

## Molibden ve Arseniğin Tarla Koşullarında Buğday Bitkisinin Verimine ve Toksikliğine Etkilerinin Belirlenmesi

İlknur YURDAKUL<sup>1</sup>, Kadriye KALINBACAK<sup>2</sup>, Dilek ALTINKAYNAK<sup>3</sup> Remzi Murat PEKER<sup>1</sup>

Ziraat Fakültesi Dergisi,  
Cilt 18, Sayı 1,  
Sayfa 25-34, 2023

Journal of the Faculty of Agriculture  
Volume 18, Issue 1,  
Page 25-34, 2023

**Öz:** Endüstrinin gelişmesi ve antropojenik etkiler ağır metal kaynaklı çevre kirliliğinin artmasına etki etmektedir. Çalışmada buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde potansiyel toksik olan Molibden (Mo) ve Arsenik (As) ağır metallerinin buğday verimine kısıtlayıcı etkisinin, buğday bitkisindeki potansiyel toksik ağır metalin toksiklik belirtilerinin belirlenmesi hedeflendi. Tarla şartlarında kireçli topraklarda Mo ve As elementinin farklı uygulama dozlarında (0, 10, 20, 40 mg kg<sup>-1</sup>) buğday-nohut münavebe sisteminde, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekrarlı çalışma organize edildi. Çalışma sonucunda; 3 yılda buğday bitkisinde Mo ve As uygulamaları sırasıyla %27.43, %16.17 ve %6.85'lik ve %30.2, % 49.50 ve %18.18 verim düşüşü meydana geldi. Mo uygulaması sonucu buğday verimlerinde meydana gelen azalma birinci ve ikinci buğday ekim yıllarında istatistiksel anlamda önemli oldu (F=13.9\*\*, P<0.01) (F=16.2\*\*, P<0.01). As uygulaması sonucu buğday verimlerinde meydana gelen azalma istatistiki anlamda her üç yılda da önemli (F= 5.33\*, P<0.05) (F=15.05\*\*, P<0.01) (F=5.36\*, P<0.05) bulundu. Maksimum verimde %10'luk azalmayı toprağa uygulanan Mo ve As'in 14 kg da<sup>-1</sup> ve 13.7 mg kg<sup>-1</sup> düzeyi sağladı. Mo toksiklik belirtileri; cılız ve küçük sağlıklı bitki, yaprak uçlarında başlayan sarı-turuncu sararmalar, yüksek dozda kurumalar olarak gözlemlendi. As toksiklik belirtileri; bitki boylarının kısalması ve parsel içerisinde bitki yoğunluğunun azalması olarak ortaya çıktı.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, arsenik, buğday, molibden, toksiklik

## Determination of the Effects of Molybdenum and Arsenic on Yield and Toxicity of Wheat Plant in Field Conditions

**Abstract:** The development of industry and anthropogenic effects affect the increase in environmental pollution caused by heavy metals. In this study, it was aimed to determine the restrictive effect of Molybdenum (Mo) and Arsenic (As) heavy metals, which are potentially toxic in wheat (*Triticum aestivum* L.) on wheat yield, and to determine the toxicity signs of potentially toxic heavy metal in wheat plant. Three repetitive studies were organized in the wheat-chickpea alternation system according to the randomized blocks trial design at different application doses (0, 10, 20, 40 mg kg<sup>-1</sup>) of Mo and As element in calcareous soils under field conditions. In the results of working; In 3 years, Mo and As applications in wheat plant decreased yields of 27.43%, 16.17% and 6.85% and 30.2%, 49.50% and 18.18%, respectively. The decrease in wheat yields as a result of Mo application was statistically significant in the first and second wheat planting years (F=13.9\*\*, P<0.01) (F=16.2\*\*, P<0.01). The decrease in wheat yields as a result of the application of As was statistically significant (F= 5.33\*, P<0.05) (F=1 5.05\*\*, P<0.01) (F=5.36\*, P<0.05) in all three years. 14 kg da<sup>-1</sup> and 13.7 mg kg<sup>-1</sup> level of Mo and As applied to the soil provided 10% reduction in maximum yield. Signs of Mo toxicity; The weak and small unhealthy plant was observed as yellow-orange yellowing starting at the leaf tips and drying at high doses. As signs of toxicity; It appeared as a shortening of plant heights and a decrease in plant density in the plot.

**Keywords:** Heavy metal, arsenic, wheat, molybdenum, toxicity

\*Sorumlu yazar (Corresponding author)  
ilknur.yurdakul@tarimorman.gov.tr

Alınış (Received): 02/03/2023  
Kabul (Accepted): 04/05/2023

<sup>1</sup>Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez  
Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,  
Yenimahalle, Ankara  
<sup>2</sup>Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel  
Müdürlüğü, Lodumlu, Ankara  
<sup>3</sup>Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez  
Müdürlüğü, Yenimahalle, Ankara

## 1. Giriş

Ağır metaller atomik kütleleri 20'nin üzerinde, özgül ağırlığı  $5 \text{ g cm}^{-3}$  ve üzeri olan metallerdir. Yüksek konsantrasyonları toksik olmakla birlikte düşük konsantrasyonlarda da bitkiler ve hayvanlar için toksik olabilmektedirler (Rascio ve Navari-Izzo, 2011; Yurdakul, 2017a; Yurdakul, 2017b; Njoh, 2019; Sadeghi vd., 2020). Bununla birlikte bazı ağır metallerin (Fe, Cu, Zn, Mo ve Ni) çok düşük konsantrasyonları bitkiler için gereklidirler. Bazıları da (Cd, Pb, Hg, As vb.) bitkilerde bilinen fizyolojik fonksiyonu bulunmamakta ve toksik etki göstermektedirler. Ağır metaller yüksek seviyelerde insan, hayvan ve bitki sağlığı için tehdit oluşturmaktadır (Ashfaque vd., 2016). Ağır metaller ekolojik sorunlardan kaynaklı çevre kirleticileri olarak belirtilmektedir.

Riskin yüksek olduğu alan sanayinin geliştiği topraklardır. Endüstriyel atıklar, kanalizasyon, sulama ve madencilik faaliyetleri ile kirlilik seviyeleri artmaktadır (Zhao vd., 2022). Gelişen sanayi ile birlikte, üretim faaliyetlerinin ardından meydana gelen artık ve atıklar ve bunların içerisindeki ağır metaller dünyanın geleceği açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu durum doğayı koruyucu tedbirlerin yeterince yer bulmaması ile daha da vahim bir hal almaktadır (Veliu, 2016; Ashfaque vd., 2016). Yüzeysel toprakları, çevreye yayılan ağır metallerin ana alıcıları olarak kabul edilmektedir (Thalassinos ve Antoniadis, 2021). Ağır metallerin çoğu toprakta bulunan konsantrasyonları artış gösterdiğinde bitki gelişimini kısıtlayıcı etken olarak toksik etkide bulunmaktadır (Marschner, 1995; McLaughlin vd., 1999; Veliu, 2016). Çevre kirliliğinin ana kaynağını arıtma ve filtrasyon yapılmayan baca gazları ve akarsulara bırakılan fabrika atıkları oluşturmaktadır. Toksik ağır metaller, bitkilerin alımı ve biriktirmeleri nedeni ile besin zincirine girerek ekili ürünlerin tüketimi, yeraltı suyunun kirlenmesi ve hatta doğrudan toprak partiküllerinin yutulması yoluyla insan sağlığını ve hayvan sağlığını tehdit etmektedirler (Jackson ve Alloway, 1992; Brzóska ve Moniuszko-Jakoniuk, 2001; Sponza ve Karaoğlu, 2002; Roy ve McDonald, 2015; Maiti vd., 2015; Thalassinos ve Antoniadis, 2021). Yeşil çevre ve tarımsal sürdürülebilirliğin sağlanması için atıkların stabilizasyonu, tekrar kullanım imkanlarının oluşturulması ve atıkların ortamdaki yok edilmesi gereklidir. Ağır metallerin yüksek olduğu ortamlarda yetiştirilen bitkilerde vejetasyon zarar görse bile terlemenin devam etmesi bitkinin ağır metal alımını destekler ve belirli bir birikimin ardından toksik etkiler ortaya çıkar. Bu elementler çoğu sanayi için hammadde özelliğindedir. Arsenik ve molibden sanayide üretim aşamasında kullanılan potansiyel toksik elementler içerisinde kullanımı çok yaygın olan iki elementtir. Arsenik tekstil ve tabaklama sanayiinde, deterjanlarda, tarımda, fungisid, herbisit, insektisit, rodentisit ve pestisitlerde kullanılmaktadır. Molibden metal ve miktatsız alaşımlarda, cam üretme fırınlarında,

uçak parçalarında, gemi şaftlarında, elektrotlarda, elektronik malzemelerde ve akkorlu lambalarda kullanılmaktadır. Arsenik doğal ekosistemde yaygın olarak bulunmakta, kirli suların kullanımı ile tarım ürünlerine etki etmektedir. Biyolojik olarak yok edilemedikleri için tarım sisteminde uzun süre kalabilmektedirler (Kundu vd., 2013; Rizvi vd., 2019). Molibden doğada halihazırda var ( $0.1-10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) olan bir element (He vd., 2005) olmasının yanında, toprak ve suya bu metallerin girişi madencilik, metal endüstrileri, karayolu trafiği, elektrik santralleri, fosil yakıtların yakılması, bitkisel üretim, hayvan yetiştirme, atık suların kaynak olarak kullanılması, tarım kimyasallarının kullanımı, atık bertarafı vb. çıktı ve uygulamalarla olabilmektedir (Anbar, 2004; Dubey, 2011).

Topraktaki hareketlerinin çok az fiksasyonlarının çok fazla olması nedeni ile tarımda sürdürülebilirlik açısından ağır metaller gizli bir tehlike kaynağıdır. İklim değişikliğinin etkisindeki dünya için artan  $\text{CO}_2$ , ürünün kimyasal element konsantrasyonlarında artışlara yol açmaktadır (Wang vd., 2020). Bu durum yakın zamanda ürünlerimizde tehlikeli boyutta ağır metal seviyesinin olacağına dikkat çekmektedir.

Potansiyel toksik elementlerin çoğunun toprakta hareketsiz olduğu, parçalanmadığı için birikimlerle daha uzun süre etki edebildikleri bilinmektedir (Macnicol ve Beckett, 1985). Bu elementlerde üst kritik seviye, bitkinin ürün dokularının veriminde düşüş oluşturmaktadır (Davis vd., 1978a). Ulrich ve Hills (1967), eksiklik, geçit ve yeterlilik bölgelerini bitki gelişim eğrisinde belirterek ürün verimini %10 düşüren element miktarını kritik derişim olarak belirlenmişlerdir.

Sera şartlarında kum kültüründe yazlık arpanın üst kritik seviyesi kuru madde bazında; As'te  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  ve Mo'de  $135 \text{ mg kg}^{-1}$  (Davis vd., 1978b) iken toprak şartlarında arpa bitkisinin toksiklik kriteri olarak eşik noktasının As için kuru madde de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  olmuştur (Şener vd., 1994). As ve Cd elementlerinin buğday bitkisindeki toksisitesi As için hidrofonic sistemde  $0.97 \mu\text{M}$  ve toprakta  $196 \text{ mg kg}^{-1}$ , Cd için  $4.32 \mu\text{M}$  ve toprakta  $449 \text{ mg kg}^{-1}$  olarak belirlenmiştir, toksik birim ve bağışıklık indeksi ölçümlerinde farklı davranışlar gözlenmiştir (Cao vd., 2007). Son dönem çalışmalarında ağır metallerin bitkiye geçişlerinin azaltılmasını konu alan araştırmalar gündemdedir (He vd., 2022). Ağır metale dayanıklı gıdaların belirlenmesi de sağlıklı gıda üretiminde bir yaklaşım olabilmektedir (Li vd., 2010). Buğday dünyada insan beslenmesi için üretilen en önemli tahıllar içerisinde yer almaktadır. As, Mo ve diğer ağır metaller buğday kökleri tarafından alınabilmekte ve toprakta düşük konsantrasyonlarda da buğday tanelerinde yüksek seviyelerde birikebilmektedir (Wang vd., 2011). Birçok sera çalışması ile ağır metallerin bitkilerdeki birikimi çalışılmıştır. Ağır metallerin buğday gelişimine etkileri, kirlenmiş topraklarda tahılların yetiştirilme imkanlarının

bilinmesi ve toprakların iyileştirilerek insanlığın beslenmesi için sağlıklı üretimin yapılması gereklidir. Bu gerekçeyle buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkisinde potansiyel toksik olan Molibden (Mo) ve Arsenik (As) ağır metallerinin buğday verimine kısıtlayıcı etkisinin, buğday bitkisindeki potansiyel toksik ağır metalin toksiklik belirtilerinin belirlenmesi hedeflendi. Çalışma sonunda insan beslenmesinde ana kaynak olan buğday bitkisinin kireçli topraklarda As ve Mo metallerine toksiklik eşiği belirlenerek, kirliliğinin söz konusu olduğu tarımsal alanlarda ürün yetiştirme kapasitelerinin tahmininde ve tarımsal planlamalarda tahminlerin doğru yapılmasına imkan sağlanacak ve ağır metal kirliliğinin etkileri ortaya konacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Toprak özellikleri

Çalışma alanı kireçli alüviyal, kolüviyal ve kahverengi büyük toprak gruplarını içermektedir.

#### 2.1.2 Bitki iklim ve ağır metal özellikleri

Çalışma alanı Mürted ovası, alüviyal, kolüviyal ve kahverengi büyük toprak gruplarını içermektedir. Bölgede tahıllar ekilen alanın büyüklüğü itibarıyla ilk sırada yer alırken, baklagiller, şeker pancarı ve ayçiçeği 2., 3. ve 4. olarak yer almaktadır (Anonim, 1992). Bölgede kullanılan yaygın bir münavebe sistemi olmasından dolayı çalışma buğday (Gün 91) ve nohut (Gökçe) münavebe sisteminde gerçekleştirildi. Buğday bitkisi 90-100 cm uzayabilmektedir. Yapraklar yeşil ve tüyü yoktur. Başaklar orta-sık, kavuzlar beyaz-sarı ve tüyü yoktur. Küçük ve kırmızı tanelidir. Tanelerin şekli oval 6-7 mm uzunlukta ve 3-4 mm genişliktedir. Buğday kışkıktır. Hastalıklara dayanımı ortadır. Geçit Bölgeleri ve İç Anadolu da kullanılmaktadır (Anonim 1981). Nohut ise 30-35 cm uzayabilen bir yapıdadır. Tohum şekli koçbaşı olup, açık krem renginde yüz dane ağırlığı 44-46 g dir. 9 mm elek çapında, kurağa ve yatmaya dayanıklı, erkenci bir çeşittir. Danesi dökülmesi olmamaktadır. 100-110 günlük olgunlaşma süresine ihtiyaç duymaktadır (Anonim 1998). İklim tipik kara iklimidir. Yaz mevsimi kurak ve sıcak geçerken kış mevsimi soğuk geçmektedir. Sıcaklık ortalama 11.7 °C olmakla birlikte 40.0 °C(-24.9 °C) arasındadır. Donlu gün sayısı 84.7 gün seviyesindedir (DİE, 1998).

Çalışmada ağır metal bileşiklerinden bitkiye toksik etkisi olmayan ve suda eriyebilecek formlara sahip olanlar Sodyum Molibdat ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ve Arsentioksit ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) kullanıldı.

### 2.2. Metot

Çalışmada tesadüf blokları dizaynı ile 3 tekrarlı çalışma gerçekleştirildi. Buğday-nohut münavebesi uygulanarak, ağır metal uygulaması ilk uygulama yılında bir kez yapılarak çalışma çakılı yürütüldü. Mo ve As 0, 10, 20 ve 40 kg da<sup>-1</sup> olacak şekilde toprağa homojen dağıtıldı. Bölgenin iklim koşulları dikkate alınarak parsellere azot uygulaması (amonyum nitrat %26; deneme alanı fazla yağış almamaktadır) ikiye bölünerek ve fosfor uygulaması (TSP %42-44) ekim zamanı yapıldı (yapılan analizler doğrultusunda miktarlar belirlendi). Ekimde parseller 6.40 m<sup>2</sup> (3.20 m x 2.00 m) olacak şekilde dizayn edildi. Buğday hasadında 4.32 m<sup>2</sup> (2.88 m x 1.50 m) ve nohut hasadında, 3.84 m<sup>2</sup> (2.56 m x 1.50 m) hasat alanı olarak belirlendi.

#### 2.2.1. Tarla çalışmasının kurulması ve yürütülmesi

Çalışma alanında parsellerin hazırlığı için tavlı toprak sürülerek (pulluk ve kazayağı-tırmık) ekime hazırlandı, parsellasyon yapıldı, azotlu gübre parsel yüzeyine elle serpilerek, fosforlu gübre deneme mibzeriyle ekimde verildi. Azotlu gübre ekim anında ve kardeşlenme başlangıcında ikiye bölünerek uygulandı. Belirlenen dozlarda ağır metaller parsel yüzeyine eşit verildi, toprakta homojen karışım tırmıkla oluşturuldu. Çalışmada ekim zamanı buğday ilaçlaması, yabancı ot mücadelesi yapıldı. Buğday ve nohut bitkilerinin çimlenmesi takip edildi, toksiklik belirtileri takip edildi. Buğday hasadı tırpanla, nohut hasadı elle yapıldı. Buğday daneleri sapından ayrılarak laboratuvara getirildi. Örnekler parsellere uygulanan potansiyel toksik element açısından incelendi. Toprak örnekleme (0-20 cm) kürek alınarak (Jackson (1962), bez torbalarla laboratuvar getirilerek analizleri yapıldı.

#### 2.2.2. Toprak analizlerinde kullanılan metotlar

Su ile doyunluk; (%), toprak saf su ile doyurularak, toprak reaksiyonu; suya doyurulmuş toprakta pH-metre (Jenway 3510) kullanılarak, alınabilir K (kg K<sub>2</sub>O da<sup>-1</sup>); 1 N CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> (pH 7.0) ekstraksiyonunda fleymfotometre ile (Model PFP7) ölçülerek, toplam kireç (%); Scheibler kalsimetresi kullanılarak tayin edildi (Richards, 1954). Toplam tuz (%), kondaktivimetre aleti (Jenway 4520 Conductivimeter) ile tayin edildi (Richards, 1954; Yurdakul, 2018). Organik madde (%); demir sülfat ile geri titrasyon yapılarak hot plate (Lab Tech EG20B) kullanılarak tayin edildi (Walkley ve Black, 1934). Alınabilir P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da<sup>-1</sup>), 0.5 M NaHCO<sub>3</sub> (pH 8.5) ekstraksiyonunda spektrofotometre (Jenway 6300) ile tayin edildi (Olsen vd., 1954).

**Tablo 1.** Toprakların bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Derinlik (cm)	Su ile Doymuluk (%)	Toplam Tuz (%)	Kireç (%)	Organik Madde (%)	pH	Alınabilir Besin Maddesi (kg da <sup>-1</sup> )	
						P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
0-20	67	0.113	17.3	1.5	7.82	4.74	175.6

### 2.2.3. Analiz ve değerlendirme yöntemleri

Buğday bitkisinde Mo ve As için toksik olan miktarın belirlenmesinde, ürünün en yüksek değerinde % 10'luk azalma gerçekleştiren ağır metal miktarı kullanıldı (Ulrich ve Hills, 1967). Ayrıca bitkideki toksik etki belirtileri gözlemlendi. Uygulanan ağır metalin buğday bitkisi verimine olan etkisinin istatistiki kontrolü MSTAT istatistik programı ile yapıldı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmaya ait deneme, alınabilir potasyum miktarları yeterli, alınabilir fosfor miktarları az, organik madde miktarı az, tuzsuz, fazla kireçli ve hafif alkali reaksiyonlu Mürted Ovası topraklarında kuruldu (Tablo 1).

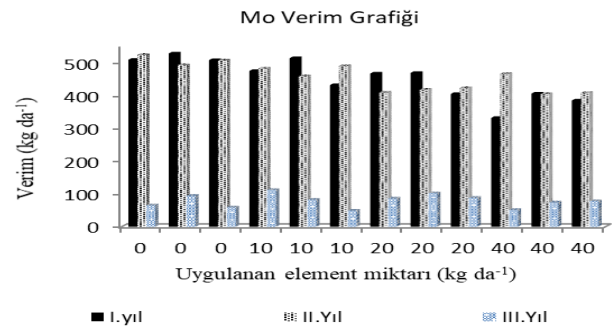
#### 3.1. Molibden elementi bulguları

##### 3.1.1 Molibden uygulamasının buğday verimi üzerine etkisi

Uygulanan elementlerden ilk yıl Mo buğday bitkisi veriminde toksik etkide bulundu. Çakılı olarak yürütülmekte olan denemede ikinci yıl buğday hasadından sonra aynı parsellere nohut ekimi yapıldı. İkinci buğday yılından sonra hasat edilen buğday bitkisinde Mo elementinin toksikliği devam ederek, buğday verimini önemli derecede azalttı. Deneme alanından takip eden yılda nohut hasadı yapıldı. Denemenin sadece ilk ekim yılında toprağa uygulanan Mo elementinin üçüncü buğday ekim yılında buğday bitkisine toksik etkisi ortadan kalktı.

Çalışmanın ilk yılında toprağa 10, 20 ve 40 kg Mo da<sup>-1</sup> uygulaması buğday verimlerinde ortalama olarak, yıllar itibari ile azalmalara (kontrol konusuna göre 514–373 kg da<sup>-1</sup>, 507–425 kg da<sup>-1</sup>, 73–68 kg da<sup>-1</sup>) neden oldu (Şekil 1). Bu azalmalar yıl sırasıyla; % 27.43, % 16.17 ve % 6.85'lik verim düşüşü olarak görüldü. Beusichem (1990), Chatterjee ve Nautiyal (2006) yaptıkları çalışmalar ile makalede bulunduğu gibi buğday veriminde azalma tespit etmişlerdir. Çalışmamızda buğday verimlerinde meydana gelen bu azalma birinci ve ikinci buğday ekim yıllarında istatistiksel anlamda önemli olmuştur (F=13.9\*\*, P<0.01) (F=16.2\*\*, P<0.01) (Şekil 2). Çalışmada tespit edilmiş olan bitki verimindeki azalmanın nedeni olarak literatürlerde bitkilerdeki ağır metal fitotoksitesinin bitki büyümesini etkileyerek oksidatif strese, sitotoksik ve genotoksik etkilere neden olarak ürün veriminde azalmayı oluşturduğu bildirilmektedir (Ashfaque vd., 2016; Njoh, 2019). Çalışmada Mo uygulama düzeyleri dikkate alındığında Ulrich ve Hills

(1967)'e göre en yüksek verimde %10'luk azalmayı, toprağa uygulanan Mo'in 14 kg da<sup>-1</sup>lık (Şekil 2) düzeyi sağladı. Çakılı olarak takip edilen bu çalışmada ilk uygulama yılında verilen Mo elementinin çalışmanın üçüncü buğday yılında buğday verimine etkisi önemini kaybetti (Şekil 1, Şekil 3). Bunun yanında Mo'in temel bir mikro element olması nedeniyle bitkilerde oksidatif stres toleransının artmasına destek olduğu 0 ve 1 µM Mo ile azotlu gübrenin farklı formlarının hidrofonik sistemde, kışık buğdaylarda ABA'yı artırarak farklı N kaynakları altında kışık buğdayda oksidatif stres toleransını düzenlediği, bitki biyokütlesini, tane verimini, P ve Mo alımını sırasıyla %34.9, %14.8, %98.1 ve %654.1 arttırarak yaprak kütikülü, stoma, kloroplast ve mezofil doku hücresi konfigürasyonu koruduğunun bilinmesi ile birlikte (Imran vd., 2020; Rana vd., 2020), sera şartlarında Mo toksikliği killi toprak için 185 mg kg<sup>-1</sup> (46.25 kg da<sup>-1</sup>) ve killi tınlı toprak için 75.6 mg kg<sup>-1</sup> (18.6 kg da<sup>-1</sup>) (Gedikoğlu vd., 1997) olduğu da bildirilmekte ve çalışma sonuçlarını desteklemektedir. Yine çalışma sonuçları ile paralel olarak buğday çeşitlerinin Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> ilavesi ile oluşan Mo toksitesinin en düşük gözlemlenen etki konsantrasyonunun 32 mg Mo kg<sup>-1</sup> olduğunu ortaya koyan çalışmalar yapılmıştır (Kundu, 2013;). Bitki bünyesine Mo alınımı ve toksik etkilerin ortaya çıktığı bu çalışmaya paralel Cu, Cd, Pb ve Zn farklı arazi kullanım türlerinde (kıraç, buğday, kanola ve elma fidesi tarlaları) ve terk edilmiş Mo atık alanı çevresinde bitkilerde (ekili ekinler ve yabancı pelin) Mo'in beklenen değerlerin üzerinde bulunduğu ve toksik etkileri tespit edilmiştir (Han vd., 2019).

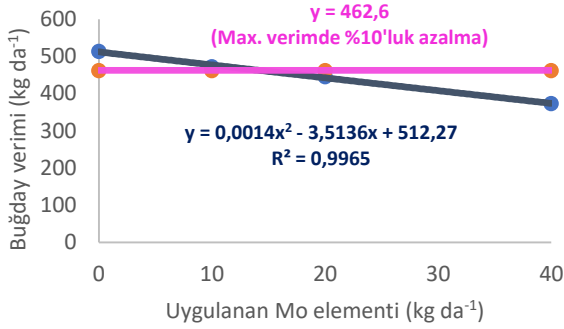


**Şekil 1.** Farklı seviyelerde Mo uygulanan parsellerden alınan buğday verim miktarları (kg da<sup>-1</sup>)

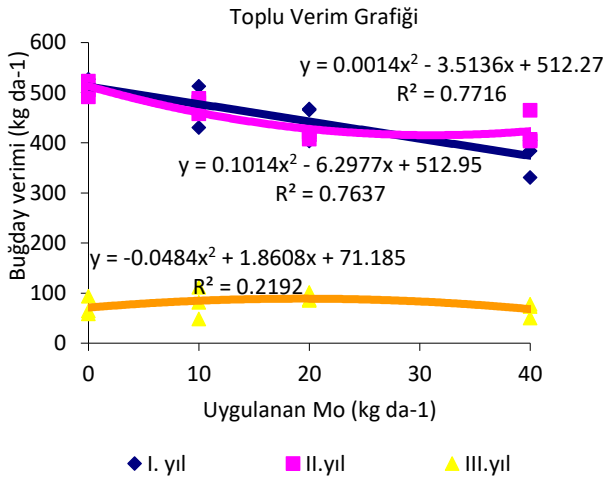
##### 3.1.2. Molibden toksiklik belirtileri

Çalışmanın ilk kurulduğu yılda Mo uygulanan parselerde spesifik denilebilecek toksiklik belirtileri gözlemlendi. Bu belirtiler kontrol parselerinde gözlenmez iken artan Mo uygulama düzeyleri ile belirtilerin şiddeti arttı.



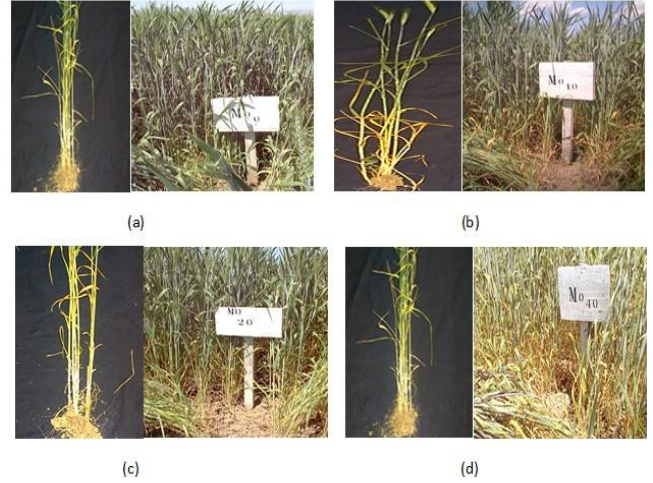


**Şekil 2.** Farklı seviyelerde Mo uygulama dozları ile buğday verim miktarları arasındaki ilişki



**Şekil 3.** Farklı seviyelerde Mo uygulama dozları ile buğday verim miktarları arasındaki ilişki

Buğday bitkisinin yaprak uçlarından başlayarak ilerleyen sarıdan turuncu renge yakın sararmalar oluştu. Bu turuncu renk tüm yaprak damarları ve damar aralarında homojen olarak yayıldı (Şekil 4). Mo uygulamasının yüksek düzeylerinde ve gelişimin ilerleyen devresinde yine yaprak ucundan başlayarak bu turuncu kısımlar kurumaya başladı. Mo uygulanmış olan parsellerde bitki gelişiminde ve boyunda gerileme ile cılız, küçük ve sağlıklı bitki görünümü ortaya çıktı. Havlin vd., (2017), Mo toksisitesinin belirtileri olarak yapraklarda altın sarısından portakal-sarına değin gelişen bir sararma tarif etmiştir ki bu belirtiler çalışmada da takip edildi. Üründe Mo toksikliğinde yaprak renginde sarı-kahverengi bozulmaların oluştuğu da belirtmiştir. Chatterjee ve Nautiyal (2006)'ın çalışmalarının sonuçlarına göre; buğday bitkisinin 0.0002 mg Mo L<sup>-1</sup> ve 10 mg Mo L<sup>-1</sup> uygulama seviyelerinde Mo fazlalığının, biyokütleyi, tane verimini ve yapraklarda nitrat redüktaz aktivitesini önemli ölçüde azaltmıştır. Düşük ve fazla Mo, tohum proteinlerinin prolamin, glutelin ve globulin fraksiyonlarının yanı sıra nişasta, şekerler, protein, protein olmayan ve toplam nitrojen (N) içeriğini düşürerek tahılların kalitesini bozmuştur (Chatterjee ve Nautiyal, 2006). Molibden hem hafif olgunlaşmamış tohumların üretilmesine, hem de zayıf canlılık ve



**Şekil 4.** Farklı seviyelerde Mo uygulama dozlarında buğday bitkisindeki toksiklik semptomları; a) Mo uygulanmayan kontrol konusu, b) Mo uygulaması 10 kg da<sup>-1</sup>, c) Mo uygulaması 20 kg da<sup>-1</sup> ve d) Mo uygulaması 40 kg da<sup>-1</sup>

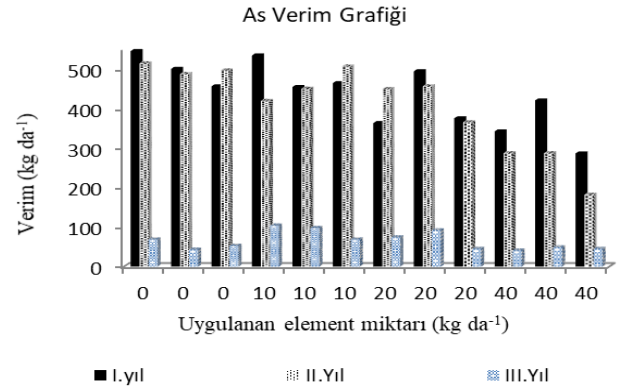
çimlenme potansiyeline neden olarak, yapraklarda yeterlilik ve toksisite eşiği değerleri buğdayın 0.13 ve 1.15 µ Mo g<sup>-1</sup> kuru madde olarak bulunmuştur (Chatterjee ve Nautiyal, 2006).

### 3.2. Arsenik elementi bulguları

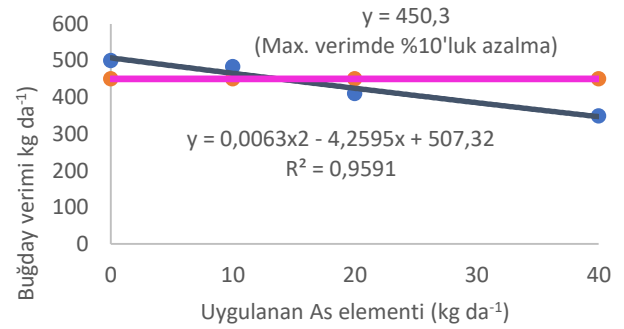
#### 3.2.1. Arsenik uygulamasının buğday verimi üzerine etkisi

Çalışmanın ilk yılında yapılan As uygulaması buğday bitkisi verimine toksik etkide bulundu. İkinci buğday yılından sonra hasat edilen buğday bitkisinde As elementinin toksikliği devam ederek, buğday verimini önemli derecede azalttı. Kumar vd. (2021) As elementinin buğday üzerine toksik etkileri olduğunu belirterek petri kaplarında gerçekleştirdikleri çalışmalarla bu toksik etkiyi azaltacak farklı ZnO NP + As seviyelerinde çalışmalar yapmışlardır. 10 ppm As uygulaması sonucu oluşan çimlenme yüzdesi, sürgün uzunluğu, kök uzunluğu, fide gücü, bağıl su içeriği (RWC), zar stabilite indeksi (MSI), klorofil, karotenoid ve protein içeriği, süper oksit aktivitesindeki azalmaların ZnO NP'ler (25ppm) ile azaltıldığını bildirmişlerdir. Deneme alanından takip eden yılda nohut hasadı yapıldı. Denemenin üçüncü buğday yılında ilk yıl belirtilen düzeylerde uygulanan As elementinin toksik etkisi devam etti buğday veriminde önemli bir düşüş oluşturdu. Soto vd. (2019) tarafından da ağır metal ve metaloidlerle çoklu kontamine olmuş topraklarda, bitki türlerinin oluşumunun genellikle toksisite nedeniyle engellendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında Pseudomonas gessardii ve Brevundimonas intermedia olarak sınıflandırılan iki As dirençli bakteri izolatu ve Fimetariella rabenhortii ve Hormonema viticola olarak sınıflandırılan iki As dirençli mantarı topraktan izole ederek As toksikliğini azaltmada tedavi edici olarak kullanmışlardır.

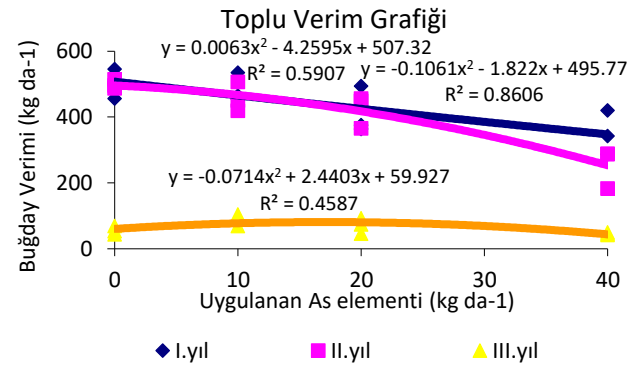
Toprağa artan düzeylerde çalışmanın ilk yılında 0, 10, 20 ve 40 kg da<sup>-1</sup> As uygulaması ile elde edilen buğday bitkisi verimlerinde ortalama verim miktarlarında 500–349 kg da<sup>-1</sup>, 499–252 kg da<sup>-1</sup>, 55–45 kg da<sup>-1</sup> değerlerine kadar azaltma gözlemlendi (Şekil 5). Aynı şekilde Pigna vd. (2010) ve Saeed vd. (2021)'de yaptıkları çalışmada As uygulamasının verimde azalmalara neden olduğunu belirtmişlerdir. Kumari vd. (2019) sideroforun arsenik (As) toksisitesinin bitki fidelerinin fizyolojisi üzerindeki olumsuz etkisine ve biyokimyasal tepkiye karşı koyma yeteneğini analiz etmek için buğday bitkileri üzerinde deneyler yapmışlardır. Çalışma sonuçlarımıza paralel olarak buğday bitkisinde toksisitenin kök ve gövde uzunluklarını, klorofil ve karotenoid içeriklerini ve çeşitli antioksidan enzimlerin aktivitelerini olumsuz etkileyerek, bitki büyümesini kısıtladığını bu etkinin siderofor uygulaması ile önemli ölçüde geri kazanıldığını belirtmişlerdir. Çalışmamızda bu azalma sırası ile % 30.2, % 49.50 ve % 18.18 seviyelerine kadar düştü (Şekil 5, Şekil 7). Ağır metaller toksik seviyelerde fotosentez ve terleme etkisinde besin dengesizliklerine, enzimatik aktivitelerin inhibisyonu ile oranlarında azalmaya, serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin oluşumunu uyararak oksidatif strese neden olarak, tohum çimlenmesini ve fide büyümesini baskılamaktadır (Ashfaque vd., 2016). Çalışmamızda ilk yıl yapılan As uygulaması her yıl buğday veriminde Ashfaque vd. (2016) tarafından da belirtildiği gibi azaltıcı bir etki yarattı ve bu etki istatistiksel olarak önemli oldu (Şekil 6). Buğday verim değerlerine ait istatistiksel incelemede çalışmanın I., II. ve III. buğday ekim yılında As uygulamasının buğday verimi üzerine etkisi önemli (F= 5.33\*, P<0.05) (F=15.05\*\*, P<0.01) (F=5.36\*, P<0.05) bulundu (Şekil 6). Çakılı olarak yürütülen çalışmada As uygulama düzeyleri dikkate alındığında maksimum verimde %10'luk azalmayı toprağa uygulanan As'ın 13.7 kg da<sup>-1</sup>lık düzeyi sağladı (Şekil 6). Sanayi etkisindeki tarımsal alanlarda buğday bitkisindeki ağır metal konsantrasyonlarının Cr>Ni>As>Hg sıralamasında olurken en büyük tehlikenin 0.33 ile 13.3 mg kg<sup>-1</sup> arasında değişen miktarlar ile As elementinde en düşük tehlikenin de 1.5 mg kg<sup>-1</sup> miktarı ile Cr elementi ile ilgili olduğu bilinmektedir (Sadeghi vd., 2020). Tarım topraklarında yetiştirilen buğday bitkilerine uygulanan ağır metallere (As, Cd, Cr, Pb, Hg) kökte en fazla olduğu çok hızlı bir şekilde üst aksama taşınımının gerçekleştiği bilinmektedir (Liu vd., 2009). Çalışma sonucunu teyit eder nitelikte sera ortamında As uygulamasında toksik etki killi toprak için 7.8 mg kg<sup>-1</sup> (1.95 kg da<sup>-1</sup>) ve killi tınlı toprak için 10.7 mg kg<sup>-1</sup> (2.68 kg da<sup>-1</sup>) olduğu (Gedikoğlu vd., 1997), buğday çeşitlerinin As tane konsantrasyonlarının (0.23–1.22 mg kg<sup>-1</sup>) farklılık gösterdiği, buğday tanelerinde As translokasyonunun genellikle az olduğu ve sıralamanın kök>gövde>yaprak>tane sırasını takip ettiği bildirilmektedir (Kundu, 2013; Guo vd., 2018; Kamrozzaman vd., 2016). BARI Gom–21, BARI Gom–23, BARI Gom–24, BARI Gom–25 ve BARI Gom–26 buğday çeşitlerinde tane de As konsantrasyonu 0.49-1.15 mg kg<sup>-1</sup>



Şekil 5. Farklı seviyelerde As uygulanmış parsellerden alınan buğday verim miktarları (kg da<sup>-1</sup>)



Şekil 6. Farklı seviyelerde As uygulama dozları ile buğday verim miktarları arasındaki ilişki



Şekil 7. Farklı seviyelerde As uygulama dozları ile buğday verim miktarları arasındaki ilişki

arasında değişmiştir (Kamrozzaman vd., 2016). Atık suların deşarj edildiği drenaj kanalı, katı atık depolama merkezi ve sanayi bölgesini çevreleyen topraklarda yetişen buğday bitkilerinde ağır metal birikimleri söz konusudur ancak jeolojik olayların da bunda etkisi bulunmaktadır (Öztürk ve Arıcı, 2021).

### 3.2.2. Arsenik toksiklik belirtileri

Toprağa artan düzeylerde çalışmanın ilk yılında uygulanan 0, 10, 20 ve 40 kg da<sup>-1</sup> As düzeylerinin buğdayın maksimum veriminde %10'luk azalmayı sağladığı As uygulama düzeyi 13.7 kg As da<sup>-1</sup> olarak tespit edildi. Şener ve ark. (1994), toprak şartlarında yetiştirilen arpa bitkisinde toksiklik kriteri olarak eşik noktasının

kullanıldığı durumda kritik düzeyin kuru maddede 10 mg kg<sup>-1</sup> olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın ilk kurulduğu yılda As parsellerinde spesifik denilebilecek toksiklik belirtileri gözlemlendi. Kontrol parselinde her üç blokta da bitki gelişimleri iyi diğer dozlara göre bitki boyları uzun ve yoğunluk daha fazla olmuştur. As uygulama seviyelerinin artışı ile buğday veriminde düşmeler söz konusu oldu. Bitki boyları As düzeyi arttıkça kısaldı ve parseldeki bitki yoğunluğu azaldı. En yüksek As (40 As kg da<sup>-1</sup>) uygulanan parselde bitki çıkışı çok az hatta parsellerin sadece kenar kısımlarda bitki çıkışı gözlemlendi. As parsellerinde genel olarak bitki çıkışı çok az oldu. Çalışmada gözlenen semptomlar As toksikliğinin bitki çimlenme aşamasında oluşmaya başladı. Ashfaque vd. (2016) tarafından ağır metallerin toksik seviyeleri iç zarların yapısal ve geçirgenlik özelliklerini etkileyerek fotosentez ve terleme etkisinde besin dengesizliklerine, enzimatik aktivitelerin inhibisyonu ile oranlarında azalmaya, serbest radikallerin ve reaktif oksijen türlerinin oluşumunu uyararak oksidatif strese neden olduğu, tohum çimlenmesinin ve fide büyümesinin baskılandığı belirtilmiştir.

#### 4. Sonuç

Çalışmada Mo (Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) ve As'in (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0, 10, 20, 40 kg da<sup>-1</sup> seviyelerinde tarla koşullarında buğday bitkisinin gelişim ve verimine etkilerinin saptanması, buğday bitkisinde oluşacak toksiklik belirtilerinin belirlenmesi amaçlandı. Uygulanan elementlerden ilk yıl hem Mo hem de As buğday bitkisi veriminde toksik etkide bulundu. İkinci buğday yılından sonra hasat edilen buğday bitkisinde Mo ve As elementlerinin toksikliği devam ederek, buğday verimini önemli derecede azalttı. Denemenin üçüncü buğday yılında elementlerin verime etkilerinde sadece As elementinin toksik etkisi devam etti, buğday veriminde önemli bir düşüş oluşturdu. Toprağa artan düzeylerde uygulanan Mo ve As yıllar itibarıyla buğday verimlerinde sırası ile %27.43, %16.17 ve %6.85'lik ve %30.2, %49.50 ve %18.18 verim düşüşü meydana getirdi. Mo için buğday verimlerinde meydana gelen bu azalma I. ve II. buğday ekim yılında önemli bulundu (P<0.01). Çalışmada Mo uygulama düzeyleri dikkate alındığında maksimum verimde %10'luk azalmayı toprağa uygulanan Mo'in 14 kg da<sup>-1</sup> düzeyi sağladı. Denemenin I., II. ve III. buğday ekim yılında As uygulamasının buğday bitkisinin verimine etkisi (P<0.05) önemli oldu. Üç buğday ekim yılı için de As uygulaması buğday veriminde azaltıcı bir etki yarattı. As uygulama düzeyleri dikkate alındığında maksimum verimde %10'luk azalmayı toprağa uygulanan As'in 13.7 kg da<sup>-1</sup>lik düzeyi sağladı. Denemenin ilk kurulduğu yılda Mo ve As parsellerinde spesifik denilebilecek toksiklik belirtileri gözlemlendi. Bu belirtiler Mo uygulama düzeyleri ile buğday bitkisinde yaprak uçlarından başlayarak ilerleyen sarıdan turuncu renge yakın sararmalar oluştu. Bu turuncu renk tüm yaprak damarları ve damar aralarında homojen olarak yayıldı. Mo uygulamasının yüksek düzeylerinde ve

gelişimin ilerleyen devresinde yine uçtan başlayarak bu turuncu kısımlar kurumaya başladı. Mo uygulanan parsellerde bitki gelişiminde ve boyunda gerileme ile cılız, küçük ve sağlıklı bir bitki görünümü ortaya çıktı. As dozlarının artışı ile bitki boyları kısaldı, parseldeki bitki yoğunluğu azaldı. En yüksek As dozunda bitki çıkışının çok az olduğu ve toksikliğin bitkinin çimlenme noktasında kendini ortaya çıkardığı gözlemlendi.

Yapılan çalışma ile dünya da beslenmede büyük paya sahip buğday bitkisinin son dönemlerde ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yetiştirilmek zorunda kalındığında ortaya çıkabilecek verim düşüşleri ve toksiklik semptomları belirlendi. Dünyada yakın zamanda ağır metallerle kirlenmiş topraklarda artış ve ürünlerde verim düşmesi, kalite düşmesi ve ağır metal birikimi büyük bir problem olarak karşımıza çıkacaktır. Ağır metal kirliliğinin ürünlere etkilerinin tam olarak ortaya konulmasına, topraktan alımının kısıtlanmasına yönelik yeni yaklaşımlara, bununla birlikte kirliliği yerinde iyileştirecek fitoremediasyon teknikleri ile çalışarak kirliliğin artışı engelleyecek çözümlerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

#### Teşekkürler

Araştırmaya verilen desteklerinden dolayı Köy Hizmetler Genel Müdürlüğü'ne yazarlar teşekkür ederler.

#### Yazar Katkı Oranları

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamışlardır

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir çıkar çatışması beyanımız bulunmadığını bildiririz.

#### Etik Kurul Onayı

Bu çalışmanın yazarları olarak herhangi bir etik kurul onay bilgileri beyanımız bulunmadığını bildiririz.

#### Kaynakça

- Anbar, A. D. (2004). Molybdenum stable isotopes: Observations, interpretations and directions. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 55, 429–454.
- Andrew, P., Brian, J., & Alloway J. (19912). *The Transfer of Cadmium from Agricultural Soils to the Human Food Chain* in: Adriado DC (eds). *Biogeochemistry of trace metals* (pp.109–158). CRC Press. London.
- Ashfaque, F., Inam, A., Sahay, S., & Iqbal, S. (2016). Influence of heavy metal toxicity on plant growth, metabolism and its alleviation by phytoremediation - A promising technology. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 6(2), 1–19. <https://doi.org/10.9734/jaeri/2016/23543>

- Beusichem, M. L. (1990). *Plant nutrition-physiology and applications, effect of arsenic and molybdenum on plant response of cauliflower (Brassica oleracea) grown in sand culture*. Kluwer Academic Publishers. Canada
- Brozoska, M. M., & Moniuszko-Jakoniuk, J. (2001). Interactions between cadmium and zinc in the organism. *Food and Chemical Toxicology*, 39 (10), 967–980. [https://doi.org/10.1016/S0278-6915\(01\)00048-5](https://doi.org/10.1016/S0278-6915(01)00048-5)
- Cao, Q., Hu, Q. H., Khan, S., Wang, Z. J., Lin, A. J., Du, X., & Zhu, Y. G. (2007). *Wheat phytotoxicity from arsenic and cadmium separately and together in solution culture and in a calcareous soil*. Chinese Academy of Sciences, China.
- Chatterjee, C., & Nautiyal, N. (2006). Molybdenum stress affects viability and vigor of wheat seeds, *Journal of Plant Nutrition*, 24(9), 1377-1386. <https://doi.org/10.1081/PLN-100106988>
- Davis, R. D., & Beckett, P. H. T. (1978a). Upper critical levels of toxic elements in plants. II. critical levels of copper in young barley, wheat, rape, lettuce and ryegrass, and of nickel and zinc in young barley and ryegrass. *New Phytologist*, 80(1), 23–32.
- Davis, R. D., Beckett, P. H. T., & Wollan, E. (1978b). Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant and Soil*, 49, 395–408.
- DİE (1998). Tarımsal yapı (üretim, fiyat, değer). Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Yayınları, DİE Matbaası, Ankara.
- Dubey, R. S. (2011). Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: Gupta SD (eds), *Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants* (pp 177-203). CRC Press, Boca Raton, USA.
- Gedikoğlu, İ., Kalınbacak, K., Yalçıklı, A., & Yurdakul, İ. (1997). *Bazı ağır metallerin topraktan ekstaksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması ve buğday yetiştirilerek kalibrasyonu*. Toprak ve Su Kaynakları Enstitüsü yayınları No:106. Ankara, Türkiye.
- Guo, G., Lei, M., Wang, Y., Song, B., & Yang, J. (2018). Accumulation of As, Cd, and Pb in sixteen wheat cultivars grown in contaminated soils and associated health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (2601), 2–17. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112601>
- Han, Z., Wan, D., Tian, H., He, W., Wang, Z., & Liu, Q. (2019). Pollution assessment of heavy metals in soils and plants around a molybdenum mine in central China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28 (1), 123–133. <https://doi.org/10.15244/pjoes/83693>
- Havlin, J. L., Tisdela, S. L., Wernel, N. L., & Beaton, J. D. (2017). *Soil fertility and fertilizers*. Pearson India Education Services. India.
- He, Y., Zhang, T., Sun, Y., Wang, X., Cao, Q., Fang, Z., Chang, M., Cai, Q., & Lou, L. (2022). Exogenous IAA alleviates arsenic toxicity to rice and reduces arsenic accumulation in rice grains. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 734–741.
- He, Z. L., Yang, X. E., & Stoffella, P. J. (2005). Trace elements in agro-ecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19, 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2005.02.010>
- Imran, M., Sun, X., Hussain, S., Ali, U., Rana, M. S., Rasul, F., Shaukat, S., & Hu, C. (2020). Molybdenum application regulates oxidative stress tolerance in winter wheat under different nitrogen sources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1827–1837. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00254-6>
- Jackson M. L. (1962). *Soil chemical analysis*. Parallel Press. Madison, Wisconsin.
- Kamrozzaman, M. M., Khan, M. A. H., Ahmed, S., Sultana, N., & Quddus, A. F. M. R. (2016) Evaluation of five wheat varieties on arsenic contaminated soils of Bangladesh, *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 4(3), 330–337. <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v4i3.15761>
- Kumar, J., Kumar, S., Mishra, S., & Singh, A. K. (2021). Role of zinc oxide nanoparticles in alleviating arsenic mediated stress in early growth stages of wheat. *Journal of Environmental Biology*, 42, 518-523. [https://doi.org/10.22438/jeb/42/2\(SI\)/SI-273](https://doi.org/10.22438/jeb/42/2(SI)/SI-273)
- Kumari, S., Khan, A., Singh, P., Kumar Dwivedi, S., Ojha Kumar, K., & Srivastava, A. (2019). Mitigation of As toxicity in wheat by exogenous application of hydroxamate siderophore of *Aspergillus* origin. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41,107.
- Kundu, R., Bhattacharyya, K., Majumder, A., & Pal, S. (2013). Response of wheat cultivars to arsenic contamination in polluted soils of West Bengal, India, *Cereal Research Communications*, 41(1), 66–77. <https://doi.org/10.1556/crc.2012.0027>
- Li, Q., Cai, S., Mo, C. H., Chu, B., Peng, L. H., & Yang, F. H. (2010). Toxic effects of heavy metals and their accumulation in vegetables grown in a saline soil, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73, 84–88. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.09.002>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421–428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Liu, W. X., Liu, J. V., Wu, M. Z., Li, Y., Zhao, Y., & Li, S. R. (2009). Accumulation and translocation of toxic heavy metals in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) growing in agricultural soil of Zhengzhou China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82, 343–347.
- Macnicol, R. D., & Beckett, P. T. H. (1985). Critical tissue concentrations of potentially toxic elements. *Plant and Soil*, 85, 107–129.
- Maiti, S. K., Kumar, A., & Ahirwal, J. (2015). Bioaccumulation of metals in timber and edible fruit trees growing on reclaimed coal mine overburden dumps. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*, 30, 231–244. <https://doi.org/10.1080/17480930.2015.1038864>



- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press. London, England.
- Mclaughlin, M. J., Parker, D. R., & Clarke, J. M. (1999). Metals and micronutrients-food safety issues. *Field Crops Research*, 60 (1-2), 143-163. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00137-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00137-3)
- Olsen, S. R., Cole, V., Watanable, F. S., & Dean, L. A. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*, United States Department of Agriculture. Washington, United States of America.
- Ozturk, A., & Arici, O. K. (2021). Carcinogenic-potential ecological risk assessment of soils and wheat in the eastern region of Konya (Turkey), *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5471-15484.
- Pigna, M., Cozzolino, V., Caporale, A. G., Mora, M. L, Di-Meo, V., Jara, A. A., & Violante, A. (2010). Effects of phosphorus fertilization on arsenic uptake by wheat grown in polluted soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 10(4), 428-442. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200004>
- Rana, M. S., Sun, X., Imran, M., Khan, Z., Moussa, M. G., Abbas, M., Bhandana, P., Syaifudin, M., Din, I. U., Younas, M., Shah, Md. A., Afzal, J., & Hu, C. (2020). Mo-inefficient wheat response toward molybdenum supply in terms of soil phosphorus availability, *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1560-1573. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00298-8>
- Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180,169-181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement saline and alkaline soils*. United States Department of Agriculture. Washington, United States of America.
- Rizvi, A., Ahmed, B., Zaidi, A., & Khan, M. S. (2019). Heavy metal mediated phytotoxic impact on winter wheat: oxidative stress and microbial management of toxicity by *Bacillus subtilis* BM2. *The Royal Society of Chemistry*, 9, 6125-6142. <https://doi.org/10.1039/C9RA00333A>
- Roy, M., & McDonald, L. M. (2015). Metal uptake in plants and health risk assessments in metal-contaminated smelter soils. *Land Degradation and Development*, 26, 785-792. <https://doi.org/10.1002/ldr.2237>
- Sadeghi, M., Noroozi, M., Kargar, F., & Mehrbakhsh, Z. (2020). Heavy metal concentration of wheat cultured in golestan province, Iran and its health risk assessment, *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 5(2), 993-1000. <https://doi.org/10.18502/jehsd.v5i2.3386>
- Saeed, M., Quraishi, U. M., & Malik, R. N. (2021). Arsenic uptake and toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.): A review of multi-omics approaches to identify tolerance mechanisms, *Food Chemistry*, 355(1), 129607. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129607>
- Sponza, D., & Karaoğlu, N. (2002). Environmental geochemistry and pollution studies of Aliğa metal industry district. *Environment International*, 27(7), 541-553. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00108-8](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00108-8)
- Soto, J., Ortiz, J., Herrera, H., Fuentes, A., Almonacid, L., Charles T. C., & Arriagada, C. (2019). Enhanced Arsenic Tolerance in *Triticum aestivum* Inoculated with Arsenic-Resistant and Plant Growth Promoter Microorganisms from a Heavy Metal-Polluted Soil. *Microorganisms*, 7(9), 348. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7090348>
- Şener, S., Gedikoğlu, İ., Bilgin, N., Güngör, H., & Üstün, H. (1994). Çeşitli etkenlerle kirlenen sulama sularının toprak özelliklerine ve bitki verimine etkisi. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, No: 80, Ankara, Türkiye.
- Thalassinos, G., & Antoniadis, V. (2021). Monitoring potentially toxic element pollution in three wheat-grown areas with a long history of industrial activity and assessment of their effect on human health in Central Greece, *Toxics*, 9(11), 293. <https://doi.org/10.3390/toxics9110293>
- Ulrich, A., & Hills, F. J. (1967). *Principles and practices of plant analysis. Soil testing and plant analysis. Part II*. SSSA Spec. Publ. Ser. 2. SSSA, Madison, WI.
- Veliu, A. (2016). Determination of heavy metals in soil in the industrial area. *Journal of International Environmental Application and Science*, 11(4), 391-395.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method, *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, J., Li, L., KeeL, S., Liu, X., & Pan, G. (2020). Responses of wheat and rice grain mineral quality to elevated carbon dioxide and canopy warming. *Field Crops Research*, 249, 107753. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107753>
- Wang, Z. W., Nan, Z. R., Wang, S. L., & Zhao, Z. J. (2011). Accumulation and distribution of cadmium and lead in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in contaminated soils from the oasis, north-west China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, 377-384. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4196>
- Yurdakul, İ., Kalınbacak, K., Terzi, D., & Peker, R. M. (2017a). Ağır metallerin tarla şartlarında buğday (*Triticum Aestivum* L.) verimine toksik etkisinin belirlenmesi. *Neveşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 580-593. <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.327148>
- Yurdakul, İ., Kalınbacak, K., Terzi, D., & Peker, R. M. (2017b). Bazı ağır metallerin (Cu ve Zn) tarla şartlarında ekmeçlik buğday verimine ve toksikliğine etkilerinin belirlenmesi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 6(2), 50-56.
- Yurdakul, İ. (2018). *Toprak gübre su bitki organik materyal ve mikrobiyoloji laboratuvar el kitabı*. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayınları, No: T-72, Ankara, Türkiye.
- Zhao, H., Wu, Y., Lan, X., Yang, Y., Wu, X., & Du, L. (2022). Comprehensive assessment of harmful heavy metals in

contaminated soil in order to score pollution level.  
*Scientific Reports*, 12, 3552.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-07602-9>