



## Arazi koşullarında çinko ile kirletilmiş toprağın biyolojik özelliklerindeki değişim

Betül BAYRAKLI<sup>1\*</sup>, Rıdvan KIZILKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Samsun

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

### Öz

Toprak mikroorganizmaları ve bunların aktiviteleri toprak kirliliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, tın bünyeli bir toprağa artan dozlarda uygulanan çinko (Zn)'nun toprağın mikrobiyal biyomas karbon ( $C_{mic}$ ), toprak solunumu (TS), üreaz (UA) ve  $\beta$ -glikosidaz ( $\beta$ -GA) aktiviteleri gibi mikrobiyal özelliklerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü ve 0, 75, 150, 300, 600 ve 1200 mg  $kg^{-1}$  Zn dozları olarak kurulmuştur. Toprak mikrobiyolojik özelliklerindeki değişiklikleri belirlemek için her parselden yıl boyunca her ay toprak örnekleme yapılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre; toprağın  $C_{mic}$ 'i kontrol uygulamasına kıyasla yüksek Zn dozlarında düşmüştür. Buna karşın, TS kontrole göre düşük Zn dozlarında düşerken yüksek dozlarda artış göstermiştir. Toprağa uygulanan tüm çinko dozlarının  $\beta$ -GA üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu görülmektedir. Üreaz aktivitesi ise orta ve yüksek dozlardaki Zn'den olumsuz etkilenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** : Çinko, toprak, mikrobiyal biyomas, üreaz ve  $\beta$ -glikosidaz, toprak solunumu.

### Change in the biological properties of soil contaminated with zinc in field conditions

#### Abstract

Soil microorganisms and their activities are considered as important factors in the monitoring and evaluation of soil pollution. In this study, the changes in the microbial properties of the soil such as microbial biomass carbon ( $C_{mic}$ ), soil respiration (TS), urease (UA) and  $\beta$ -glycosidase ( $\beta$ -GA) activities of Zn applied at increasing doses to a loam textured soil were evaluated. The experiment was established according to the randomized blocks experimental design with three replications and doses of 0, 75, 150, 300, 600 and 1200 mg  $kg^{-1}$  Zn. To determine the changes in soil microbiological properties, soil samples were taken from each plot every month throughout the year. According to the results of the study;  $C_{mic}$  of soil decreased at higher Zn doses compared to control treatment. On the other hand, TS decreased at low Zn doses and increased at higher doses compared to control. All doses of zinc applied to the soil appear to have negative effects on  $\beta$ -GA. Urease activity was negatively affected by medium and high doses of Zn.

**Keywords:** Zinc, soil, microbial biomass, enzyme activity, soil respiration.

© 2023 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

### Giriş

Birbirine ayrılmaz bir şekilde bağlı ve biri diğerine sürekli tesir eden toprak, su, bitki, hava ve diğer ekolojik faktörler yaşadığımız çevreyi meydana getirir. Bilindiği gibi çevre canlıların yaşamını sağlayan ve onları sürekli etkisi altında bulunduran faktörler kompleksidir. Çevreyi oluşturan temel unsurlardan hava, su ve toprakta doğal koşullar altında, ekolojik bir denge söz konusudur. Bu denge sonucu, canlılar gelişim süreçlerini herhangi bir aksaklık göstermeden, bu ortamlarda yürütürler. Bu ortamlar için yabancı olan maddeler ve ortamda bulunup da konsantrasyonları aşmış değerlerin üzerine çıkanlar belirli değerlerden sonra kirletici olarak nitelendirilirler. Bunların ekolojik çevreye olan zararları sadece ortamda bulunup

\* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 505 468 2693

E-posta : [bbetul25@gmail.com](mailto:bbetul25@gmail.com)

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 19 Nisan 2023

Kabul Tarihi : 02 Haziran 2023

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1285858

bulunmamalarıyla ilgili olmayıp, aynı zamanda bulunma miktarıyla da ilgilidir. Bu anlamda kirlilik, ortamın doğal özelliklerinin canlılar ile çevreyi, doğal dengeyi bozacak ve ortamda yaşamı olumsuz yönde etkileyecek biçimde değişimi olarak tanımlanabilir (Korkmaz ve Kızılkaya,1998).

Artan kent nüfusu, sürekli gelişen sanayi ve tarımda kullanılan gübre, pestisit ve düzenleyiciler gibi girdiler toprakta ve sulara ağır metal birikimine neden oluşturmaktadır (Sushkova ve ark., 2020; Minkina ve ark., 2021). Bunların toprak, su ve vejetasyon yapısında oluşturdukları kimyasal, biyokimyasal ve biyolojik değişiklikler uzun bir süredir bilim çevrelerinde ilgiyle izlenmektedir (Minkina ve ark., 2018; Burachevskaya ve ark., 2020). Çünkü düşük konsantrasyonlarda normal bitki gelişimi için zorunlu sayılan demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn) gibi elementlerin yüksek konsantrasyonları bitkide ve toprakta zararlı etkiler yapmaktadır (Burachevskaya ve ark., 2021). Ayrıca bitkiler için gerekli olmayan kadmiyum (Cd), kurşun(Pb), arsenik (As), krom (Cr) gibi elementlerin özellikle bitki ve topraktaki toksik etkileri de dikkat çekmektedir (Aşkın ve ark., 2006). Bu elementler içerisinde Zn'nin ise ayrı bir yeri bulunmaktadır. Diğer metaller ya da ağır metaller gibi Zn'de, endüstriyel işletmelerin baca emisyonlarından, kentsel ve evsel atıklardan, motor aşınmaları gibi yollar ile topraklara ulaşabileceği gibi tarımsal faaliyetler ile de diğer mikroelementlere göre çok daha fazla miktarda topraklara ulaşabilmektedir. Tarım topraklarının üretkenliğinin sağlanması, verimlilik potansiyelinin artırılması, toprak kalitesi ve sağlığının korunmasında toprak mikroorganizmalarının büyük önemi bulunmaktadır. Ayrıca, toprak mikroorganizmaları ve bunların aktiviteleri toprak kirliliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde önemli araçlar olarak ta değerlendirilmektedir. Toprak enzim aktiviteleri, doğal ve antropojenik bozuklukları yansıtan ve toprağı değerlendiren biyoindikatörler olarak toprak kirliliğini değerlendirmek için kullanılacak en ucuz ve en kolay tekniklerden biridir (Hinojosa ve ark., 2004; Baum ve ark., 2003). Ağır metaller biyolojik özellikler dahil olmak üzere toprağın birçok özelliğini etkilemektedir (Huang ve Shindo, 2000). Ağır metaller ile enzim aktivitesinin güçlü inhibisyonu, birçok araştırmacı tarafından net bir şekilde ortaya konulmaktadır (Kahkonen ve ark., 2008; Kızılkaya, 2008; Malley ve ark., 2006; Oliviera ve Pampulha 2006).

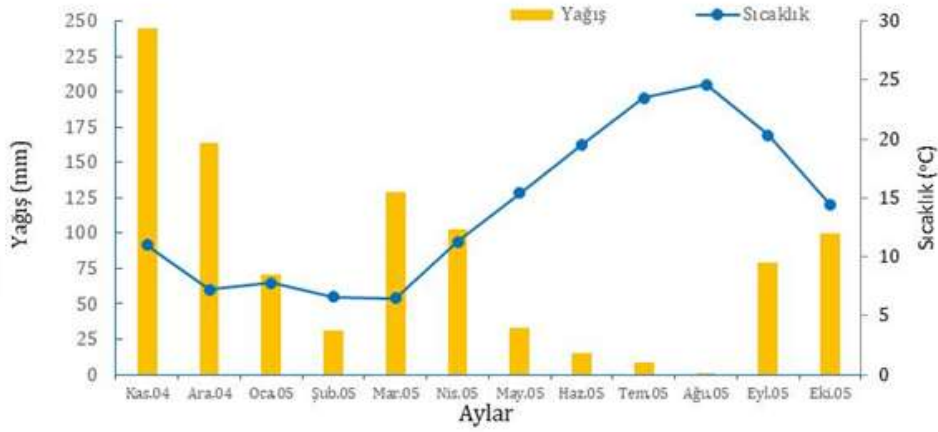
Bu çalışmada, tın bünyeli bir toprağı artan dozlarda uygulanan Zn'nin toprakların biyolojik özelliklerinde meydana getirdiğı değişimler tarla şartlarında incelenmiştir. Mikroorganizmalar toprak sağlığı ve kalitesinin korunması açısından oldukça önemlidir ve aktiviteleri toprak kirliliğinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan önemli parametrelerdir. Bu bağlamda, bu çalışmada Zn kirlenmesine bağlı olarak toprakların bazı biyolojik parametrelerindeki değişimler ortaya konulmuştur.

## Materyal ve Yöntem

Deneme, Samsun iline bağlı Bafra İlçesindeki Bafra Tarım İlçe Müdürlüğü'ne ait arazide yürütülmüştür (41°34'34"N 35°53'53"E). Deneme yeri toprakları Pedogenetik horizon gelişimini çok az gösterdikleri ve Kızıllırmak'ın getirdiğı alüvyonlar üzerindeki taşkın düzlüklerde yer aldıklarından dolayı "Typic Udifluent" olarak tanımlanmışlardır (Yüksel ve Dengiz,1996). Bafra Ovasında Orta Karadeniz Bölgesinde görülen ılıman iklim özellikleri hakimdir. Toprak örneklemelerinin yapıldığı aylara ait ortalama yağış ve sıcaklık değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Zn kirliliğini sağlamak için gerekli olan çinko, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (%22 Zn) formunda Ekmekçioğlu A,Ş'den sağlanmıştır.

Denemede uygulanan Zn dozlarını belirlemek amacıyla, deneme arazisinden alınan toprak örneklerine laboratuvar koşullarında artan düzeylerde Zn verilerek toprağın Zn adsorbsiyon kapasitesi belirlenmiştir (Elsokkary, 1979). Bu düzeyin ise deneme toprağında 650 mg.kg<sup>-1</sup> olduğu saptanmıştır. Denemede Zn uygulama dozları adsorpsiyon kapasitesinin altında ve üstünde doz uygulaması olacak şekilde 0, 75, 150, 300, 600, 1200 mg.kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O'dan hazırlanan Zn uygulama dozları parsellere verilirken eşit miktarda su içerisinde çözülmüş (15 lt/parsel) şeklinde verilmiştir. Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş ve toplam 18 parselden oluşmuş ve parsel büyüklükleri 5.5 m<sup>2</sup> (1x5.5 m)'dir. Denemede herhangi bir sulama, gübreleme, ilaçlama vs. işlem yapılmamış, parsellerde gelişen yabancı otlar ise gelişmelerinin başında düzenli olarak elle temizlenmiştir.

Denemenin kurulduğu tarih olan 18.10.2004 tarihinden itibaren bir yıl süre ile her ay 0-20 cm'den toprak örnekleri Jones (2001) tarafından bildirildiğı şekilde alınmıştır ve örnek alma aşamasında 2 mm'lik elekten elenmiştir. Alınan toprak örnekleri +4°C'de portatif soğutucu içerisinde laboratuvara getirilerek analizleri yapılmış, beklemesi gerekenler +4°C'lik buzdolabında saklanmıştır.



Şekil1. Örneklemenin yapıldığı aylara ait yağış ve sıcaklık değerleri

Denemenin kurulduğu toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için toprak örneklerinin; kil, silt ve kum fraksiyonları hidrometre yöntemi ile, toprak reaksiyonu (pH) 1:1(w/v) toprak: saf su karışımında pH-metre ile, Elektriksel İletkenlik (EC) 1:1 (w/v) toprak: saf su karışımında EC-metre ile, organik madde kapsamı Walkey-Black yöntemi ile, kireç kapsamı (CaCO<sub>3</sub>) Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak belirlenmiştir (Rowell, 1996). Toprağın toplam Zn içeriği 1:10(w/v), toprak: kral suyu ile elde edilen ekstrakt kullanılarak atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde (AAS) belirlenmiştir (Kick ve ark. 1980).

Biyolojik aktivitesi bozulan toprakta nitrifikasyon, toprak solunumu, enzim aktivitesi ve organik maddenin mineralizasyonu gibi süreçler olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu nedenle söz konusu bu olumsuz etkileri takip edebilmek için her ay parsellerden toprak örnekleme yapılarak mikrobiyal biyomas karbon (C<sub>mic</sub>), toprak solunumu (TS), üreaz (UA) ve β-glikosidaz (β-GA) aktiviteleri gibi mikrobiyal özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir. Parsellerden alınan toprak örneklerinde % nem belirlenerek biyolojik analizlerin sonuçları kuru toprak cinsinden ifade edilmiştir. Toprak örneklerinin toprak solunumu Anderson (1982) tarafından bildirildiği şekli ile, mikrobiyal biyomas karbon içerikleri Anderson ve Domsch (1978) tarafından bildirilen substrat indirgenme yöntemine göre, üreaz aktivitesi Hoffmann ve Teicher (1961) tarafından bildirildiği şekilde, β-glikosidaz aktivitesi Eivazi ve Tabatabai (1988) tarafından bildirildiği şekilde belirlenmiştir.

Denemeden elde edilen bulgulara ait veriler, tesadüf blokları deneme desenine göre Yurtsever (1984) tarafından bildirildiği şekilde değerlendirilmiştir.

## Bulgular ve Tartışma

### Deneme topraklarının özellikleri

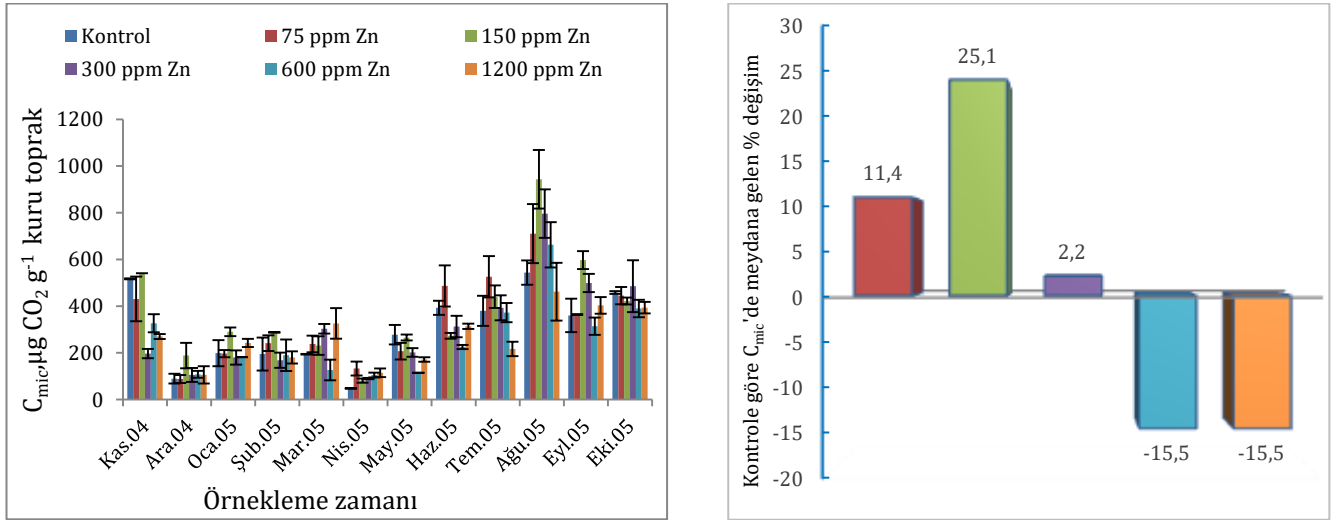
Deneme arazisine ait toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre denemenin kurulduğu toprak tın bünyeli, düşük organik madde (%1.53) içeriğine sahip, hafif alkalın reaksiyonlu (pH:8.25), orta kireçli (%11.08), tuzsuz bir toprak olup (EC: 0,32 dS m<sup>-1</sup>) toplam Zn değeri 88.49 mg.kg<sup>-1</sup>'dir.

Çizelge 1. Deneme toprağının bazı özellikleri

Kil, %	17.40
Silt, %	34.29
Kum, %	48.31
Tekstür Sınıfı	Tın (L)
Organik madde kapsamı, %	1.53
EC, dSm <sup>-1</sup>	0.32
pH (1:1)	8.25
Kireç kapsamı, %	11.08
Toplam Zn, mg.kg <sup>-1</sup>	88.49

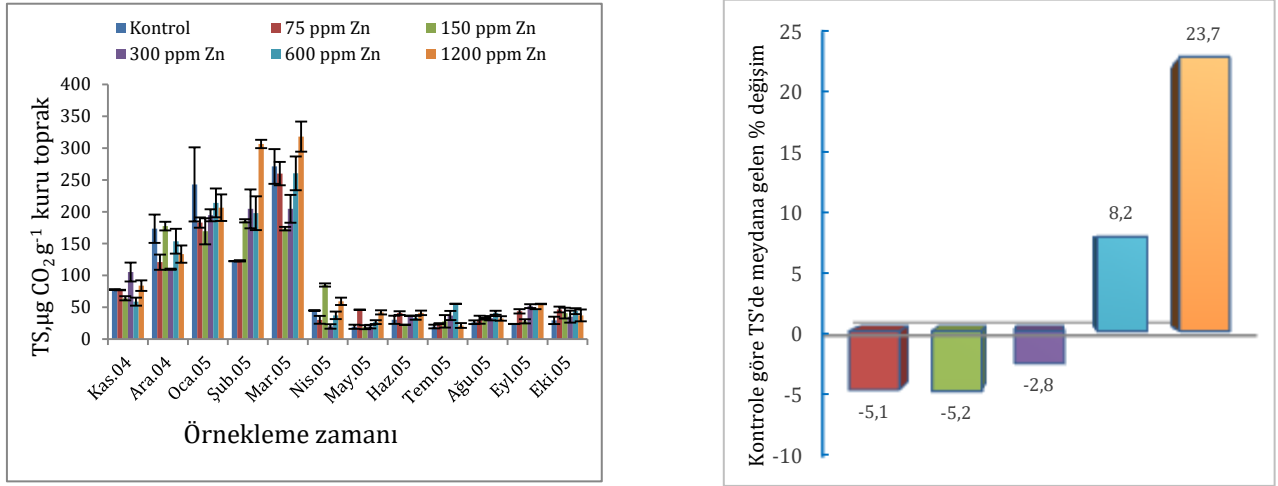
## Zn ile kirlenmiş toprakların mikrobiyal biyomas C ve toprak solunumundaki değişimler

Artan düzeylerde çinko uygulanması, deneme süresince her ay alınan toprak örneklerindeki mikrobiyal biyomas C ( $C_{mic}$ ) ve toprak solunumundaki (TS), değişimler Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde Zn uygulama dozu arttıkça  $C_{mic}$  kapsamında önemli azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Tüm toprak örnekleme dönemlerinin ortalama verileri dikkate alındığında 75, 150 ve 300 mg.kg<sup>-1</sup>'lik Zn uygulama dozlarının  $C_{mic}$ 'i sırasıyla % 11.4, 25.1 ve 2.2 düzeylerinde artırdığı buna karşın 600 ve 1200 mg.kg<sup>-1</sup>'lik uygulama dozunun ise %15.5 oranında azalttığı saptanmıştır. Sonuç olarak topraklara ilave edilen Zn'nin düşük dozlarının  $C_{mic}$ 'i uyardığı, yüksek dozlarının ise  $C_{mic}$ 'de önemli azalmalar meydana getirebileceği söylenebilir. Yapılan çalışmalar ile topraklara yüksek miktarlarda uygulanan Zn'nun  $C_{mic}$ 'de önemli azalmalara neden olduğu ortaya konulmuştur (Kızılkaya ve ark. 2004; Okur ve Çengel,1995). Song ve ark. (2018), artan dozla Zn uygulamasının toprağın  $C_{mic}$  konsantrasyonunu azalttığını ifade etmişlerdir. Stefanowicz ve ark. (2020) önemli bir Zn-Pb madencilik alanında yaptıkları çalışmaya göre toplam ve/veya yarıyışlı ağır metallerin, mikrobiyal biyokütle, enzimatik aktivite ve AMF üzerinde önemli olumsuz etkileri olduğunu ifade etmişlerdir. Zhang ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada topraktaki kirlilik seviyesinin artmasıyla toprak mikrobiyal biyokütlesinin azaldığını ifade etmiştir. Kızılkaya ve ark. (2004), tarım topraklarında ağır metal kontaminasyonu ile  $C_{mic}$ , toprak solunumu, dehidrogenaz ve katalaz aktivitesinde düşüşler olduğunu ve bu mikrobiyolojik özelliklerin, tarımsal ekosistemlerde ağır metal kontaminasyonunun hassas bir göstergeleri olduğunu ifade etmişlerdir.



Şekil 2. Artan düzeylerde Zn'nin mikrobiyal biyokütle C ( $C_{mic}$ ) kapsamında meydana getirdiği değişim

Zn uygulama dozu arttıkça TS'da azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 3). Tüm toprak örnekleme dönemlerinin ortalama verileri dikkate alındığında, kontrol ile karşılaştırıldığında toprağa artan düzeylerde verilen düşük Zn dozlarının TS'yi azalttığı, yüksek dozlarının ise TS'yi artırdığı belirlenmiştir. Zhang ve ark. (2010), yüksek solunum hızı, elverişli habitat koşullarından kaynaklanan artan mikrobiyal büyümeyi veya çevresel stres altında detoksifikasyon da dahil olmak üzere onarım için artan enerji harcamasını gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Yani ağır metal gibi bir çevresel stresin mikroorganizmaların enerji harcamasını artırdığını ve buna bağlı olarak mikrobiyal solunumun arttığını göstermiştir. Ayrıca mikroorganizmalar için organik C başta olmak üzere diğer besin maddelerinin ortama ilave edilmeden yüksek Zn seviyeleri ile toprakların kirlenmesi durumunda TS'de azalmaların meydana gelmeyeceği söylenebilir. Çünkü, topraklardaki CO<sub>2</sub> üretimi büyük ölçekte bitki kökleri ve mikrobiyal solunumdan meydana gelebileceği gibi topraktaki serbest karbonatlar ve topraklara ilave edilen çeşitli kimyasalların kimyasal veya biyokimyasal süreçler sonunda da CO<sub>2</sub> üretmesinden kaynaklanabilmektedir (Stotzky, 1956). Bunlar özellikle kimyasal dekarboksilasyon (Bunt ve Rovira, 1955) ile topraklara ilave edilen karbonat ve çeşitli kimyasal maddeler ile organik asitlerin sonucu (Chase ve Gray, 1957) CO<sub>2</sub> üretimidir. Denemedeki 600 ve 1200 mg.kg<sup>-1</sup> dozlarındaki yüksek TS'nin sebebi bunlardan kaynaklanmış olabilir.

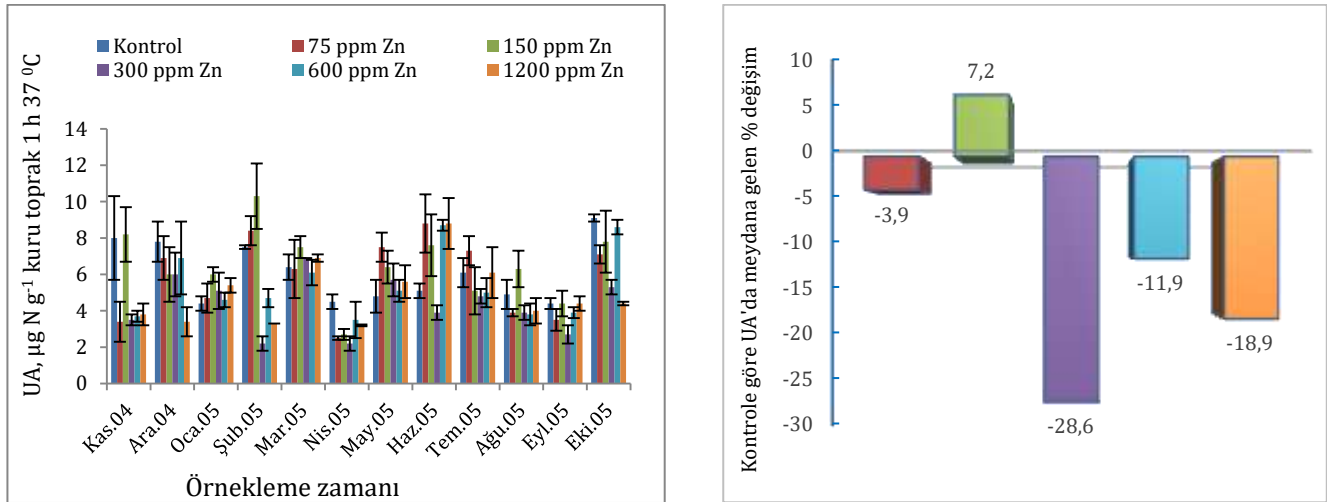


Şekil 3. Artan düzeylerde Zn'nin toprak solunumunda (TS) meydana getirdiği değişim

Tüm uygulama dozlarında örneklem dönemleri arasında da önemli farklılıklar belirlenmiş olup, en yüksek  $C_{mic}$  kapsamının Ağustos ayında en yüksek TS kapsamının Şubat ve Mart aylarında olduğu görülmektedir. Örneklem dönemlerinde  $C_{mic}$  ve TS'de meydana gelen farklılığın temel sebebi muhtemelen, yağış ve sıcaklık gibi iklimsel faktörlerdeki değişimlerin toprakların biyolojik özelliklerini büyük ölçüde etkilemesidir. Mevsimsel değişikliklerin toprak mikrobiyal biyokütlesi üzerinde büyük etkisi olduğu yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir (Devi ve Yadava, 2006; Singh ve ark. 2020). Bargali ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada kış mevsimindeki ani düşüş ve yağmurlu mevsimdeki yükselişlerin  $C_{mic}$ 'de belirgin farklılıklar oluşturduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak sıcak nemli yağışlı mevsimde, soğuk ve kuru kış mevsimine göre  $C_{mic}$ 'in daha yüksek olduğu ifade edilmektedir (Devi ve Yadava, 2006; Iqbal ve ark., 2010; Shang ve ark.2016). Kış mevsiminde düşük  $C_{mic}$  değerleri, mikroorganizmaların düşük aktivitelerinden ve kuru ve serin bir dönemde yavaş ayrışma hızlarından kaynaklanıyor olabilir.

### Zn ile kirlenmiş toprakların enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler

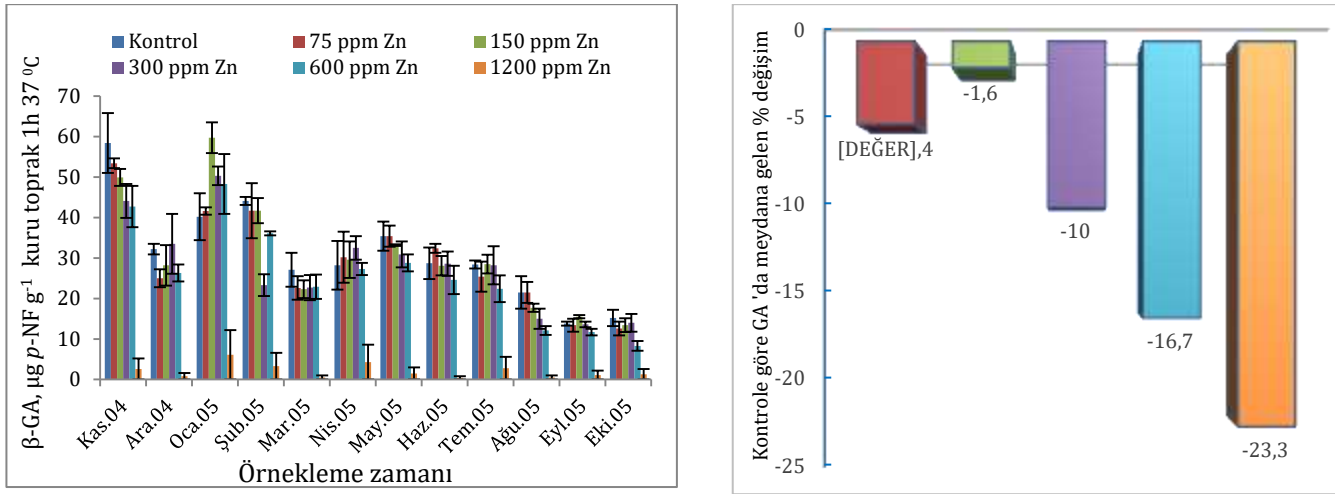
Artan düzeylerde çinko uygulanması, deneme süresince her ay alınan toprak örneklerindeki üreaz aktivitesi (UA) ve  $\beta$ -glikosdaz aktivitesindeki ( $\beta$ -GA) değişimler Şekil 4 ve 5'te görülmektedir.



Şekil 4. Artan düzeylerde Zn'nin üreaz aktivitesinde (UA) meydana getirdiği değişim

Zn uygulama dozu arttıkça UA,  $\beta$ -GA aktivitesinde azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 4 ve 5). Yüksek (300, 600 ve 1200 mg.kg<sup>-1</sup>) Zn dozlarının UA'yı % 28,6, 11,9 ve 18,9 oranında,  $\beta$ -GA'yı ise tüm Zn uygulama dozlarında sırasıyla kontrole göre % 5,4, 1,6, 10,0, 16,7 ve 23,3 engellediği belirlenmiştir. Bu durum, Zn'nin yüksek dozlarının UA ve  $\beta$ -GA enzimi üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır. Ağır metallerin enzimler üzerindeki olumsuz etkisi; enzimlerde bulunan aktif grupları maskeleymesi, proteinlerin denatürize olması veya aktif gruplarla metal iyonları arasında rekabetin ortaya çıkması ve protein molekülü içerisinde serbest bulunan amino ve sülfidril gruplarının bazı ağır metallerle kompleksler oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Domsch, 1985). Khan ve ark. (2007), hücre dışı enzimlerin ağır

metaller tarafından inaktive edildiğini bildirmiştir. Mekanizmalar, metallerin enzimlerdeki bazı amino asitlere bağlanmasını ve enzimleri üretmekten sorumlu mikroorganizmaların sayısını dolaylı olarak azaltması olarak ifade etmiştir (Doelman ve Haanstra, 1986; Kunito ve ark.2001).



Şekil 5. Artan düzeylerde Zn'nin glikosidaz aktivitesinde (GA) meydana getirdiği değişim

Toprak enzim aktivitelerinin ağır metaller tarafından inhibisyonunu etkileyen birçok faktör olduğu için bu çok karmaşık bir konudur (Karaca et. al.2010). Hidrolazlar gibi hücre dışı enzimler esas olarak killer ve humus ile ilişkili olduğundan (Nannipieri ve ark., 1996; Morena ve ark., 2009) toprak özellikleri enzimlerin ağır metallerden etkilenmesinde önemli rol oynar. Bizim çalışmamızda da  $\beta$ -GA'nın tüm Zn uygulama dozlarında UA'nın ise orta ve yüksek Zn doz uygulamalarında kontrole göre düşümler göstermesi deneme toprağın organik madde ve kil içeriğinin düşük (Çizelge 1) olmasından da kaynaklanabilir.

Aslında, ağır metaller dahil tüm metaller genellikle toprakta düşük konsantrasyonlarda bulunur ve toprak organizmaları için gerekli mikro besinleri sağlar; ancak, çeşitli sebeplerle topraklardaki konsantrasyonları artmaktadır bu artan konsantrasyon enzim aktiviteleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bizim çalışmamızda da yüksek (300, 600 ve 1200 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) Zn dozlarının UA ve  $\beta$ -GA'yı etkilediği görülmektedir. Yapılan çalışmalar yüksek düzeylerde uygulanan Zn'nin uygulama dozlarına ve inkübasyon süresine göre UA ve GA aktivitesini azalttığını ortaya koymaktadır (Tabatabai, 1977; Baath,1989; Ataman ve Arcak, 2000). Hemide ve ark. (1997), 2000 mg  $\text{g}^{-1}$   $\text{Cu}^{2+}$  ve  $\text{Zn}^{2+}$ 'nin toprakta üreaz aktivitesinin tamamen yok olmasına neden olduğunu bildirmiştir. Wyszowska ve ark. (2006), 50 mg  $\text{kg}^{-1}$  metal konsantrasyonunun (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd ve Cr) toprak enzim aktivitelerini (dehidrogenaz, üreaz, asit fosfataz ve alkalın fosfataz) inhibe ettiği sonucuna varmıştır. Toprağın kirlilik derecesinin artması toprağın enzim aktivitelerinde azalmaya neden olmuş en yüksek enzim aktivitesi kirlenmemiş toprakta, en düşük ise en kirli toprakta bulunmuştur (Hinojosa ve ark. 2004). Moreno ve ark.(2009) çalışmalarında 300, 650 ve 1300 mg  $\text{kg}^{-1}$  düzeyinde Zn uygulamışlar ve en yüksek Zn doz uygulamasının toprakların UA ve  $\beta$ -GA değerlerinde önemli düşüşler meydana getirdiğini ifade etmişlerdir.

Çalışmamızda; kontrole göre değişim değerlerine baktığımızda özellikle en yüksek uygulama dozlarında (600 ve 1200 mg  $\text{kg}^{-1}$ ) Zn uygulaması  $\beta$ -GA enzimi üzerinde UA'ya göre daha yıkıcı sonuçlara neden olmuştur (Şekil 4 ve 5). Enzim aktiviteleri toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden çok yüksek oranda etkilendiği için ağır metallere karşı en hassas enzimlerini belirlemek oldukça zordur (Schloter ve ark. 2003). Dolayısı ile farklı çalışmalarda farklı duyarlılıklar ifade edilmektedir. Wyszowska ve ark. (2006), enzimlerin metal duyarlılıklarının dehidrogenaz>üreaz>alkali fosfataz> asit fosfataz sırasını izlediğini bildirmiştir. Moreno ve ark.(2009)'in çalışmasında ağır metal kontaminasyonuna karşı en yüksek duyarlı hidrolaz aktiviteleri UA, APA ve  $\beta$ -GA olarak ifade etmiştir. Ayrıca her toprak enzimi, ağır metallere karşı farklı bir hassasiyet sergiler (Karaca ve ark. 2010). Shen ve ark. (2005) üreaz aktivitesinin inhibisyon sırasının genellikle  $\text{Cr} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Pb}$  sıralamasına göre azaldığını bildirmiştir (Zheng ve ark. 1999). Yani üreaz aktivitesini en fazla etkileyen element Cr olmuş bunu Cd ve Zn takip etmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada UA'nın  $\beta$ -GA'ya göre Zn kirliliğinden daha az etkilenmesi bundan da kaynaklanabilir.

Tüm uygulama dozlarında parsellerde belirlenen UA ve  $\beta$ -GA aktivitesindeki değişimin, örnekleme dönemleri arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir. Toprak enzimleri, canlı organizmalar tarafından

üretildikleri için mevsime bağlı makromoleküllerdir. Ancak bu farklılık, canlı mikrobiyal faaliyetlerin değerlendirilmesinde indikatör olarak kullanılan diğer özellikler gibi ( $C_{mic}$ , TS) yılın belirli bir döneminde belirgin bir değişim göstermemiştir. Bu durumun UA ve  $\beta$ -GA enziminin ekstraselüler oluşu ile ilgili olabileceği düşünülmektedir. Zhang ve ark. (2008), ağır metallerin toprak enzimleri üzerindeki etkisinde mevsimsel bir farklılık olduğunu bulmuşlardır. Ağır metallerin etkisi ilkbahar ve yaz aylarında sonbahardan daha belirgin olmuştur.

## Sonuç

Bu çalışmada, tın bünyeli bir toprağa artan dozlarda uygulanan çinko (Zn)'nun toprağın mikrobiyal biyokütle karbon ( $C_{mic}$ ), toprak solunumu (TS), üreaz (UA) ve  $\beta$ -glikosidaz ( $\beta$ -GA) aktiviteleri gibi mikrobiyal özelliklerindeki değişimler değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre; toprağın  $C_{mic}$ 'u değeri kontrol uygulamasına kıyasla yüksek Zn dozlarında düşmüştür. Buna karşın, TS değeri kontrole göre düşük Zn dozlarında düşerken yüksek dozlarda artış göstermiştir. Toprağa uygulanan tüm çinko dozlarının  $\beta$ -GA üzerinde olumsuz etkilere sahip olduğu görülmektedir. UA ise orta ve yüksek dozlardaki Zn'den olumsuz etkilenmiştir. Ağır metallerin toprak ekosistemleri üzerinde uzun vadeli tehlikeli etkilere neden olduğu ve toprak biyolojik süreçlerini olumsuz etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle ağır metallerin izlenmesi ve topraktaki konsantrasyonlarının düzenlenmesi toprak sağlığı ve kalitesi açısından büyük önem taşımaktadır. Toprak enzim aktivitelerinin ağır metaller tarafından inhibisyonunu etkileyen birçok faktör olduğu için bu kompleks bir konudur. Bu nedenle bu çalışmaların farklı özelliklere sahip topraklarda farklı ağır metallerde, farklı ağır metal konsantrasyonda ve daha fazla enzim aktivitesi ile çalışılması karmaşık olan bu konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Anderson JPE. 1982. Soil respiration. In: Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties. Page, A. L. (Ed.) ASA - SSSA, Madison, Wisconsin, USA. pp. 831-871.
- Anderson JPE, Domsch KH. 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 10: 215- 221.
- Aşkın T, Kızılkaya R, Gülser C. 2006. Cooper Lead, Cadmium and Nickel Fractions in Agricultural Soils: A Study on Bafra Plain. *Anadolu University Journal of Science and Technology*, 7(1):167-177.
- Ataman Ş, Arcak S. 2000. Effects of the sewage sludge of Ankara waste water treatment plant on some soil biological properties. *Proceedings of International Symposium on Desertification*. 13-17 June 2000. Konya-Türkiye. s. 350-355.
- Baath E. 1989. Effect of heavy metals in soil on microbial process and population: a review. *WaterAir and Soil Pollution* 47: 335-379.
- Bargali K, Manral V, Padalia K, Bargali SS, Upadhyay VP. 2018. Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India. *Catena*, 171, 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.001>.
- Baum C, Linweber P, Schlichting A, 2003. Effects of chemical conditions in re-wetted peats temporal variation in microbial biomass and acid phosphatase activity within the growing season[J]. *Appl Soil Ecol*, 22: 167-174.
- Bunt JS, Rovira AD. 1955. The effect of temperature and heat treatment on soil metabolism. *Journal of Soil Science* 6:129-136.
- Burachevskaya M, Minkina T, Mandzhieva S, Bauer T, Nevidomskaya D, Shuvaeva V, Sushkova S, Kızılkaya R, Gülser C, Rajput V. 2021. Transformation of copper oxide and copper oxide nanoparticles in the soil and their accumulation by *Hordeum sativum*. *Environmental Geochemistry and Health*. Apr;43:1655-72.
- Burachevskaya M, Minkina T, Bauer T, Mandzhieva S, Gülser C, Kızılkaya R, Sushkova S, Rajput V. 2020. Assessment of extraction methods for studying the fractional composition of Cu and Zn in uncontaminated and contaminated soils. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(3), pp.231-241.
- Chase FE, Gray PHH. 1957. Application of the Warburg respirometer in studying respiratory activity in soil. *Canadian Journal Microbiology* 3: 335-349.
- Devi NB, Yadava PS. 2006. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, northeast India. *Appl. Soil Ecol*. 31, 220-227.

- Doelman P, Haanstra L. 1986. Short-term and long-term effects of heavy metals on urease activity in soils. *Biol Fertil Soils* 2:213-218
- Domsch KH. 1985. Funktionen und Belastbarkeit des Bodens aus de Sicht der Mikrobiologie. Materialien zur umweltforschung harausgegeb n wom Rat Von Sachverständigen für Umweltfragen. Verlag W. Kahlhammer Stuttgart.
- Eivazi F, Tabatabai MA. 1988. Glucosidases and galactosidases in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 20: 601-606.
- Elsokkary IH. 1979. The chemical fractionation of soil zinc and its specific and total adsorption by Egyptian alluvial soils. *Plant and Soil*, 53, 117-129.
- Hinojosa MB, Ruiz RG, Vinegla B, Carreira JA. 2004. Microbiological rates and enzyme activities as indicators of functionality in soils affected by the Aznalcollar toxic spill. *Soil Biol Biochem* 32: 1637-1644. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.07.006>.
- Hoffmann GG, Teicher K. 1961. Ein Kolorimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Urease Aktivitat in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 91: 55-63.
- Huang Q, Shindo H. 2000. Effects of copper on the activity and kinetics of free and immobilized acid phosphatase. *Soil Biol Biochem* 32:1885-1892.
- Iqbal J, Ronggui H, Feng M, Lin S, Malghani S, Mohamed I. 2010. Microbial biomass, and dissolved organic carbon and nitrogen strongly affect soil respiration in different land uses: a case study at Three Gorges Reservoir Area, South China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137 (3-4), 294-307.
- Jones JB. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. Crc. doi: 10.1201/9781420025293.
- Kahkonen MA, Lankinen P, Hatakka A. 2008. Hydrolytic and lignolytic enzyme activities in the Pb contaminated soil inoculated with litter-decomposing fungi. *Chemosphere* 72: 708-714.
- Karaca A, Cetin SC, Turgay OC, Kizilkaya R. 2010. Effects of heavy metals on soil enzyme activities. *Soil heavy metals*, 237-262.
- Khan S, Cao Q, Hesham AEL, Xia Y, He J. 2007. Soil enzymatic activities and microbial community structure with different application rates of Cd and Pb. *J Environ Sci* 19:834-840.
- Kızılkaya R, Aşkın T, Bayraklı B, Sağlam M. 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*, 40(2), 95-102.
- Kick H, Buerger H, Sommer K. 1980. Total contents of lead, zinc, tin, arsenic, cadmium, mercury, copper, nickel, chromium and cobalt in agricultural and horticultural soils of Nordrhein-Westfalen, West Germany. *Landwirtschaftliche Forschung*, 33, 12-22.
- Kizilkaya R. 2008. Dehydrogenase activity in Lumbricus terrestris casts and surrounding soil affected by addition of different organic wastes and Zn. *Bioresour Technol* 99:946-953.
- Korkmaz A, Kızılkaya R. 1998. Çevresel toprak sorunları ve gübrenin çevre kirliliğine katkısı. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 13(1): 147-164.
- Kunito T, Saeki K, Goto S, Hayashi H, Oyaizu H, Matsumoto S. 2001. Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. *Bioresour Technol* 79: 135-146
- Malley C, Nair J, Ho G. 2006. Impact of heavy metals on enzymatic activity of substrate and composting worms *Eisenia fetida* . *Bioresour Technol* 97:1498-1502. *Marine Research*, 33, 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>.
- Minkina T, Konstantinova E, Bauer T, Mandzhieva S, Sushkova S, Chaplygin V, Burachevskaya M, Nazarenko O, Kizilkaya R, Gülser C, Maksimov A. 2021. Environmental and human health risk assessment of potentially toxic elements in soils around the largest coal-fired power station in Southern Russia. *Environmental Geochemistry and Health*, 43, pp.2285-2300.
- Minkina TM, Pinski DL, Zamulina IV, Nevidomskaya DG, Gülser C, Mandzhieva SS, Bauer TV, Morozov IV, Sushkova SN, Kizilkaya R. 2018. Chemical contamination in upper horizon of Haplic Chernozem as a transformation factor of its physicochemical properties. *Journal of Soils and Sediments*, 18, pp.2418-2430.
- Moreno JL, Bastida F, Ros M, Hernández T, García C. 2009. Soil organic carbon buffers heavy metal contamination on semiarid soils: Effects of different metal threshold levels on soil microbial activity. *European journal of soil biology*, 45(3), 220-228.
- Nannipieri P, Sequi P, Fusi P. 1996. Humus and enzyme activity. In *Humic substances in terrestrial ecosystems* (pp. 293-328). Elsevier Science BV.
- Okur N, Çengel M. 1995. Bazı ağır metallerin alüviyal topraklarda biyomas (biyokütle) ve proteaz aktivitesi üzerine etkileri. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 19: 341-247.



- Oliveira A, Pampulha ME. 2006. Effects of long-term heavy metal contamination on soil microbial characteristics. *J Biosci Bioeng* 102:157-161.
- Rowell DL. 1996. *Soil Science: Methods and Applications*. 3rd Edition Longman. London, UK.
- Schlöter M, Dilly O, Munch JC. 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 255-262.
- Shang W, Wu X, Zhao L, Yue G, Zhao Y, Qiao Y, Li Y. 2016. Seasonal variations in labile soil organic matter fractions in permafrost soils with different vegetation types in the central Qinghai-Tibet Plateau. *Catena*, 137, 670-678. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.012>.
- Singh AK, Jiang XJ, Yang B, Wu J, Rai A, Chen C, ... Singh N. 2020. Biological indicators affected by land use change, soil resource availability and seasonality in dry tropics. *Ecological Indicators*, 115, 106369. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106369>.
- Song J, Shen Q, Wang L, Qiu G, Shi J, Xu J, ... Liu X. 2018. Effects of Cd, Cu, Zn and their combined action on microbial biomass and bacterial community structure. *Environmental pollution*, 243, 510-518. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.011>.
- Stefanowicz AM, Kapusta P, Zubek S, Stanek M, Woch MW. 2020. Soil organic matter prevails over heavy metal pollution and vegetation as a factor shaping soil microbial communities at historical Zn-Pb mining sites. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124922>.
- Stotzky G. 1956. Carbon and nitrogen transformations during decomposition of muck soil as affected by addition of rye tissue. Ph.D. Dissert., Ohio State Uni., Columbus, Ohio.
- Sushkova S, Minkina T, Tarigholizadeh S, Antonenko E, Konstantinova E, Gülser C, Dudnikova T, Barbashev A, Kızılkaya R. 2020. PAHs accumulation in soil-plant system of *Phragmites australis* Cav. in soil under long-term chemical contamination. *Eurasian Journal of Soil Science*, 9(3), pp.242-253.
- Tabatabai MA. 1977. Effect of trace elements on urease activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 8: 327-332.
- Wyszowska J, Kucharski J, Lajszner W. 2006. The effects of copper on soil biochemical properties and its interaction with other heavy metals. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(6).
- Yurtsever N. 1984. Deneysel istatistik Metodları. Tarım, Orman ve Köyişleri Bakanlığı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. s.623
- Yüksel M, Deniz O. 1996. Bafra ovası sağ sahil topraklarının sınıflandırılması. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi* 2(2): 95-102.
- Zhang Y, Zhang H, Su Z, Zhang C. 2008. Soil microbial characteristics under long-term heavy metal stress: a case study in Zhangshi wastewater irrigation area, Shenyang. *Pedosphere* 18:1-10.
- Zhang C, Nie S, Liang J, Zeng G, Wu H, Hua S, ... Xiang H. 2016. Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure. *Science of the Total Environment*, 557, 785-790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.170>.
- Zhang FP, Li CF, Tong LG, Yue LX, Li P, Ciren YJ, Cao CG. 2010. Response of microbial characteristics to heavy metal pollution of mining soils in central Tibet, China. *Appl. Soil Ecol.* 45, 144-151.