılmıştır. Tohumlar, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çizelge 1. Seramik Atık Suyunun ICP/MS Metal analiz sonuçları

ASK*	100%	75%	50%	25%	10%	1%
Ağır Metal Konsantrasyonları (ppm)						
Cr	721,14	540,86	360,57	180,29	72,11	7,21
Pb	56,12	42,09	28,06	14,03	5,61	0,56
Fe	8,31	6,23	4,15	2,08	0,83	0,08
Zn	7,34	5,5	3,67	1,84	0,73	0,07
Mn	3,24	2,43	1,62	0,81	0,32	0,03
As	0,34	0,25	0,17	0,09	0,03	0,00
Ni	0,16	0,12	0,08	0,04	0,02	0,00
Cu	0,08	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00
Cd	0,03	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00
Hg	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00

*ASK: Atık su konsantrasyonları

2.2. Seramik Atık Suyu Metal İçerikleri

Çalışmamızda kullanılan seramik atık suyunun içerdiği metaller ve ppm düzeyindeki miktarları, ICP/MS yöntemleri ile analiz edilmiştir ve sonuçları Çizelge 1'de listelenmiştir. Atık su içeriğinde en fazla krom (Cr) elementine rastlanmış olup; kurşun (Pb), demir (Fe), çinko (Zn) ve mangan (Mn) miktarlarının seviyelerinin de yüksek olduğu tespit edilmiştir. İçerikte ayrıca az miktarlarda arsenik (As), nikel (Ni), bakır (Cu), kadmiyum (Cd) ve civa (Hg) elementleri de mevcuttur. Bu ağır metaller bitki için yüksek toksik etkilere sahip olabilmektedir. Ancak bu ağır metaller belli miktarlarda tohumların çimlenmesi ve bitkilerin gelişimleri esnasında olumlu katkılar da yapabilmektedir.

2.3. Tohum Sterilizasyon İşlemleri

Bitki tohumları Babaoğlu vd., (2001) ve Başaran (1990)'a göre önerilen standart sterilizasyon işlemleri için ve kabul gören teknikler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tohumlar

öncelikle %96'lık etil alkol içerisinde 1 dakika, ardından %5'lik sodyum hipoklorit çözeltisi içerisinde 25-30 dakika süreyle yüzeysel sterilizasyonuna tabii tutulmuştur. Sonrasında, tohumlar steril saf su ile en az beşer kez yıkanarak, içlerinde steril kurutma kağıtlarının olduğu steril petri kaplarına aktararak sularından arındırılmıştır. Tohum sterilizasyonu ve tohum ekim işlemleri ile birlikte, tohum çimlendirme çalışmalarının tamamı kapalı ve kontrollü ortamda gerçekleştirilmiştir.

2.4. Tohum Ekim İşlemleri ve İnkübasyon Şartları

Tohum çimlendirme yüzdelerini belirlemek amacıyla, yükselti oluşturması için, 5x5 cm ebatlarında kare cam ve üzerinde kurutma kağıtlarının yer aldığı sterilize edilmiş petri kaplarına steril tohumlar 100'er adet ekilmiştir. Her seri için ikişer petri kabı kullanılmış, tüm seri için toplamda 1400 adet tohum ekimi yapılmıştır. Her iki çeşit için toplamda 2800 tohum değerlendirmeye alınmıştır. Başlangıçta her petri kutusuna 3'er ml çözelti uygulanmıştır. 24 saatte bir çözelti miktarları ve çimlenme gelişimleri takip edilmiş, gerektiğinde genellikle eşit miktarlarda çözelti ilave edilmiştir. İnkübasyon ortamı olarak 16 saat ışık, 8 saat karanlık şartları oluşturulmuştur. Sıcaklık 25 ±2 °C, ışık şiddeti yaklaşık 8000-9000 lüks olarak uygulanmıştır.

2.5. Vigor İndekslerinin Belirlenmesi ve Uzunluk Ölçüm Çalışmaları

Tohumun testasından radikulanın kendini göstermesi çimlenme varlığı olarak değerlendirilmiştir (Başaran 1990). Tüm petrileredeki çimlenen tohumlar sayılarak çimlenme yüzdeleri tespit edilmiş; aynı seriye ait verilerin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Çimlenen tohumların sayımı, yüzdelerinin belirlenmesi, kök ve hipokotil uzunluklarının ölçümü domates (H-2274) için 8. gün sonunda, biber (Ilıca 256) için ise 10. günün sonunda yapılmıştır. Bu süreler kontrol grubunda bulunan tohumların kök, hipokotil ve kotiledonlarının oluştuğu ve fideliklerin petri kabının kapağına değdiği gün olarak belirlenmiştir. Tüm fideliklerin kök ve hipokotilleri jilet ile kesilerek, milimetrik cetvel yardımıyla hipokotil ve kök uzunlukları ölçülmüştür. Ölçüm ve tartımlar yapıncaya kadar petri kapları +4 °C'de muhafaza edilmiştir. Vigor İndeks değerlerini belirlemek için her seriye ait çimlenen tohumların (fidelik) kök ve hipokotil uzunlukları toplanarak çimlenme oranlarıyla çarpılmıştır (Abdul-Baki and Anderson 1973, Karaer vd., 2021). Fide güç indeksi olarak da bilinen "Vigor İndeksi" çimlenme oranı ile fidenin fiziksel özelliklerinin gelişmişlik derecesini ve bu değerlerin kombinasyonunu gösteren bir ölçüdür (Karaer vd., 2021). Bu değer Eşitlik.1 ile hesaplanmıştır (Hu *et al.* 2005, Tatar vd., 2018):

Vigor İndeks = Çimlenme yüzdesi x (kök uzunluğu + hipokotil uzunluğu). (1)

H-2274 ve Ilica 256 tohumlarına ait Vigor İndeksi (VI) değerleri Çizelge 2’de gösterilmektedir.

2.6. Yaş ve Kuru Ağırlık Tayinleri

Her seri için 8 ila 10. günlerin sonunda elde edilen tüm fideliklerin kök, hipokotil, kotiledonları kesilerek birbirinden ayrılmış, hassas terazide ayrı ayrı yaş ve kuru ağırlıkları tespit edilmiştir. Organlara ait toplam ağırlıklar değerlendirilen organların sayılarına bölünerek birim yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Sonrasında kök, hipokotil ve kotiledonlar 70 °C’de en az 72 saat süre ile tutularak kurutulmuştur. Toplam kuru ağırlıkları yine hassas terazide tartılmış ve birim kuru ağırlıkları da hesaplanmıştır.

2.7. İstatistiksel Analizler

Çalışma verileri IBM SPSS Statistics 26 programına aktararak analizler tamamlanmıştır. Veriler değerlendirilirken sayısal değişkenler için tanımlayıcı istatistikler (ortalama, standart sapma, medyan) verilmiştir. Uygulanacak analizlere karar verebilmek için öncelikle tüm ölçümlere normal dağılım varsayımı için Kolmogorow Smirnov Testi (n>30) uygulanmıştır. Test sonucunda ölçümlerin normal dağılım varsayımını sağladığı görülmüş ve bu nedenle karşılaştırmalarda parametrik testler kullanılmıştır. İki den fazla bağımsız grup arasında ölçümlere göre farklılık olup olmadığı Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) ile incelenmiş olup hangi gruplar arasında farklılık olduğuna ise Tukey Testi (Homojenlik sağlandığında) ve Tamhane Testi (Homojenlik sağlanmadığında) ile bakılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda kullanılan seramik atık suyunda en fazla bulunan ağır metaller sırasıyla Cr, Pb Fe, Zn ve Mn’dir. Ağır metaller tohum çimlenmesi ve bitki büyüme ve gelişimi açısından genel olarak olumsuz etkiler gösterebilirler de bitkiler bu ağır metalleri tolere ederek olumsuz etkilerini kısmen bertaraf edebilirler. Hatta belli konsantrasyonlara kadar kendi yararlarına kullanabilirler. Örneğin Nedelkoska ve Doran (2000)’in da belirttikleri gibi Zn ağır metaller grubunda yer almasına karşın, bitkiler için mutlak gerekli mikro besin elementidir. Moustakas vd., (1994)’nin de çinkonun bitkiler için mutlak gerekli olan protein ve enzimlerin kofaktörü olarak görev aldığını vurgulamışlardır (Doğanoğlu 2018).

Ayrıca birçok familyaya ait bitkinin ağır metalleri bünyesinde biriktirdikleri bilinmektedir. Hiperakümülatör adı verilen bu bitkiler ağır metalleri toprak üstü

organlarında aşırı miktarda biriktirmelerine rağmen bunları yapraklara taşıyarak orada detoksifiye etmeleri nedeniyle bundan olumsuz etkilenmezler (Doğru vd., 2021). As, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, Zn gibi ağır metaller için hiperakümülatör olarak tanımlanmış yaklaşık 450 angiosperm türü (bitki türlerinin yaklaşık %0,2’si) bulunmaktadır. Her geçen gün bu özelliğe sahip yeni bitki türleri listeye eklenmektedir (Sun *et al.* 2006, Doğru vd., 2021). Çalışmamızda kullandığımız domates ve biber bitkileri Sun *et al.* (2006) ve Doğru vd., (2021)’in hiperakümülatör olarak belirledikleri *Solanum nigrum* gibi *Solanaceae* familyasına ait bitkilerdir.

3.1. Vigor İndeksleri (VI)

H-2274 tohumlarının Vigor İndeks değerlerinin tüm konsantrasyonlarda kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Ilica 256 tohumlarında ise istatistiksel olarak kontrole göre tüm konsantrasyonlarda anlamlı bir fark belirlenmiş olsa da H-2274’deki gibi düzenli bir artış ya da azalış gözlemlenmemiştir. Yine Ilica 256’da %75 (810) ve %100’lük konsantrasyonlarda (816) hem kontrol grubuna hem de %50’lik konsantrasyona oranla VI değerlerinde keskin bir düşüş belirlenmiştir. En fazla artışın her iki tohumda da %50’lik konsantrasyonda (H2274 için 6045; Ilica 256 için 1501) olduğu göze çarpmaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. H-2274 ve Ilica 256 çeşitlerine ait Vigor İndeksi (VI) değerleri

Konsantras. (%)	Vigor İndeksi (VI)	
	H-2274	Ilica 256
Kontrol	3738	1098
1	4176*	1280*
10	4410*	663*
25	5278*	1008*
50	6045*	1501*
75	4650*	810*
100	4717*	816*
F	1714,714	2591,429
p	0,000***	0,000***

*Kontrol grubundan farklı olan gruplar ***p<0,001

F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Fark=Tukey Testi

Yaptığımız çalışmada kullandığımız seramik atık suyunda Cr, Pb, Fe, Zn, Mn, As, Ni, Cu, Cd ve Hg gibi ağır metaller bulunmaktadır. Bu metallerden bazıları (As, Cd, Hg, Pb), La Rocca *et al.* (2009) ve Doğru vd., (2021)’nin belirttikleri gibi esansiyel değil iken; Cu, Fe, Mn, Ni ve Zn’nin ise bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için gereklidir. Bu metallerin fizyolojik etkilerini birbirinden bağımsız olarak değerlendiremediğimiz için ortaya çıkan tohum çimlenmesi ve fizyolojik gelişime olumlu katkılarının seramik atık suyun içinde bulunan söz konusu bazı ağır metallerle ilişkisi olduğunu söyleyebiliriz. Benzer şekilde

yapılan çalışmalarda, bakırın yüksek konsantrasyonlarda toksik olmasına karşın, enzim faaliyetlerinde, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında, DNA ve RNA sentezinde, hastalıklara ve zararlılara karşı direnç oluşturmada önemli rol oynayan birçok olumlu etkiye sahip olduğu belirtilmektedir (Yerli vd., 2020; Okçu vd., 2009; Ravent et al, 1999). Aynı zamanda bakır, çinko ve buna benzer ağır metallerin proteinler ve enzimler için katalitik ve yapısal bileşenler olarak önemli oldukları ve normal bitki büyüme ve gelişimi için kofaktör olarak görev aldıkları da bilinmektedir (Vural, 1993; Okçu vd., 2009). Ayrıca bakır, çinko, demir, mangan, molibden ve nikel gibi ağır metallerin, izin verilen sınırları aşmadığı sürece, bitkiler için mikro besin elementi olarak görev yaptıkları da rapor edilmiştir (Yerli vd., 2020).

Bizim çalışmamızda test edilen seramik atık suyun özellikle bazı konsantrasyonlarda bitkinin fizyolojik gelişimine olumlu etkileri belirlenmiştir. Kullandığımız atık su içinde en çok bulunan ağır metalin Cr olduğu yapılan analizlerle belirlenmiştir (Çizelge 1). Kara vd., (2022)'nin yaptığı çalışmada da Cr, Ni, Cu'nun ağır metal olmasına karşın belirli konsantrasyonlarda bitkiye olumlu katkı sağladığı vurgulanmaktadır. Bu da bizim çalışmamızı destekler niteliktedir. Yine aynı çalışmada Pb ve diğer ağır metallerin konsantrasyona bağlı olarak bitkinin farklı fizyolojik büyüme dönemlerinde farklı tepkiler verdiği belirtilmektedir. Ağır metallerin at dişi mısır (*Zea mays* L.)'da çimlenme ve erken fide gelişimi üzerine etkilerini belirlemek için yapılan bir çalışmada 800 ppm'lik kromun %90 çimlenme oranı gösterdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, çalışmamızda kullandığımız atık suyun % 100'lük konsantrasyonunda bulunan krom oranı 721,14 ppm ve H-2274 tohum çimlenme oranı ise %89 olarak belirlenmiştir (Ertekin ve Bilgen, 2021). Yapılan benzer bir çalışmada 64 ppm Pb uygulaması sonucunda Marul (*Lactuca sativa* L.) tohumlarının çimlenme yüzdeleri %60 olarak belirlenmiştir. Bu oran bizim Ilıca 256 tohumları ile yaptığımız çimlendirme deneylerinde %100'lük konsantrasyonda (56,12 ppm Pb) VI hesaplarken kullandığımız çimlenme yüzdesine (%48) benzerdir. Aynı çalışmada 5 ppm Zn' nin çimlenme yüzdesi %45 olarak tespit edilmiştir. Ilıca 256 ile yaptığımız çalışmada kullandığımız atık suyun %75'lik konsantrasyonunda da 5,5 ppm Zn bulunmaktadır. Benzer şekilde çimlenme oranı da %45 olarak tespit edilmiştir (Doğanoğlu 2018).

3.2. Uzunluk Ölçümleri (mm)

Kök birim uzunlukları Çizelge 3'te gösterilmiştir. Domates ve biber tohumlarının VI değerlerinde olduğu gibi en yüksek kök birim uzunluk değerlerine de %50'lik konsantrasyonlarda ulaşılmıştır. Ancak Ilıca 256'da %50 konsantrasyonun yanında %1'likte de aynı değere ulaşıldığı görülmektedir. H-2274 fideciklerinde kontrol grubundan

itibaren %50'lik konsantrasyona kadar olan serilerde genel olarak kök birim ortalama uzunluklarında artışlar belirlenmiştir. %75 ve %100'lük serilerde ise önceki konsantrasyona göre belirgin bir düşüş görülmüştür. Bununla birlikte bu konsantrasyon değerleri kontrole göre anlamlı bir fark oluşturmamıştır. Ilıca 256 da ise tüm serilerde istatistiksel olarak kontrole göre anlamlı bir artış gözlenmemiştir. Ancak, %10 ve %100 konsantrasyonlarda kök uzunluklarının kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde düşüş gösterdiği görülmektedir. Elde ettiğimiz bu veriler, Kara vd., (2022), Khan ve Khan (2010)'ın yaptıkları çalışmada da belirttiği gibi nikelin kök ve sürgün gelişimini olumsuz etkilediği yönündeki bulgusunu desteklemektedir. H-2274 tohumlarında %50, %75 ve %100'lük konsantrasyonlarda hipokotil uzunlukları kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermiştir. Ilıca 256 da ise, istatistiksel olarak kontrole göre bir farklılık olmasa da H-2274 de olduğu gibi en yüksek hipokotil birim ortalama uzunluk değerine %100'lük konsantrasyonda ulaşılmıştır (Çizelge 4).

Çizelge 3. H-2274 ve Ilıca 256 kök uzunlukları

Konsantras. (%)	Kök Uzunlukları (mm)	
	H-2274	Ilıca 256
Kontrol	22±10,025	9±3,668
1	28±11,733*	11±5,594
10	27±15,695	4±2,170*
25	35±16,951*	9±5,999
50	39±21,018*	11±5,641
75	25±9,155	9±4,154
100	24±9,678	6±2,835*
F	18,498	15,551
p	0,000***	0,000***

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

F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA),

Çizelge 4. H-2274 ve Ilıca 256 hipokotil uzunlukları

Konsantras. (%)	Hipokotil Uzunlukları (mm)	
	H-2274	Ilıca 256
Kontrol	22±5,044	9±3,431
1	20±5,030	9±4,520
10	22±5,763	9±2,940
25	23±5,599	9±5,021
50	26±5,614*	8±4,355
75	25±4,926*	9±4,170
100	29±5,191*	11±4,049
F	24,666	1,66
p	0,000***	0,13

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

F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Fark=Tukey Testi

3.3. Yaş ve Kuru Ağırlık Tayinleri

H-2274 fidecikleri kök yaş ağırlıkları açısından değerlendirildiğinde, kontrol grubuna kıyasla tüm konsantrasyonlarda anlamlı artışlara rastlanmıştır. %75'lik ve 100'lük serilerde ise önceki konsantrasyona göre belirgin düşüşler olmasına rağmen kontrole göre

daha yüksek yaş ağırlık değerlerine ulaşmıştır. İlica 256 tohumları kök yaş ağırlıklarında ise, kontrol grubuna kıyasla, istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ancak %75'lik konsantrasyonda en fazla yaş ağırlık değerine ulaşmıştır. En düşük değer ise %100'lük konsantrasyonda gözlemlenmiştir. Sekiz farklı arpa çeşidi ile yapılan bir çalışmada, farklı Cr konsantrasyonlarının (0, 75, 150 ve 225 µM) konsantrasyon artışına bağlı olarak kök yaş ve kuru ağırlıklarını genellikle önemli düzeyde azalttığı belirtilmiştir (Yıldız vd., 2010). Bizim İlica 256 kök birim yaş ağırlıklarından elde ettiğimiz değerlerde de en yüksek konsantrasyon olan %100'lük seride (721,14 ppm) en düşük kök birim yaş ağırlık değeri (0,0023 gr) belirlenmiştir. Benzer şekilde İlica 256 kotiledon birim yaş ağırlıkları kontrol için 0,0087 iken % 50'lik konsantrasyondan itibaren önemli azalışlar dikkat çekmektedir. % 50'lik konsantrasyon (360,57 ppm Cr) uygulamasında 0,0075 gr, %75'lik konsantrasyon (540,86 ppm Cr) uygulamasında 0,0084 gr ve %100'lük konsantrasyonda (721,17 ppm Cr) uygulamasında ise 0,0066 gr kotiledon birim yaş ağırlığı değerlerine ulaşmıştır.

Kuru ağırlık değerlerine bakıldığında ise, H-2274'te kontrole göre diğer serilerde istatistiksel olarak bir fark görülmemiştir. Ancak İlica 256 serisinde %75'lik konsantrasyonda kontrole göre anlamlı bir artış dikkat çekicidir (Çizelge 5).

Çizelge 5. H-2274 ve İlica 256 kök yaş ve kuru ağırlıkları

Konsantras. (%)	Kök Yaş Ağırlığı (g)		Kök Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlica 256	H-2274	İlica 256
Kontrol	0,0014	0,0023	0,0002	0,0005
1	0,0018*	0,0022	0,0003	0,0005
10	0,0018*	0,0013	0,0003	0,0004
25	0,0020*	0,0024	0,0004	0,0005
50	0,0032*	0,0022	0,0004	0,0004
75	0,0021*	0,0030	0,0003	0,0015*
100	0,0022*	0,0010	0,0003	0,0006
F	94,714	12,035	1,429	45,714
p	0,000***	0,061	0,272	0,000***

*Kontrol grubundan farklı olan gruplar (p<0,05) ***p<0,001
F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Fark=Tukey Testi

H-2274 hipokotil yaş ağırlıkları kontrol grubuna kıyasla tüm serilerde istatistiksel olarak anlamlı artışlar göstermiştir. En yüksek değerler ise %100'lük konsantrasyonda elde edilmiştir. İlica 256 serilerinde ise en yüksek değerlere %75 ve %100'lük konsantrasyonlarda erişilmekle birlikte, %10'luk konsantrasyon dışındaki tüm konsantrasyonlarda kontrole göre anlamlı bir fark kaydedilmiştir. Hipokotil kuru ağırlıklarında ise, H-2274'te, tüm konsantrasyonlarda bir miktar artış görülse bile bu değerler kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. İlica 256 da ise sadece %100 lük

konsantrasyonda kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulunmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 6. H-2274 ve İlica 256 hipokotil yaş ve kuru ağırlıkları

Konsantras. (%)	Hipokotil Yaş Ağırlığı (g)		Hipokotil Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlica 256	H-2274	İlica 256
Kontrol	0,0099	0,0052	0,0006	0,0009
1	0,0112*	0,0055*	0,0007	0,0009
10	0,0114*	0,0050	0,0007	0,0010
25	0,0140*	0,0047*	0,0007	0,0008
50	0,0133*	0,0040*	0,0007	0,0009
75	0,0124*	0,0059*	0,0008	0,0011
100	0,0149*	0,0056*	0,0008	0,0014*
F	914,857	121,714	1,429	12
p	0,000***	0,000***	0,272	0,000***

*Kontrol grubundan farklı olan gruplar (p<0,05) ***p<0,001
F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Fark=Tukey Testi

Çizelge 7'deki verilere bakıldığında, H-2274 serilerinin kotiledon yaş ağırlıkları, kontrol grubuna oranla, daha yüksek değerlere ulaşmıştır ve istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Ancak %75'lik konsantrasyonun kontrole aynı değerde olduğu görülmüştür. %50'lik konsantrasyonda en yüksek değer tespit edilmiştir. İlica 256 tohumları yaş ağırlıklarında ise, %1'lik konsantrasyonda bir artış görüldükçe, diğerlerinde kontrol grubuna kıyasla azalmalar kaydedilmiştir. Bu azalmalar, %25'lik konsantrasyon hariç, istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. En düşük kotiledon yaş ağırlığına ise %100'lük seride rastlanmıştır. Kotiledon kuru ağırlıklarına bakıldığında ise, hem H-2274'de hem de İlica 256'da sadece %100'lük konsantrasyonlarda kontrole göre istatistiksel olarak anlamlı bir artış (p<0.05) göze çarpmaktadır.

Çizelge 7. H-2274 ve İlica 256 kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları

Konsantras. (%)	Kotiledon Yaş Ağırlığı (g)		Kotiledon Kuru Ağırlığı (g)	
	H-2274	İlica 256	H-2274	İlica 256
Kontrol	0,0038	0,0087	0,0008	0,0019
1	0,0047*	0,0093*	0,0009	0,0018
10	0,0050*	0,0070*	0,0008	0,0020
25	0,0044*	0,0086	0,0008	0,0019
50	0,0053*	0,0075*	0,0008	0,0018
75	0,0038	0,0084*	0,0008	0,0021
100	0,0041*	0,0066*	0,0015*	0,0022*
F	102,857	295,429	20,429	6,857
p	0,000***	0,000***	0,000***	0,001**

*Kontrol grubundan farklı olan gruplar (p<0,05). ***p<0,001
F=Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Fark=Tukey Testi

4. Sonuç

Bitki gelişimi sürecinde birden fazla ağır metalin birlikte gösterdiği etkiler, tek başına gösterdiği etkilerden farklı olabilmektedir. Yaptığımız çalışma, kullandığımız seramik atık suyunun içeriğinde bulunan her bir ağır metalin, bitki çimlenmesi ve gelişimi üzerinde ayrı ayrı etkilerini göstermese de ağır metallerin birlikte gösterdikleri

etkileri ile ilgili önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Yapılan denemelerde, bitki çimlenmesi ve büyümesi açısından %50'lik konsantrasyonun genel olarak diğerlerinden farklı etkiler oluşturduğu gözle çarpılmaktadır. Bu da atık suyun içerdiği farklı oranlardaki ağır metal içeriklerinin bitkinin büyüme ve gelişimini farklı şekillerde etkileyebileceğini işaret etmektedir. Ayrıca, çalışmamızda elde edilen sonuçların endüstriyel atık suların bitkinin ileri gelişim evrelerindeki etkilerinin araştırılacağı gelecek çalışmalara ışık tutacağı öngörülmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Bu makalenin bir kısmı (Vigor İndeklerini hesaplamada kullanılan çimlenme yüzdeleri), 13-14 Mayıs 2023 tarihleri arasında İstanbul'da düzenlenen 1.Uluslararası Boğaziçi Bilimsel Çalışmalar Kongresi'nde sözlü bildiri olarak (online) sunulmuş ve özeti "Seramik Atık Suyunun Tohum Çimlenmesi Üzerine Etkileri" başlığı ile kongre bildiri özet kitabında basılmıştır.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deney, Yazma – orijinal taslak

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

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

5. Kaynaklar

- Abdul-Baki, A.A. and Anderson, J.D., 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop science*, **13(6)**, 630-633.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Babaoğlu, M., Gürel, E. ve Özcan, S., 2001. Bitki Biyoteknolojisi I: Doku Kültürü ve Uygulamaları, Selçuk Üniversitesi Yayınları, 374.
- Başaran, D., 1990. Bitki Doku Kültürleri, Dicle Üniversitesi, 208.
- 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.

<https://doi.org/10.17482/uumfd.417228>

- Doğru, A., Altundağ, H. ve Dündar, Ş., 2021. Bitkilerde ağır metal hiperakümülyasyonu ve fitoremediasyon. *Journal of Agricultural Biotechnology*, **2(2)**, 32-55.
- Dündar, M.Ş., Altundağ, H., Kaygaldurak, S., Şar, V. ve Acar, A., 2012. Çeşitli endüstriyel atık sularda ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Sakarya University Journal of Science*, **16(1)**, 6-12.
- Emir, G., 2019. Seramik endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyon yöntemi ile arıtılması. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 5.
- 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.
<https://doi.org/10.46309/biodicon.2021.889901>
- 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.
<https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.1.25>
- Kara, E., Sarıkaya, M. F., Çilesiz, Y., Akkaş, F., Karaköy, T., ve Baktemur, G., 2022. Farklı dozlarda uygulanan ağır metallerin in vitro koşullarda biber (*Capsicum annuum*) bitkisi gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, **9(4)**, 957-967.
<https://doi.org/10.30910/turkjans.1141400>
- Karaer, M., Gülümser, E., Başaran, U. ve Mut, H., 2021. Arıtılmış Atık Su Seviyelerinin mürdümük (*Lathyrus sativus L.*) genotiplerinin çimlenme gelişimine etkisi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, **5(4)**, 919-926.
<https://doi.org/10.46291/ISPECJASvol5iss4pp919-926>
- Khan M.R. and Khan M.M., 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.
- La Rocca, N., Andreoli, C., Giacometti, G.M., Rascio, N. and Moro, I., 2009. Responses of the Antarctic microalga *Koliella antarctica* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) to cadmium contamination. *Photosynthetica*, **47**, 471-479.
<https://doi.org/10.1007/s11099-009-0071-y>
- Moustakas M., Lanaras T., Symeonidis L. and Karataglis S., 1994. Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress. *Photosynthetica*, **30**, 389-396.
- Nedelkoska T.V. and Doran P.M., 2000. Characteristics of heavy metal uptake by plants species with potential for, phytoremediation and phytomining. *Minerals Engineering*, **13**, 549-561.
[https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(00\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(00)00035-2)

- Okcu M., Tozlu E., Kumlay A.M., Pehlivan M., 2009. Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. Alinteri Zirai Bilimler Dergisi, **17(2)**, 14-26.
- Özay, C. ve Mammadov, R., 2013. Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **15(1)**, 68-77.
- Özay, C., 2018. Bazı ağır metallerin yem şalgamı'nda (Brassica rapa L. var. rapa) tohum çimlenmesi ve fide büyümesi üzerine etkisi. Journal of the Institute of Science and Technology. **8(3)**, 71-76.
<https://doi.org/10.21597/jist.458578>
- Pagano, S.M., ve Bahadır, E.B., 2013. Türkiye'de endüstriyel atıksularda toksisite izleme yönteminin atıksu parametreleri ile istatistiksel ilişkilendirilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **2(2)**, 1-8.
<https://doi.org/10.28948/ngumuh.239378>
- Ravent, J. A., Evans, M. C. and Korb, R. E., 1999. The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms. Photosynthesis research, **60**, 111-150.
- Sevgi, K. ve Leblebici, S., 2022. Bitkilerde ağır metal stresine verilen fizyolojik ve moleküler yanıtlar. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, **7(4)**, 528-536.
<https://doi.org/10.35229/jaes.1160228>
- Stojanović, M.D., Stevanović, D.R., Milojković, J.V., Grubišić, M.S. and Ileš, D.A., 2010. Phytotoxic effect of the uranium on the growing up and development the plant of corn. Water, Air and Soil Pollution, **209**, 401-410.
<https://doi.org/10.1007/s11270-009-0208-4>
- Sun, R., Zhou, Q. and Jin, C., 2006. Cadmium accumulation in relation to organic acids in leaves of Solanum nigrum L. as a newly found cadmium hyperaccumulator. Plant and Soil, **285**, 125-134.
<https://doi.org/10.1007/s11104-006-0064-6>
- Tabuman, F.C., 1995. Endüstriyel, Evsel Atıksuların ve Alıcı Ortamların İzlenmesi, İller Bankası Genel Müdürlüğü Yayını, 48.
- 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.
- Vural, H., 1993. Ağır Metal İyonlarının Gıdalarda Oluşturduğu Kirlilikler. Ekoloji **8**, 3-8.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U. ve Tüfenkçi, Ş., 2020. Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. Türk Doğa ve Fen Dergisi, **9(Özel Sayı)**, 103-114.
<https://doi.org/10.46810/tdfd.718449>
- 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.