

**Atf İçin:** Atsak, B. ve Çirka, M., (2024). Bor ve Arıtma Çamur Uygulamalarının Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) Ağır Metal ve Mikro Element İçeriğine Etkisi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(3), 944-957.

**To Cite:** Atsak, B. & Çirka, M., (2024). Effect of Boron and Sewage Sludge Applications on Heavy Metal and Micro Element Content of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of the Institute of Science and Technology, 14(3), 944-957.

## Aritma Çamuru ve Bor Uygulamalarının Fasulyedeki (*Phaseolus vulgaris* L.) Ağır Metal ve Mikro Element Düzeyleri Üzerine Etkisi

Berrin ATSAK<sup>2</sup>, Mustafa ÇİRKA<sup>1\*</sup>

### Öne Çıkanlar:

- Stres
- Toksik etki

### Anahtar Kelimeler:

- Bor
- Ağır metallere
- Fasulye
- Aritma çamuru
- Mikro element

### ÖZET:

Bu çalışma, artan dozlarda bor ve arıtma çamuru uygulamalarının fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde ağır metal ve mikro element içeriğindeki değişimlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. İklim odasında tam şansa bağlı tesadüf parselleri deneme desenine göre hazırlanan araştırma, 3 tekerrürlü olacak şekilde yürütülmüştür. Standart bodur fasulye çeşidi olan Mina'nın kullanıldığı çalışmada, dört farklı bor dozu (B<sub>0</sub>:0 mg/kg, B<sub>10</sub>:10 mg/kg, B<sub>20</sub>:20 mg/kg, B<sub>40</sub>:40 mg/kg) ve dört farklı arıtma çamuru dozu (AÇ<sub>0</sub>:%0, AÇ<sub>5</sub>:%5, AÇ<sub>10</sub>:%10, AÇ<sub>20</sub>:%20) deneme faktörleri olarak kullanılmıştır.

Araştırmada atık çamuru uygulamalarının kontrole kıyasla fasulyedeki mikro elementlerden alüminyum (Al), bakır (Cu), mangan (Mn) ve çinko (Zn), demir (Fe), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni), arsenik (As), kadmiyum (Cd) ve kobalt (Co) gibi elementlerin içeriğini arttırmada etkili olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda bor içeriğinde de azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek mikro element ve ağır metal içerikleri %5 ve %10 arıtma çamuru uygulamalarında ölçülmüştür. Diğer taraftan bor uygulamalarının fasulye bitkisindeki alüminyum, bakır, bor, çinko, kobalt, mangan ve nikel içeriğini kontrol bitkilerine kıyasla yükselttiği, demir, arsenik, kadmiyum ve kurşun içeriklerini ise düşürdüğü tespit edilmiştir.

Çalışma, arıtma çamuru uygulamaları sonucu artan metal içeriklerinin olumsuz etkilerinin bor uygulamalarıyla tolere edebileceğini göstermiştir. Bu tür bor uygulamalarıyla bitkilerde ağır metal kirliliğinin azaltılmasının mümkün olabileceği görülmektedir.

## Impact of Sewage Sludge and Boron Applications on the Levels of Heavy Metals and Micro Elements in Beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

### Highlights:

- Stress
- Toxic effect

### Keywords:

- Boron
- Heavy metals
- Phaseolus vulgaris* L.
- Sewage Sludge
- Micro Element

### ABSTRACT:

This study was conducted to determine the changes in the heavy metal and microelement contents of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants with increasing doses of boron and sewage sludge applications. The experiment, which was set up according to the completely randomized design (CRD) in the climate chamber, was carried out with three replications. In the study where Mina, a standard dwarf bean variety, was used, four different boron doses (B<sub>0</sub>:0 mg/kg, B<sub>10</sub>:10 mg/kg, B<sub>20</sub>:20 mg/kg, B<sub>40</sub>: 40 mg/kg) and four doses of sewage sludge (SS<sub>0</sub>: %0, SS<sub>5</sub>: %5, SS<sub>10</sub>: %10, SS<sub>20</sub>: %20) were used as trial factors.

In the study, sewage sludge treatments were found to be more effective in increasing the content of microelements in beans compared to control, such as aluminum, copper, manganese, zinc, iron, chromium, lead, nickel, arsenic, cadmium, and cobalt. At the same time, it was observed to cause a decrease in the content of boron. The highest microelement and heavy metal contents were measured at 5% and 10% sewage sludge doses. On the other hand, it was determined that boron applications increased the aluminum, copper, boron, zinc, cobalt, manganese, and nickel contents of bean plants compared to control plants, and decreased the iron, arsenic, cadmium, and lead contents.

The study showed that the negative effects of increased metal contents as a result of sewage sludge applications can be tolerated with boron applications. It seems that it may be possible to reduce heavy metal pollution in plants with such boron treatments.

<sup>1</sup>Mustafa ÇİRKA (Orcid ID: 0000-0001-6506-7407), İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, İğdır, Türkiye

<sup>2</sup>Berrin ATSAK (Orcid ID: 0000-0003-3405-1941), Türkiye, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Van, Türkiye

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Mustafa ÇİRKA, e-mail: m\_cirka@hotmail.com

## GİRİŞ

Orta ve Güney Amerika'nın gen merkezi olduğu (Bitocchi ve Bellucci, 2013) fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisi, ılıman sıcak ekolojilere iyi bir adaptasyon sağlamıştır. Çiçeklenme döneminde iklim istekleri açısından nispi neme, kuraklığa ve bilhassa çiçeklenme döneminde yüksek sıcaklığa karşı hassastır (Şehirli, 1988). Gerek taze ve gerekse kuru olarak tüketilebilen fasulye, aynı zamanda konservelik ürün olarak endüstriyel alanlarda işlenebilmektedir (Çelmeli, 2018). Dünya genelinde ekim alanı ve üretim miktarı bakımından yemeklik tane baklagiller içerisinde ilk sırada yerini muhafaza edebilmektedir. Bu bakımdan dünyada 1.594.034 ha alanda taze fasulye ekimi yapılarak 23.340.915 ton taze ürün elde edilmiştir. Benzer şekilde 36.792.490 ha'lık alanda kuru fasulye ekimi yapılarak ve bu alanda 28.346.198 ton ürün toplanmıştır (FAO, 2022). Mineral madde, vitamin ve protein açısından zengin bir içeriğe sahip olan fasulye (Reyes-Moreno ve Parades-Lopez 1993), gerek az gelişmiş ve gerekse gelişmekte olan ülkelerde fasulyenin ete göre uygun fiyata satılıyor olması, bu ürünün etin yerine kullanılmasını sağlamıştır (Broughton ve ark., 2003). Buna ilave olarak, fasulyenin yüksek protein içeriğinin yanı sıra diyetel lif kapsamı, mineraller (magnezyum, fosfor, potasyum ve kalsiyum) (Akçin, 1988) ve ayrıca zengin vitamin içeriğinin daha iyi anlaşılmasından dolayı, gelişmekte olan ülkelerde bu bitkinin kullanımını artırmıştır (Lucier ve ark., 2000; Maredia 2012; Laroche ve ark., 2016).

Arıtma çamuru, süs bitkisi yetiştiriciliğinde ve düşük verimli topraklarda gerek toprak düzenleyici olarak ve gerekse organik gübre bakımından legal sınırlar içerisinde kullanılmaktadır (Demirkan ve ark., 2014). Kentsel atıkların arıtılmaları neticesinde katı ve sıvı olarak ortaya çıkan kokulu bir atık olan arıtma çamurları, arıtma yöntemine bağlı olarak %0.25-%12 arasında katı madde içermektedirler (Durak, 2005). Bünyesindeki mikro ve makro besin elementleri bakımından arıtma çamurları, alternatif gübre kaynağı konumundadır. Bu ve buna benzer fikirler çamurun birçok ülkede kullanımını artırmıştır (Düring ve Gäth, 2002). Bünyesinde toprak için yararlı olabilen bakteriler barındıran arıtma çamuru ve suyu alternatif bir kaynak konumundadır. Başka bir deyişle, topraktan pestisitlerin ve ağır metallerin uzaklaştırılması ve azot bakterileri gibi yararlı bakterilerin toprağa kazandırılması açısından yararlı olabilir (Oved ve ark., 2001). Artan dozlardaki bu çamurun uygulamaları neticesinde, kontrol bitkilerinde göre toprağın yarayışlı Cu, Mn, Fe, B ve Zn içeriğinde artışların olduğu bilinmektedir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak ortaya çıkabilen bu artışların, bitki besin elementleri ile arıtma çamuru arasındaki mineralizasyon ve topraktaki pH değişiminden kaynaklanabilir (Küçükhemek ve ark., 2006).

Mikro elementler arasında yer alan ve tek ametal olan bor elementinin turmanil, kompleks borosilikat mineralleri mevcuttur. Diğer bir ifadeyle, diğer elementlerle bileşik oluşturduğundan dolayı bor elementi doğada saf olarak bulunmaz (Sür ve ark., 2001). Bitki hücre duvarının yapısal işlevinde rol alan bor elementi, arıtma çamuru içerisindeki ağır metallerin bitki hücrelerine girmesine engel olmaktadır (Wu ve ark., 2017). Toksik elementlerin bitkideki olumsuz etkilerini azaltan bor, aynı zamanda bitki hücre duvarının oluşmasında birinci derecede (Riaz ve ark., 2021) ve ayrıca hücre membranlarının yapısal bütünlüğünü koruma hususunda önemli rollere sahiptir. Bor noksanlığına bağlı olarak hücre membranlarının stabilitesi bozulmakta ve buna bağlı olarak membran oldukça geçirgen/sızdıran bir yapıya dönmektedir (Dordas ve Brown 2005). Bitki hücre duvarının oluşmasında rol alan ve bitki dokularının çoğalmasını sağlayan bor, karbonhidrat sentezlenmesini ve bitkideki şekerin yer değiştirmesini sağlamaktadır (Plaster, 1992; McCauley ve ark., 2009).

Yapılan kaynak taramalarında bitkilerde arıtma çamuru ve borun etkinliğine dair yeteri düzeyde çalışmalar tespit edilemediğinden bu çalışmada fasulye bitkisinde arıtma çamurunun ağır metal ve mikro

element içeriği üzerine bor dozlarının etkilerinin incelenmesi ve literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

## MATERYAL VE METOT

### Materyal

Denemede kullanılan Mina fasulyesi çeşidi Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nin Tarla Bitkileri Bölümü'nden tedarik edilmiştir. Tohum ekim işlemlerine başlamadan önce, ekimi yapılacak tohumların çimlenme yüzdeleri değerlendirilmiştir. Araştırma boyunca bitkilerden yaprak örnekleri elde etmek amacıyla bitkinin morfolojik özelliklerinin gelişimi izlenmiştir.

Çalışmada katı ortam materyalleri olarak arıtma çamuru Van Edremit Biyolojik Kanalizasyon Müdürlüğü'nden ve diğer katı materyal olan toprak ise Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nin Tarla Bitkileri Bölümüne ait deneme alanından tedarik edilmiştir. Çamur olarak getirilip havadar bir ortamda kurutulan arıtma çamuru, kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten geçirilerek öğütme işlemi tamamlanmıştır. Aynı şekilde toprak örnekleri de 2 mm'lik elekten geçirilmiş ve hazırlanan arıtma çamuruyla karıştırılarak aşağıda belirtilen şekilde 1.5 litrelik saksılara doldurulmuşlardır (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Denemede kullanılan arıtma çamuru ve toprak oranları

Katı Ortam (1500 g)	Toprak (g)	Arıtma Çamuru (g)
Toprak+AÇ <sub>5</sub>	1425	75
Toprak+AÇ <sub>10</sub>	1350	150
Toprak+AÇ <sub>20</sub>	1200	300

### Metot

Araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarla Bitkileri Bölümü'nün iklimlendirme odasında tam şansa bağlı tesadüf parselleri deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Arıtma çamuru (AÇ<sub>0</sub>:%0, AÇ<sub>5</sub>:%5, AÇ<sub>10</sub>:%10 ve AÇ<sub>20</sub>:%20) 4 doz olarak katı şekilde uygulanırken, bor elementi ise (B<sub>0</sub>:0 mg/kg, B<sub>10</sub>: 10 mg/kg, B<sub>20</sub>: 20 mg/kg, B<sub>40</sub>: 40 mg/kg) şeklinde 4 doz sıvı olarak uygulamalar için hazırlanmıştır. Bor kaynağı olarak kullanılan borik asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>), saf suda çözdürüldükten sonra hazırlanan solüsyonun yarısı tohum ekimi ile birlikte kullanılırken, diğer yarısı ise fide çıkışları tamamlandıktan ve saksılarda tekleme yapıldıktan sonra uygulanmıştır. Sulama suyu gereksinimi 2 günde her bir saksıya 80cc saf su verilerek karşılanmıştır. Her saksıya 4 adet tohum ekilmiştir. Kontrol gruplarında bitki çıkışı ilk 3 gün içinde meydana gelmiş, ancak çıkış süresi arıtma çamurunun dozajına bağlı olarak 4 ila 5 gün arasında değişmiş ve bitkilerde stresin bariz görüldüğü andan itibaren çalışma sonlandırılmıştır.

**Çizelge 2.** Çalışmada kullanılan deneme toprağı ve arıtma çamuruna ait analiz sonuçları

Materyal	O.M. %	pH	Tuz µS/cm	Fe	Zn	Mn	Cu	Co	Ni	Cd	Cr
AÇ	29.8	7.72	1582	5815	3146	1013.9	539.3	388	177.2	100	1897
Toprak	0.53	8.78	213	35.1	11.4	28.6	12.2	3.6	4.1	3.54	1.54

Mikro elementler ve ağır metallerin analiz edilebilmeleri için bitkilerin toprak üstü örnek aksamaları önce musluk suyundan ve daha sonra saf sudan geçirilerek 48 saat boyunca 40 °C sıcaklıkta kurutulmaya bırakılmışlardır. Kurutulan bitki örnekleri bitki öğütme değirmeni ile öğütülerek analiz edilebilecek hale getirilmiştir ve Kacar ve İnal, (2008)'e göre hazırlanmıştır. Hazır hale getirilen bitki örneklerinde ağır metallerin ve mikro elementlerin analizleri için gerekli olan ekstraktlar yaş yakma yöntemiyle elde edilmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Elementlerin okunması ise ICP-OES cihazı ile yapılmıştır.

Çalışmada katı ortam materyali olarak kullanılan arıtma çamuru ve toprak örneklerinin ağır metal ve mikro element içerikleri (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) hazırlanan örneklerin okuması ICP-OES cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Kacar ve İnal, 2008). Toprağın ve arıtma çamurundaki pH ve tuzluluk tespiti 1:2.5 oranında hazır hale getirilen örneklerin su süspansiyonunda yapılmıştır (Grewelling ve Peech, 1960). WalkeyBlack (1947)'nin modifiye edilmiş yöntemine göre organik madde analizleri yapılmıştır.

### Verilerin İstatistiksel Analizi

Araştırma sonunda elde edilen değerlerin, Costat (6.34 v.) paket programı ile varyans analizleri yapılmıştır. Ortalamalar ise LSD (Asgari Önemli Fark) çoklu karşılaştırma testine tabi tutularak gruplandırılmıştır.

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### Arıtma Çamuru ve Bor Uygulamaların Fasulyede Mikro Element İçerikleri Üzerine Etkisi

Arıtma çamuru uygulamaları içerisinde yer alan AÇ<sub>20</sub> uygulamasında çıkışlar olmadığından herhangi bir ölçüm gerçekleşmemiştir. Bundan dolayı arıtma çamurunun son dozu olan AÇ<sub>20</sub> uygulaması çizelgelerde yer almamıştır.

Çalışmada artan dozlarda bor uygulamalarının fasulye bitkisindeki bor içeriğinde artışlara neden olduğu tespit edilmiştir. Kontrol grubunda (B<sub>0</sub>) 485.44 mg/kg olan bor içeriği, en yüksek doz olan B<sub>40</sub> uygulamasında 994.67 mg/kg'a kadar yükselmiştir. Ortalama arıtma çamuru uygulamalarında ise, artan dozlarda çamura bağlı olarak bor içeriklerinde azalmaların olduğu saptanmıştır. Kontrol grubunda (AÇ<sub>0</sub>) 864.25 mg/kg olan bor, AÇ<sub>10</sub> dozunda ise 429.67 mg/kg olarak ölçülmüştür (Çizelge 3).

Deneme faktörlerine ait interaksiyonun fasulyenin bor miktarına olan etkilerine bakıldığında en düşük değer 306.67 mg/kg ile AÇ<sub>10</sub>xB<sub>20</sub> uygulamasından, en yüksek değer ise 1.418,67 mg/kg ile AÇ<sub>0</sub>xB<sub>40</sub> dozundan alındığı saptanmıştır. Genel itibariyle artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte bitkide bor içeriklerinde azalmaların olduğu görülmektedir (Şekil 1A). Artan arıtma çamuru dozlarında bor miktarında görülen bu düşüşün muhtemelen arıtma çamurunun ayrışmasıyla birlikte toprakta demir ve alüminyum oksit oranlarında meydana gelen artışın borun toprak tarafından oldukça fazla tutunmasına neden olduğu düşünülmektedir. Elrashidi ve O'Connor (1982), kalsiyum karbonatların yanı sıra pH değerlerine bağlı olarak demir ve alüminyum oksit içeriklerinin de bor miktarında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Şekil 1A incelendiğinde, artan arıtma çamuru uygulamalarıyla birlikte bitkide bor miktarlarında azalmaların olduğu görülmektedir. Bu durumun, bitkide bor alınımının topraktaki organik maddenin artışı ile ilişkili olduğunu söyleyebiliriz. Çalışma sonuçlarını destekler mahiyette yapılan bir araştırmada Budak ve Günel (2015), topraktaki yarayışlı bor içeriği ile toprak organik madde seviyesi arasında negatif bir bağ olduğunu rapor etmişlerdir.

Çalışmada bor dozlarının bitkide bakır içeriğine olan etkisi artma ve azalma şeklinde gerçekleşmiştir. Kontrole göre artışın olduğu B<sub>10</sub> (21.27 mg/kg) dozundan sonra B<sub>20</sub> (19.44 mg/kg) dozunda düşüş sağlanmış ve B<sub>40</sub> (23.17 mg/kg) dozunda tekrar yükselmiştir. En düşük bakır içeriği 15.02 mg/kg ile kontrol grubunda (B<sub>0</sub>) görülürken, en yüksek bakır içeriği 23.17 mg/kg ile B<sub>40</sub> dozunda saptanmıştır (Çizelge 3). Arıtma çamuru ve bor interaksiyonuna bakıldığında, en düşük bakır içeriğinin 5.87 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub> ve en yüksek bakır miktarının ise 28.10 mg/kg ile B<sub>40</sub>xAÇ<sub>10</sub> uygulamalarından alındığı tespit edilmiştir (Şekil 1B). Artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte bitkide bakır içeriğinin artıyor olması, çamurun bakır içeriğinin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yürütülen çalışmalarda, arıtma çamuru uygulanmış topraklarda organik madde içeriğinin arttığı (Torri ve ark., 2003), böylelikle organik maddelerin minerallere dönüşmesi neticesinde meydana gelen karbonik ve

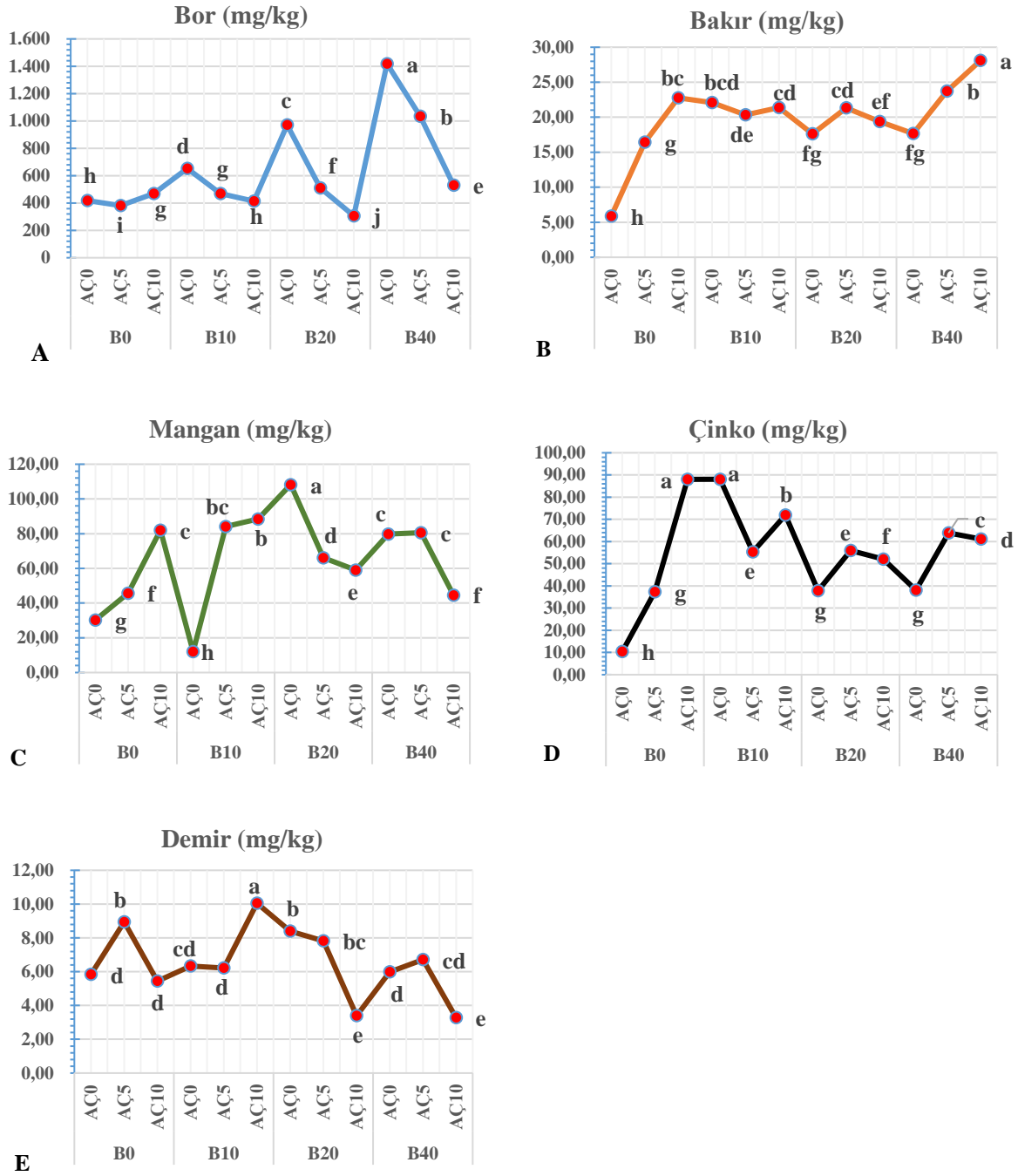
inorganik asitlerin, topraktaki pH'nın düşmesine neden olduğu ve bu durumda mikro elementlerin bitkideki yarayışlılığını artırabildiği bildirilmektedir (Chang ve ark., 1991; McCauley ve ark., 2017).

**Çizelge 3.** Bor ve arıtma çamuru uygulamalarının sonucunda börülce bitkisinin mikro element içeriği ortalamaları ve oluşan LSD grupları

Uygulamalar		Bor (B)*	Bakır (Cu)*	Mangan (Mn)*	Çinko (Zn)*	Demir (Fe)*
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bor Ort.	B <sub>0</sub>	485.44 D	15.02 D	52.64 D	45.26 D	6.74 B
	B <sub>10</sub>	511.89 C	21.27 B	61.52 C	71.79 A	7.54 A
	B <sub>20</sub>	595.67 B	19.44 C	77.78 A	48.63 C	6.54 B
	B <sub>40</sub>	994.67 A	23.17 A	68.33 B	54.38 B	5.33 C
Arıtma Çamur Ort.	AÇ <sub>0</sub>	865.25 A	15.82 C	57.61 B	43.60 C	6.64 B
	AÇ <sub>5</sub>	645.83 B	20.46 B	69.10 A	53.16 B	7.43 A
	AÇ <sub>10</sub>	429.67 C	22.90 A	68.49 A	68.29 A	5.54 C
LSD (%5) Bor		7.64	0.65	2.37	0.98	0.48
LSD (%5) AÇ		6.61	0.56	2.05	0.85	0.41
LSD (%5) B x AÇ		22.91	1.95	7.11	2.93	1.43

\*: Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

Artan dozlarda bor uygulamalarında fasulye bitkisinde mangan düzeyi artış gösterirken, B<sub>40</sub> dozunda düşüş göstermiştir. Bitkideki en düşük mangan içeriği (52.64 mg/kg) B<sub>0</sub> dozu bor uygulamasından (kontrol) alınırken en yüksek mangan değeri ise 77.78 mg/kg ile B<sub>20</sub> dozundan elde edilmiştir. Çirka (2023) tarafından yürütülen bir çalışmada, artan bor dozlarıyla (50 mg/kg, 100 mg/kg ve 200 mg/kg) birlikte bitkide mangan içeriğinin azaldığı rapor edilmiştir. Elde edilen veriler arasında en yüksek bor dozunda (B<sub>40</sub>) mangan içeriğinin düşüşe geçmesi ile belirtilen kaynak arasında bir uyumun olduğunu söylenebilir. Bor uygulamalarıyla beraber bitkide mangan içeriğinin azalması, mangan ile bor arasında gerçekleşebilen adsorbsiyondan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu anlamda Ren ve ark. (2009) tarafından yürütülen bir çalışmada, mangan oksitlerin boru adsorbe ettiklerini bildirmişlerdir. Arıtma çamurunun artan dozlarında mangan içeriği artmış ve düşmüştür. En yüksek mangan seviyeleri aynı grupta yer alan AÇ<sub>5</sub> ve AÇ<sub>10</sub> dozlarında (sırasıyla 69.10 mg/kg ve 68.49 mg/kg) ve en düşük değer ise AÇ<sub>0</sub> dozunda 57.61 mg/kg olarak ölçülmüştür (Çizelge 3). Faktörlerin interaksiyon sonuçlarına göre en düşük mangan içeriğinin 12.03 mg/kg ile B<sub>10</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamasından ve en yüksek mangan içeriğinin ise 108.28 mg/kg ile B<sub>20</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamasından alındığı görülmektedir (Şekil 1C). Kacar ve Katkat (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, organik madde bakımından yüksek olan toprakların, kireçli-alkalin toprakların, kumlu tekstürlü ve kötü drenajlı toprakların bitkilerin mangan alımını etkileyen faktörler arasında yer aldığı bildirmişlerdir. Topraktaki organik maddenin mineralizasyonu neticesinde H<sup>+</sup> iyonları ortaya çıkabilmekte ve buna bağlı olarak toprak pH'ında meydana gelen düşüşten (Garzon ve ark., 2011) dolayı, mangan organik maddeler tarafından daha fazla oranda adsorbe olurken (Allard ve ark., 2017), bitkinin mangan içeriği de azalmaktadır.

Bor ve Arıtma Çamur Uygulamalarının Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) Ağır Metal ve Mikro Element İçeriğine Etkisi

Şekil 1. Bor ve Arıtma çamuru interaksiyonunun fasulyenin mikro element içeriğine etkileri

Çizelge 3 incelendiğinde, kontrol grubunda (B<sub>0</sub>) 45.26 mg/kg olan çinko içeriğinin B<sub>10</sub> uygulamasında 7.54 mg/kg olarak en yüksek değere ulaştığını, B<sub>20</sub> dozuyla (48.63 mg/kg) düştüğünü ve B<sub>40</sub> dozunda (54.38 mg/kg) tekrar arttığı görülmektedir. Bu sonuçlara benzer bir şekilde Çirka (2023) tarafından börülcede yapılan bir çalışmada artan arıtma çamuru dozlarında, kontrol grubunda çinko içeriğinin düştüğü en yüksek bor dozunda ise çinko düzeyinin de arttığı bildirmiştir. Fasulye bitkisi kontrolde (AÇ<sub>0</sub>) 43.60 mg/kg olan en düşük çinko içeriği, AÇ<sub>10</sub> uygulamasında 68.29 mg/kg ile en yüksek çinko içeriğine sahip olmuştur (Çizelge 3). Bor ve arıtma çamuru interaksiyonunda bu durum 71.96 mg/kg ile en yüksek değer B<sub>0</sub>xAÇ<sub>10</sub> ve B<sub>10</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamalarından (88.02 mg/kg ve en düşük değer ise 10.40 mg/kg ile uygulamasından alınmıştır (Şekil 1D). Toprak pH'sının arıtma çamuru uygulamalarıyla ciddi oranda değişebildiğini ve bitkide çinko alımını-arttırdığı belirtilmektedir (Zhang

ve ark., 2002). Ayrıca yapılan başka bir çalışmada, Torri ve Lavado (2008) toprakta değişebilen çinko içeriği ile pH arasında negatif bir etkinin olduğu fakat inorganik çinko ile pH arasında pozitif bir tesirin olduğunu bildirmişlerdir.

Fasulyede bor uygulamalarının demir içeriğine olan etkisi incelendiğinde, demir içeriğinde kontrole göre artış sağlandığı ve daha sonra azalış gösterdiği görülmektedir. Demir içeriği, bor dozunun uygulamalarında kontrol grubunda ( $B_0$ ) 6.74 mg/kg iken,  $B_{40}$  uygulamasında 5.33 mg/kg 'ye kadar azalmıştır. En yüksek demir içeriği 7.54 mg/kg olarak  $B_{10}$  uygulamasından alınırken, en düşük değer ise kontrol grubunda tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarının kontrole göre artış ve düşüş gösterdiği görülmektedir. Arıtma çamuru ortalamalarında en yüksek demir içeriği 7.43 mg/kg  $AÇ_5$  ve en düşük içeriğin ise 5.54 mg/kg  $AÇ_{10}$  dozlarından alınmıştır (Çizelge 3). Arıtma çamuru ve Bor interaksiyonuna göre en düşük demir içerikleri 3.39 mg/kg ile  $B_{20} \times AÇ_{10}$  ve 3.28 mg/kg ile  $B_{40} \times AÇ_{10}$  uygulamalarından alınmıştır (Şekil 1E). Artan bor dozlarına bağlı olarak demir oranındaki düşüşler ya da değişkenlikler, ortama ilave edilen bor, toprakta yarayıslı olan demir ile birlikte alınamaz formlara dönüşmesinden kaynaklı olabilir. Bu bağlamda Goldberg (1977), topraktaki demir ve alüminyum oksitler, kil mineralleri, magnezyum hidroksitler, kalsiyum karbonat ve organik madde boru adsorbe ettiğini rapor etmişleridir. Ayrıca Uysal ve ark., (2017), demir ile bor arasında önemli bir negatif etkileşimin olduğunu ifade etmişleridir. Yapılan bir diğer çalışmada Emir (2017), artan bor uygulamalarıyla birlikte bitkide mangan ve demir içeriklerinde azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir. Bor ve arıtma çamuru interaksiyonunda en yüksek demir oranı 10.05 mg/kg ile  $B_{10} \times AÇ_{10}$  uygulamasından, en düşük demir içerikleri ise 3.28 mg/kg ile  $B_{40} \times AÇ_{10}$  ve 3.39 mg/kg ile  $B_{20} \times AÇ_{10}$  uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 1E). Demir oranındaki artışın, çamurdaki demir içeriğinin fazla oluşundan ve son dozda ise arıtma çamurunda ortaya çıkan düşüşün ise çamurdaki yüksek organik madde oranıyla ilişkili olabileceğini düşünülmektedir. Bu anlamda yapılan bir çalışmada, demir ile organik madde arasında kompleks yapıların oluşabileceği ve böylelikle demirin bitkiler tarafından alınmasının güçleşebileceği vurgulanmaktadır (Kooijman ve ark., 2009; Fink ve ark., 2016). Öte yandan yetiştirme ortamında bulunan kimi ağır metallerin fazla oluşu, bitkilerin demir alınımını azaltmaktadır (Kacar ve Katkat, 1999). Bu çalışmada elde edilen verilerin bildirilen bu sonuçlarla uyumlu olduğu görülmektedir.

### Uygulamaların Fasulyenin Ağır Metal İçerikleri Üzerine Olan Etkisi

Arıtma çamuru uygulamalarıyla birlikte toprakların ağır metal içeriklerinde artış sağlandığı gibi bunun neticesinde bitkilerin bünyesinde ağır metal içeriklerinde aynı durum söz konusudur (Bozkurt ve Yarılgaç, 2003; Schiptsova ve ark., 2020). Bu durum, bilhassa endüstriyel alanlardaki arıtma çamurlarının yüksek miktarda ağır metaller içermelerinden kaynaklanabilmektedir (Kowalik ve ark., 2021).

Çizelge 4'e bakıldığında, fasulye bitkisinde bor uygulamalarıyla birlikte alüminyum içeriğinin kontrol grubuna göre  $B_{10}$  uygulamasında düştüğü fakat daha sonra yükseldiği görülmektedir. En yüksek alüminyum içeriği 79.56 mg/kg ile  $B_{40}$  uygulamasından grubunda ve en düşük içerik ise 40.73 mg/kg ile  $B_{10}$  uygulamasından alınmıştır. Yapılan bir çalışmada Çirka (2023), börülce bitkisinde artan dozlarda bor uygulamalarının bitkide alüminyum içeriğini arttırdığı bildirilmiştir. Bu çalışma sonuçları ile arasında bir uyumun olduğu görülmektedir. Çalışmada artan arıtma dozlarına bağlı olarak bitkide alüminyum içeriğinde artışın olduğu görülmüştür. En düşük alüminyum değeri 7.60 mg/kg kontrol grubundan alınırken, en yüksek içerik ise 120.66 mg/kg  $AÇ_{10}$  dozunda elde edilmiştir. Faktörlerin interaksiyonunun bitkilerdeki alüminyum içeriğine olana tesirine bakıldığında, en düşük alüminyum

miktarı 11.99 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamasından ve en yüksek değer ise 147.32 mg/kg ile B<sub>40</sub>xAÇ<sub>10</sub> uygulamasından alınmıştır (Şekil 2A).

Fasulyede bor uygulamalarıyla birlikte bitkide alüminyum içeriğinde meydana gelen artışların, topraktaki kalsiyum alüminyum silikatlarındaki alüminyumun bor ile yer değiştirmesi (Parks ve Shaw, 1941) ve toprak çözeltisindeki alınabilir alüminyum içeriğindeki artıştan kaynaklanabilmektedir. Ayrıca bitkilerin kök bölgesindeki pH değerindeki değişimler, bitkilerin alüminyuma karşı toleransı ve duyarlılığı etkiliyor olması (Wagatsuma ve Ezoe, 1985) bitkinin alüminyum içeriğinde artışlara neden olabilmektedir. Daha önce yapılan birçok çalışmada, bor dozlarının bitki kök hücrelerinde alüminyum birikimini düşürdüğü ve bundan dolayı alüminyumun bitkinin kök üstü organlarına taşınabileceği belirtilmiştir.

**Çizelge 4.** Bor ve arıtma çamuru uygulamalarının sonucu fasulye bitkisinin ağır metal içeriği ortalamaları ve oluşan LSD grupları

Uygulamalar		Alüminyum (Al)* mg/kg	Arsenik (As)* mg/kg	Kadmiyum (Cd)* mg/kg	Kobalt (Co)* mg/kg
Bor Ort.	B <sub>0</sub>	70.08 B	1.22 C	0.26 B	0.81 B
	B <sub>10</sub>	40.73 C	2.24 A	0.48 A	1.26 A
	B <sub>20</sub>	69.46 B	2.07 B	0.17 C	1.29 A
	B <sub>40</sub>	79.56 A	1.98 B	0.18 C	1.25 A
Arıtma Çamuru Ort.	AÇ <sub>0</sub>	7.60 C	1.27 B	0.20 C	0.71 C
	AÇ <sub>5</sub>	66.61 B	2.23 A	0.26 B	1.20 B
	AÇ <sub>10</sub>	120.66 A	2.13 A	0.35 A	1.55 A
LSD (%5) Bor		3.44	0.17	0.03	0.13
LSD (%5) AÇ		2.98	0.15	0.03	0.11
LSD (%5) B x AÇ		10.32	0.50	Öd	0.39

\*: Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

Bor uygulamaları fasulyede arsenik içeriği üzerinde kontrol grubuna göre artış sağlamış ve akabinde düşüşe geçmiştir. Kontrol grubunda 1.22 mg/kg olan arsenik içeriği, B<sub>10</sub> uygulamasında 2.24 mg/kg, B<sub>20</sub> uygulamasında 2.07 mg/kg ve B<sub>40</sub> uygulamasında 1.98 mg/kg olarak ölçülmüştür. Artan dozlarda arıtma çamuru uygulamalarında ise bu durum, artma ve azalma şeklinde tespit edilmiştir. Kontrol grubunda 1.27 mg/kg olan arsenik değeri, AÇ<sub>5</sub> dozunda 2.23 mg/kg ve AÇ<sub>10</sub> dozunda elde edilen arsenik içeriği aynı grupta yer almıştır (Çizelge 4). Bor ve arıtma çamuru interaksiyonuna bakıldığında, fasulye bitkisinde en düşük arsenik içeriğinin 0.20 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamasında görüldüğü ve en fazla arsenik içerikleri ise 2.53 mg/kg (B<sub>10</sub>xAÇ<sub>5</sub>), 2.67 mg/kg (B<sub>10</sub>xAÇ<sub>10</sub>), 2.55 mg/kg (B<sub>20</sub>xAÇ<sub>5</sub>), 2.54 mg/kg (B<sub>40</sub>xAÇ<sub>5</sub>) uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 2B). Zhu ve ark. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, bitkide arsenik içeriklerinin bor uygulamalarına bağlı olarak azaldığı belirtilmiş ve bu çalışmada elde edilen veriler ile bitki ya da uygulamalar arasındaki farklılıklardan kaynaklanan kısmi benzerliklerin olduğu görülmüştür.

Çizelge 4 incelendiğinde, fasulyede kadmiyum içeriğinin artan bor dozlarıyla birlikte kontrole göre arttığı ve azaldığı görülmektedir. Kontrol grubunda (B<sub>0</sub>) 0.26 mg/kg olan kadmiyum içeriği, B<sub>10</sub> uygulamasında 0.48 mg/kg ile bir artış sağlarken B<sub>20</sub> ve B<sub>40</sub> uygulamalarında elde edilen kadmiyum içerikleri kontrol grubuna göre azalarak en düşük (aynı) grupta yer almıştır. Bitkideki en yüksek kadmiyum içeriği B<sub>10</sub> (0.48 mg/kg) uygulamasından alınmıştır. Artan dozlarda arıtma çamurunda ise bitkide kadmiyum içeriği kontrole göre artış göstermiştir. Bu durumda bitkideki kadmiyum değerlerinin en düşüğü kontrol grubunda (0.20 mg/kg) ve en yüksek değer ise AÇ<sub>10</sub> (0.35 mg/kg) uygulamasından elde edildiği görülmektedir. Bor ve arıtma çamuru interaksiyonun önemsiz olduğu belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada Chan ve ark. (2019), bitkide silisyum ve bor uygulamalarının bitkide kadmiyum alımını ve birikimini engellediğini bildirmiş ve bu çalışma ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Bor uygulamalarının Kobalt (Co) içerikleri zemindeki etkileri önemli bulunmuştur. Bitkide en yüksek Co içeriği B<sub>20</sub> (1.29 mg/kg) dozundan alınmış, B<sub>10</sub> ve B<sub>40</sub> dozları da bu grupta yer almıştır. En düşük Co içeriği ise kontrol uygulamasında (0.81 mg/kg) elde edilmiştir. Bu durum artan arıtma çamuru uygulamalarında ise şu şekilde ortaya çıkmıştır; Artan arıtma çamuru uygulamalarına bitkide kobalt içeriği kontrol grubuna göre artış gösterirken, bitkideki en düşük kobalt içeriği kontrol grubunda 0.71 mg/kg ve en yüksek kobalt değeri ise 1.55 mg/kg ile AÇ<sub>10</sub> uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4). Bor ve arıtma çamurunun interaksiyonunun fasulyede kobalt içeriğine olan tesirine bakıldığında, en düşük kobalt değerinin 0.44 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub> ve en yüksek kobalt içeriğinin 1.71 mg/kg ile B<sub>40</sub>xAÇ<sub>10</sub> uygulamasından alındığı görülmektedir (Şekil 2C). Çirka (2023) tarafından yürütülen bir çalışmada, 50 mg/kg, 100 mg/kg, 200 mg/kg bor dozları kullanılmış ve artan dozlarda bor uygulamalarının börülce bitkisinde azalış ve artış gösterdiğini rapor etmiştir. Bu yönüyle çalışma sonuçları ile arasında kısmi benzerliklerin olduğu görülmüştür. Yapılan bir diğer çalışmada, kobalt ve bor arasındaki etkileşim neticesinde borun kobalt hidroksit ile adsorpsiyona maruz kaldığı bildirilmiştir (Kluczka ve ark., 2018). Bu durumun, bu yapılan bu çalışmada da bor uygulamalarına bağlı olarak bitkide kobalt içeriğinde azalış ve artışa neden olduğu görülmüştür.

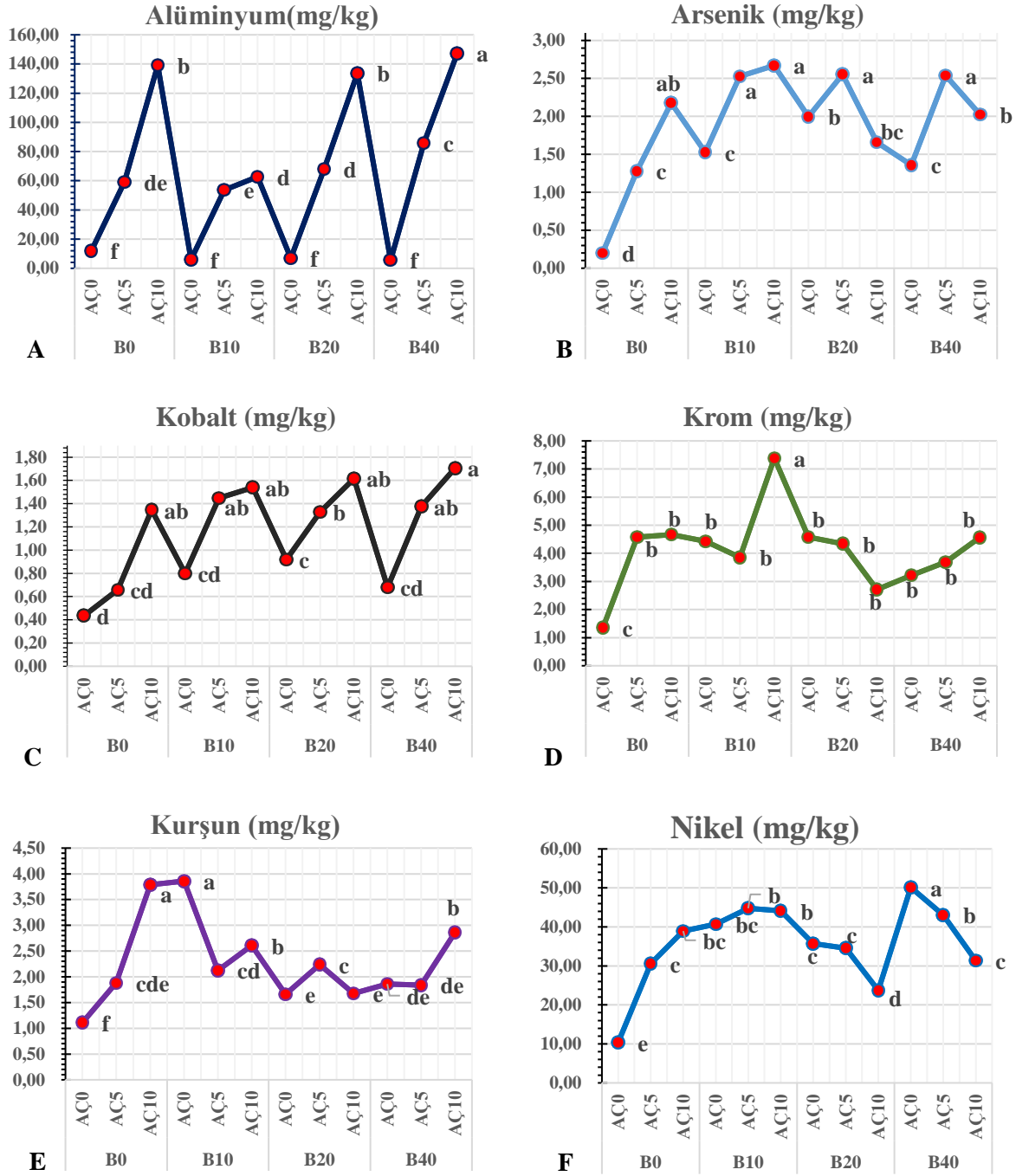
**Çizelge 5.** Bor ve arıtma çamuru uygulamalarının sonucu fasulyenin ağır metal içeriği ortalamaları ve oluşan LSD grupları

Uygulamalar		Krom (Cr) *	Kurşun (Pb) *	Nikel (Ni) *
		mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bor Ort.	B <sub>0</sub>	3.53 B	2.26 B	26.61 C
	B <sub>10</sub>	5.23 A	2.87 A	43.22 A
	B <sub>20</sub>	3.88 B	1.86 C	31.31 B
	B <sub>40</sub>	3.82 B	2.19 B	41.52 A
Arıtma Çamuru Ort.	AÇ <sub>0</sub>	3.40 C	2.02 B	34.24 B
	AÇ <sub>5</sub>	4.12 B	2.12 B	38.22 A
	AÇ <sub>10</sub>	4.83 A	2.73 A	34.53 B
LSD (%5) Bor		0.49	0.15	2.66
LSD (%5) AÇ		0.42	0.13	2.31
LSD (%5) B x AÇ		1.46	0.45	7.99

\*: Aynı sütunda aynı büyük harflerle gösterilen arasında istatistiksel olarak %5 düzeyinde fark yoktur.

Artan dozlarda bor uygulamalarının fasulye bitkisinde kontrol gruba göre önce artış ve daha sonrasında azalış gösterdiği belirlenmiştir. Kontrol bitkilerinde 3.53 mg/kg olan krom, B<sub>10</sub> dozunda 5.23 mg/kg, B<sub>20</sub> dozunda 3.88 mg/kg ve B<sub>40</sub> dozunda 3.82 mg/kg şeklinde belirlenmiştir. En yüksek krom içeriği 5.23 mg/kg ile B<sub>10</sub> uygulamasından ve en düşük krom içeriği ise 3.53 mg/kg kontrol grubundan alınmıştır. Ancak, Çirka (2023) tarafında börülce bitkisinde yürütülen çalışmada en yüksek krom içeriğinin yüksek bor dozunda elde edildiği belirtilmiştir. Çalışmalar arasındaki bu farklılığın, bitki ya da çalışmalardaki uygulamaların farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

**Bor ve Arıtma Çamuru Uygulamalarının Fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) Ağır Metal ve Mikro Element İçeriğine Etkisi**



Şekil 2. Bor ve Arıtma çamuru interaksiyonunun fasulyenin ağır metal içeriğine etkileri

Artan dozlarda arıtma çamuru ile birlikte fasulye bitkisinde krom içeriğinde bir artışın olduğu ve en düşük krom değeri kontrol grubundan 3.40 mg/kg alınırken, en yüksek krom değeri ise AÇ<sub>10</sub> 4.83 mg/kg olarak elde edilmiştir (Çizelge 5). Bor ve arıtma çamuru interaksiyonunun fasulye bitkisinde krom içeriğine olan etkisine bakıldığında, bitkide en yüksek krom içeriği 7.39 mg/kg ile B<sub>10</sub>xAÇ<sub>10</sub> uygulamasında ve en düşük krom içeriğinin ise 1.35 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamasında tespit edilmiştir (Şekil 2D)

Çevre kirliliği bakımından kurşun elementinin önemli yere sahip olduğu kabul edilmektedir (Kaya ve ark., 2019). Çizelge 5'e bakıldığında, artan dozlarda bor uygulamalarıyla birlikte fasulyenin kurşun içeriği kontrol bitkilerine göre artmış olduğu fakat daha sonra ki dozlarda azalışın olduğu görülmektedir. Bitkide en düşük kurşun içeriği 1.86 mg/kg ile B<sub>20</sub> ve en yüksek kurşun içeriği 2.87 mg/kg ile B<sub>10</sub>

uygulamasında tespit edilmiştir. Çirka (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, artan dozlarda bor uygulamalarının bitkide kurşun içeriğinde artış ve azalışlara neden olduğu bildirilmiştir. Kaynak ile çalışma sonuçları arasında tam bir uyumun olduğu görülmüştür. Bitkideki kurşun içeriği artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte artmıştır. Kontrol grubunda 2.02 mg/kg olan kurşun içeriği, AÇ<sub>10</sub> dozunda 2.73 mg/kg olarak ölçülmüştür. Bor ve arıtma çamuru uygulamalarının fasulyede kurşun içeriği üzerindeki etkisini incelendiğinde, bitkide en düşük kurşun içeriği 1.11 mg/kg ile B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub>, en yüksek kurşun içeriklerinin ise B<sub>10</sub>xAÇ<sub>5</sub> uygulamasından (3.86 mg/kg) alındığı B<sub>0</sub>xAÇ<sub>10</sub> uygulamasının da en yüksek grupta yer aldığı görülmüştür (Şekil 2E).

Çizelge 5'e bakıldığında artan dozlarda bor uygulamalarının fasulye bitkisinde nikel içeriğinde kontrol bitkilerine göre artış sağlamış ve daha sonra azalış-artış şeklinde değer değişkenliği gösterdiği görülmektedir. Kontrol bitkilerinde 26.61 mg/kg olan nikel içeriği, 43.22 mg/kg (B<sub>10</sub>), 31.31 mg/kg (B<sub>20</sub>), 41.52 mg/kg (B<sub>20</sub>) şeklinde değişebildiği ve bu durumda bitkideki en düşük nikel değeri kontrol grubunda görülürken, en yüksek nikel değeri ise 43.22 mg/kg (B<sub>10</sub>) uygulamasından alınmıştır. Artan arıtma çamuru dozlarıyla birlikte bitkide nikel içeriği kontrol grubuna göre artmış ve azalmıştır. En düşük Ni içeriği 34.24 mg/kg ile AÇ<sub>0</sub> dozundan alınmış ve AÇ<sub>10</sub> dozu da bu grupta yer almıştır. Bitkideki en yüksek Ni içeriği ise (38.22 mg/kg) AÇ<sub>5</sub> arıtma çamuru dozundan elde edilmiştir. Bor ve arıtma çamuru etkisinin fasulye bitkisinde nikel içeriği üzerindeki etkisi incelendiğinde, en düşük nikel içeriği 10.37 mg/kg B<sub>0</sub>xAÇ<sub>0</sub>, en yüksek nikel içeriği 50.13 mg/kg B<sub>40</sub>xAÇ<sub>0</sub> uygulamalarından elde edilmiştir (Şekil 2F). Yapılan bir çalışmada Çirka (2023), artan dozlarda bor uygulamalarının börülce bitkisinde nikel içeriğinde azalmalara neden olduğu bildirilmiştir. Kaynak ile elde edilen veriler arasında kısmen bir uyum olduğu görülmüştür. Ancak ortaya çıkan farklılıkların bitki ya da uygulama farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

## SONUÇ

Artan dozlarda bor ve arıtma çamuru uygulamalarının fasulye bitkisinin ağır metal ve mikro elementler içerikleri üzerine olan etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, yapılan analizler neticesinde bor ve arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak bitkideki mikro element ve ağır metal içeriklerinde artışların ve azalışların olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamuruyla birlikte artış gösteren ağır metal ve mikro element içeriğindeki artışların bor uygulamaları neticesinde dengelenebilir seviyelere getirmek mümkün olduğu bor uygulamaları neticesinde alüminyum miktarında artmaların olduğu ve diğer bazı elementlerde (kadmium, kobalt, krom, kurşun, arsenik ve nikel) ise artış ve azalışların olduğu bir dalgalı seyirin izlendiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak elde edilen veriler doğrultusunda şunu ifade edebiliriz ki; ağır metal ile kirlenmiş alanlarda ağır metallere maruz kalan bitkilerin ağır metal içeriklerini yapılacak bor uygulamalarıyla önemli oranda düzelebileceğini veya iyileşebileceğini düşünüyoruz. Böylelikle bu çalışma, bundan sonra yapılacak benzer çalışmalara kılavuzluk yapabileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ÇİRKA danışmanlığında Berrin ATSAK tarafından yürütülen FYL-2022-9946 nolu BAP projesi tarafından desteklenmiş olan Yüksek Lisans Tezinden alınmıştır. Maddi desteklerinden dolayı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'ne şükranlarımızı sunarız. Ayrıca her türlü desteklerinden dolayı Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü hocalarımıza teşekkürlerimizi sunarız.

### Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

### KAYNAKLAR

- Allard, S., Gutierrez, L., Fontaine, C., Croué, J. P., & Gallard, H. (2017). Organic matter interactions with natural manganese oxide and synthetic birnessite. *Science of The Total Environment*, 583, 487-495.
- Bozkurt, M. A., & Yarılgaç, T. (2003). The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27(5), 285-292.
- Budak, M., Günal, H. (2015). Tuzlu-Alkali Topraklarda Bor Konsantrasyonunun Uzaysal Değişkenliğinin Jeostatistiksel Analizi ve Haritalanması. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 52(2), 191-202.
- Chang, C., Sommerfeldt, T. G., & Entz, T. (1991). *Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure* (Vol. 20, No. 2, pp. 475-480). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- Demirkan, G. Ç., Akat, H., & Yokaş, İ. (2014). Atık su arıtma çamurunun *Clarkia amoena* (Yer Açelyası) türünde bitki gelişimi ve çiçeklenme üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 49-58.
- Durak, Z. (2005). Adana Sofulu düzensiz çöp depolama alanında oluşan çöp sızıntı sularının bitki yetiştirilmesinde kullanılması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*.
- Dordas, C., & Brown, P. H. (2005). Boron deficiency affects cell viability, phenolic leakage and oxidative burst in rose cell cultures. *Plant and soil*, 268(1), 293-301.
- Düring, R. A., & Gäth, S. (2002). Utilization of municipal organic wastes in agriculture: where do we stand, where will we go?. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165(4), 544-556.
- Elrashidi, M. A., & O'connor, G. A. (1982). Boron sorption and desorption in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 46(1), 27-31.
- Emir, C. (2017). *Bor gübrelenmesinin kereviz (Apium graveolens L.) ve turp (Raphanus sativus L.) bitkilerinin verim ve bazı bitki özelliklerine etkisi* (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- FAO (2021). Statistics Database (The Production and Production Area of Cowpea). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (Erişim Tarihi: 13.01.2023).
- Erdinç, U., Şen, O. F., Kılıç, Ö. B. D., Candan, N., Uzun, N., Üner, K., & Rahmanoğlu, N. (2017). Determination of soil plant available boron and boron nutritional status of tomato plants in major industrial tomato cultivated areas of Turkey. *Journal of Boron*, 2(3), 161-167.
- Fink, J. R., Inda, A.V., Tiecher, T., Barrón, V. (2016). Iron oxides and organic matter on soil phosphorus availability. *Ciencia e agrotecnologia*, 40, 369-379.
- Gardiner, D.T., Miller, R.W. (2008). *Soils in Our Environment*. 11th Edition, Pearson/Prentice Hall, Upper Saddle Hill, Ne Jersey, USA.
- Garzón, E., González-Andrés, F., García-Martínez, V. M., & de Paz, J. M. (2011). Mineralization and nutrient release of an organic fertilizer made by flour, meat, and crop residues in two vineyard soils with different pH levels. *Communications in soil science and plant analysis*, 42(13), 1485-1496.
- Günay, A (1992). *Özel Sebze Yetiştiriciliği* Cilt: 4. Çağ Matbaası, Ankara.
- Güneş, A.M., Alpaslan, A., İnal. (2013). *Bitki Besleme ve Gübreleme*. Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayın no:1581, Ders kitabı:533, Ankara.
- Greweling, T., Peech, M (1960). *Chemical Soil Tests*. Cornell University Agricultural Experiment Station, New York.

- Goldberg, S. (1997). Reaction of Boron with Soils (pp: 193: 35-48). Plant and oil. Proceedings, RW Bell and B. Rerkasem (Eds.), Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands.
- Hall, A. E., Cisse, N., Thiaw, S., Elawad, H. O., Ehlers, J. D., Ismail, A. M., ... & McWatters, K. H. (2003). Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. *Field Crops Research*, 82(2-3), 103-134.
- Hall, A. E. (2004). Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. *European Journal of Agronomy*, 21(4), 447-454.
- Idahosa, D. O., Alika, J. E., & Omoregie, A. U. (2010). Genotypic variability for agronomic and yield characters in some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Nature and Science*, 8(3), 48-55.
- Jayathilake, C., Visvanathan, R., Deen, A., Bangamuwage, R., Jayawardana, B. C., Nammi, S., & Liyanage, R. (2018). Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(13), 4793-4806.
- Kacar, B., İnal, A. (2008). *Bitki Analizleri*. Nobel Yayın No: 1241. Fen Bilimleri, 63(1).
- Kacar, B., Katkat, V. (1999). *Gübreler ve Gübreleme Tekniği*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 144, Vipaş Yayın No:20, 531s., Bursa
- Kacar, B., Katkat, V. (2010). *Bitki Besleme*. 5. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti, Kızılay-Ankara.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soil and Plants*. 4th Edition, CRC Press, New York. ISBN: 978-1-4200-9368.
- Kaya, A. R., Eryigit, T., Uslu, O. S., Gedik, O., & Tuncturk, M. (2019). Effects of lead on seed germination and seedling growth in different sesame (*sesamum indicum*) genotypes. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28, 6574-6579.
- Kooijman, A. M., Lubbers, I., & Van Til, M. (2009). Iron-rich dune grasslands: relations between soil organic matter and sorption of Fe and P. *Environmental Pollution*, 157(11), 3158-3165.
- Kowalik, R., Latosińska, J., & Gawdzik, J. (2021). Risk analysis of heavy metal accumulation from sewage sludge of selected wastewater treatment plants in Poland. *Water*, 13(15), 2070.
- Küçükhemek, M., Gür, K., Berktaş, A. (2006). Eysel Karakterli Atıksu Arıtma Çamurlarının Çim Bitkisi Ağır Metal (Mn, Zn, Ni, Cu, Cr, Pb, Cd) İçeriği Üzerine Etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21(3), 1-12.
- Kluczka, J., Tórz, A., Łącka, D., Kazek-Kęsik, A., & Adamek, J. (2018). Boron removal by adsorption on Cobalt (II) Doped Chitosan bio-composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(5), 2039-2048.
- LeNoble, M. E., Blevins, D. G., & Miles, R. J. (1996). Prevention of aluminium toxicity with supplemental boron. II. Stimulation of root growth in an acidic, high-aluminium subsoil. *Plant, Cell & Environment*, 19(10), 1143-1148.
- McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J. (2009). *Soil pH and Organic Matter*. Nutrient management module, 8(2), 1-12.
- McCauley, A., Jones, C., Olson-Rutz, K. (2017). *Soil pH and Organic Matter*. Nutrient management module No. 8. US Department of Agriculture (USDA), Montana State University and Montana State University Extension.
- Oved, T., Shaviv, A., Goldrath, T., Mandelbaum, R. T., & Minz, D. (2001). Influence of effluent irrigation on community composition and function of ammonia-oxidizing bacteria in soil. *Applied and environmental microbiology*, 67(8), 3426-3433.
- Parks, R. Q., & Shaw, B. T. (1942). Possible mechanisms of boron fixation in soil: I. chemical. *Soil Science Society of America Journal*, 6(C), 219-223.

- Pan, Y., Wang, Z., Yang, L., Wang, Z., Shi, L., Naran, R., & Xu, F. (2012). Differences in cell wall components and allocation of boron to cell walls confer variations in sensitivities of Brassica napus cultivars to boron deficiency. *Plant and soil*, 354(1), 383-394.
- Plaster, E. J. (1992). *Soil Science and Management*. 2nd Edition, Delmar Publishers Inc., Albany, New York, USA
- Ren, L., Zhu, D., Cui, J., Liao, S., Geng, M., Zhou, W., & Hamilton, D. (2009). Plant availability of boron doped on iron and manganese oxides and its effect on soil acidosis. *Geoderma*, 151(3-4), 401-406.
- Riaz, M., Kamran, M., Fang, Y., Yang, G., Rizwan, M., Ali, S., & Wang, X. (2021). Boron supply alleviates cadmium toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) by enhancing cadmium adsorption on cell wall and triggering antioxidant defense system in roots. *Chemosphere*, 266, 128938.
- Schiptsova, N., Larionov, G., Vasilyev, O., Fadeeva, N., & Terentyeva, M. (2020, November). Effect of sewage sludge application on heavy metals contamination in soil and carrot. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 604, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- Sür, A., Sür, Ö., Yiğitbaşıoğlu, H. (2001). *Mineraller ve Kayaçlar*, Bilim Yayıncılık, Ankara.
- Stass, A., Kotur, Z., & Horst, W. J. (2007). Effect of boron on the expression of aluminium toxicity in *Phaseolus vulgaris*. *Physiologia Plantarum*, 131(2), 283-290.
- Wagatsuma, T., & Ezoe, Y. (1985). Effect of pH on ionic species of aluminum in medium and on aluminum toxicity under solution culture. *Soil science and plant nutrition*, 31(4), 547-561.
- Walakley, A., & Black, C. A. (1934). Estimation of organic carbon by chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.
- Wu, X., Riaz, M., Yan, L., Du, C., Liu, Y., & Jiang, C. (2017). Boron deficiency in trifoliolate orange induces changes in pectin composition and architecture of components in root cell walls. *Frontiers in plant science*, 8, 1882.
- Wu, X., Song, H., Guan, C., & Zhang, Z. (2020a). Boron alleviates cadmium toxicity in Brassica napus by promoting the chelation of cadmium onto the root cell wall components. *Science of The Total Environment*, 728, 138833.
- Wu, X., Song, H., Guan, C., & Zhang, Z. (2020b). Boron mitigates cadmium toxicity to rapeseed (*Brassica napus*) shoots by relieving oxidative stress and enhancing cadmium chelation onto cell walls. *Environmental Pollution*, 263, 114546.
- Zhang, Z. H., Riaz, T., Tang, T. J., Song, H. X., Guan, C. Y., Huang, J. Y., & Hua, Y. P. (2019). A multiomics approach reveals the pivotal role of subcellular reallocation in determining rapeseed resistance to cadmium toxicity. *Journal of experimental botany*, 70(19), 5437-5455.
- Zhang, F. S., Yamasaki, S., & Nanzyo, M. (2002). Waste ashes for use in agricultural production: I. Liming effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals. *Science of the total Environment*, 284(1-3), 215-225.
- Zhu, Y., Sun, G. X., Chen, Z., Hu, Y., & Zheng, R. L. (2018). Effects of boron treatment on arsenic uptake and efflux in rice seedlings. *Huan Jing ke Xue= Huanjing Kexue*, 39(7), 3400-3408.
- Zhou, X. X., Yang, L. T., Qi, Y. P., Guo, P., & Chen, L. S. (2015). Mechanisms on boron-induced alleviation of aluminum-toxicity in Citrus grandis seedlings at a transcriptional level revealed by cDNA-AFLP analysis. *PLoS One*, 10(3), e0115485.