

**AĞIR METALLERİN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Aysun YAVUZ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Bitki Besleme Bilim Dalı

Prof. Dr. Serdar BİLEN

2019

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AĞIR METALLERİN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Aysun YAVUZ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
Bitki Besleme Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır

AĞIR METALLERİN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof.Dr. Serdar BİLEN'in danışmanlığında, Aysun YAVUZ tarafından hazırlanan bu çalışma, 13/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı Bitki Besleme Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Serdar BİLEN

İmza : 

Üye : Dr.Öğretim Üyesi Adil AYDIN

İmza : 

Üye : Dr.Öğretim Üyesi Veysel TURAN

İmza : 

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **26.12.2019** tarih ve **..50.../..52...** nolu kararı ile onaylanmıştır.


Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AĞIR METALLERİN TOPRAKLARIN BİYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Aysun YAVUZ

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Bitki Besleme Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Serdar BİLEN

Topraklarda ağır metal kirliliği çevresel problemler yanı sıra toprak-bitki-hayvan sisteminde sorunlara sebep olabilmektedir. Ağır metal kirliliğinin fazla olduğu topraklarda canlı yaşamını olumsuz etkileyen tehditleri daha iyi anlamak, toprak yönetimini ve sürdürülebilirliğine olumlu katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada topraklara uygulanan Cd, Ni ve Pb ağır metallerden sırası ile Cd: 0, 1, 2, 4 ppm, Ni: 0, 50, 100, 150 ppm ve Pb: 0, 50, 100, 150 ppm ihtiva eden çözeltileri hazırlanmıştır. Saksılara konulan 1000 g toprak üzerine tarla kapasitesindeki nem miktarı kadar su, hazırlanan metal çözeltilerinden ilave edilmiştir. Topraklar tarla kapasitesinde nem düzeyinde 15, 30 ve 45 gün inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon süresi sonunda topraklarda bakteri ve mantar popülasyonu, toprak solunumu (CO₂ salınımı), üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri analizleri yapılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal çözelti konsantrasyonlarının ve inkübasyon süresinin artışı toprak bakteri ve mantar popülasyonu, mikrobiyal solunum, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri üzerine negatif etki oluşturmuş ve tüm uygulamalarda mevcut biyolojik özellikler kontrol toprağına göre düşük değer göstermiştir. Ağır metaller içerisinde Pb'nin 150 ppm dozunda en düşük seviyede bakteri ve mantar popülasyonu, mikrobiyal solunum, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri gözlemlenirken, Cd ağır metalinin 1 ppm dozunda ağır metal çözeltileri arasında en yüksek seviyede biyolojik özellikler gözlenmiştir. Topraklarda Pb ağır metali bakteri, mantar popülasyonu, mikrobiyal solunum, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri üzerine daha en yüksek düzeyde toksik etki göstermiş, bunu sırası ile Ni ve Cd ağır metalleri takip etmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; çevre ve toprak kirliliğine sebep olan kirleticilerin daha bilinçli kullanılması veya ağır metallerden arındırılması canlı yaşamındaki tehditleri azaltacaktır.

2019, 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ağır metal kirliliği, toprak bakteri ve mantar popülasyonu, mikrobiyal solunum, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktivitesi

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF HEAVY METALS ON SOIL BIOLOGICAL PROPERTIES

Aysun YAVUZ

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition
Department of Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Serdar BİLEN

Heavy metal pollution in soils can cause problems in soil-plant-animal system as well as environmental problems. To better understand the threats that affect living life negatively in soils with heavy metal pollution will make a positive contribution to soil management and sustainability. In this study, solutions containing Cd: 0, 1, 2, 4 ppm, Ni: 0, 50, 100, 150 ppm and Pb: 0, 50, 100, 150 ppm of Cd, Ni and Pb heavy metals were prepared respectively. 1000 g of soil were added to the pots of water with the amount of moisture in the field capacity. Soils were incubated for 15, 30 and 45 days at field capacity humidity level and at the end of the incubation period, bacterial and fungal population, soil microbial respiration (CO₂ respiration), urease, acid and alkaline phosphatase enzyme activities were analyzed.

According to the results of the study, increase in the concentrations of Cd, Ni and Pb heavy metal solution and incubation time at different doses had negative effects on soil bacteria and fungal population, microbial respiration, urease, acid and alkaline phosphatase enzyme activities and the biological properties of all applications were lower than the control soil. Among the heavy metals, the lowest bacterial and fungal population, microbial respiration, urease, acid and alkaline phosphatase enzyme activities were observed at 150 ppm dose of Pb while the highest biological properties were observed among heavy metal solutions at 1 ppm dose of Cd heavy metal. Pb heavy metal showed the highest toxic effect on bacteria, fungal population, microbial respiration, urease, acid and alkaline phosphatase enzyme activities in soils, followed by Ni and Cd heavy metals, respectively.

The results showed that; the more conscious use of pollutants that cause environmental and soil pollution or the removal of heavy metals will reduce the threats to life.

2019, 40 pages

Keywords: Heavy metal pollution, soil bacteria and fungal population, microbial respiration, urease, acid and alkaline phosphatase enzyme activity

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın, planlanıp yürütülmesinde bilgi birikimi ve engin tecrübelerini benimle paylaşan, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmamın her aşamasında destek ve özveriyle beni yönlendiren, bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. Serdar BİLEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yine eğitimim boyunca bilgi ve katkılarından yararlandığım Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Mustafa Yıldırım CANBOLAT'a ve Sayın teşekkürlerimi sunarım.

Bölümde laboratuvar araştırmalarım süresince yardımlarını eksik etmeyen Laborant Sayın Cihan VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi olarak desteklerini eksik etmeyen, beni yetiştiren aileme, şükranlarımı ve sevgilerimi sunarım.

Aysun YAVUZ

Aralık, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal.....	11
3.1.1. Denemenin yürütüldüğü alan ve genel özellikleri.....	11
3.1.1.a. Deneme alanı	11
3.1.1.b. Deneme alanının toprak özellikleri	11
3.1.1.c. Deneme alanının iklim özellikleri	12
3.1.1.d. Deneme alanının tarımsal yapısı	12
3.1.4. Saksı	12
3.1.5. İnkübatör	12
3.1.6. Steril kabin	13
3.2. Yöntem	13
3.2.1. Ağır metal çözeltileri.....	13
3.2.2. Toprak örneklerinin analize hazırlanması	14
3.2.3. Toprak analiz yöntemleri.....	15
3.2.3.a. Toprak reaksiyonu	15
3.2.3.b. Kireç miktarı.....	15
3.2.3.c. Organik madde	15
3.2.3.d. Katyon değişim kapasitesi (KDK)	15
3.2.3.e. Değişebilir K ve Na	15
3.2.3.f. Değişebilir Ca + Mg.....	16

3.2.3.g. Elverişli fosfor	16
3.2.3.h. Toplam azot	16
3.2.3.i. Elektrik iletkenlik	16
3.2.3.j. Toprak tekstürü	16
3.2.3.k. Mikro element ve ağır metal analizleri	16
3.2.4. Biyolojik yöntemler	17
3.2.4.a. Toprak Materyalindeki Bakteri ve Mantar Sayısının Tespiti	17
3.2.4.b. Toprakların CO ₂ miktarının tespiti	17
3.2.4.c. Üreaz Enzim Aktivitesi	17
3.2.4.d. Asit ve Alkalın Fosfotaz Enzim Aktivitesi	18
3.2.5. Deneme planı	18
3.2.6. İstatistiksel analiz yöntemleri	18
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	19
4.1. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
4.2. Ağır metal uygulamasının toprakların bazı özellikleri üzerine etkileri	20
4.3. Bakteri popülasyonu üzerine etkisi	20
4.4. Mantar popülasyonu üzerine etkisi	22
4.5. Toprak solunumu (CO ₂ salınımı) üzerine etkisi	24
4.6. Üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi	27
4.7. Asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi	29
4.8. Alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi	31
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

%	Yüzde
°C	Santigrad Derece
Da	Dekar
dS/m	Desi Siemens/metre
g	Gram
ha	Hektar
kg	Kilogram
me	Mili Ekivalan
mg	Miligram
mm	Milimetre
ppm	Milyonda Kısım
NB	Nutrient Broth
NA	Nutrient Agar
cfu	Cell Unit Forming
KDK	Kasyon değişim Kapasitesi
cm	Santimetre
mmhos	Elektriksel-Kondaktivite
µm	Mikrometre
l	Litre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkisi.....	21
Şekil 4.2. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların mantar popülasyonu üzerine etkisi.....	24
Şekil 4.3. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların solunumu üzerine etkisi.....	26
Şekil 4.4. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi	28
Şekil 4.5. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi.....	30
Şekil 4.6. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri . Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Çizelge 4.1. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	19
Çizelge 4.2. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	20
Çizelge 4.3. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların mantar popülasyonu üzerine etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	22
Çizelge 4.4. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların solunumu üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	25
Çizelge 4.5. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları.....	27
Çizelge 4.6. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	29
Çizelge 4.7. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları	31

1. GİRİŞ

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin insanların çeşitli müdahalesi sonucu topraktaki doğal dengesinin bozulması toprak kirliliği olarak tanımlanabilir. Gelişen endüstri ve endüstriyelleşme sonucu zararlı atıkları üreten bilinçsiz sanayi kuruluşları doğaya ve toprağa büyük bir zarar vermektedirler. Doğaya bilinçsiz bir şekilde bırakılan atıklar, toprağın altında ve üstünde bulunan canlı yaşamını doğrudan veya dolaylı olarak etkileyerek zararlar vermektedirler. Dünyanın farklı bölgelerinde topraklar farklı etkenlerle ve farklı oranlarda kirlenmektedirler. Kirlenme esnasında en fazla risk toprağa bağlı hayatını devam ettiren canlılar üzerine olmaktadır. Toprak ağır metal kirliliği; sanayileşme, bilinçsiz toprak yönetimi ve tarım faaliyetleri, ağır metal içerikli kayaçların farklı yollarla su ve topraklara intikali sonucunda oluşabilmektedir.

Toprak içerisinde ve yer kabuğunda doğal olarak bulunan ağır metaller; 1- toprak canlılarının yaşam döngüsüne, 2- toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine, 3- biyolojik çeşitliliğine, 4- toprakta yetiştirilen ürünlerin kalite ve verimine, 5- bitki bünyesinde birikimine, 6- bitki generatif ve vejetatif gelişimindeki bozukluklara, 7- bitkinin fizyolojik olaylarına ve 8- mikroorganizma faaliyetine doğrudan veya dolaylı bir etki yapmaktadırlar (Anonim 2006). Ayrıca; zirai faaliyetler için kullanılan; gübre, hormon ve pestisit gibi kirlenicilerde çevre ve toprak kirlenmesine etki etmektedir (Karaca ve Turgay 2012).

Bu araştırma; toprağa ilave edilen bazı ağır metallerin (Cd, Ni ve Pb) toprakların bazı biyolojik özellikleri (toprak bakteri ve mantar popülasyonu, toprak solunumu (CO₂ salınımı) ve üreaz, asit ve alkalın fosfat enzim aktivitesi üzerine etkilerini belirlemek için yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Ağır metaller, 6 g/cm^3 den daha büyük atomik yoğunluğa sahip metaller ve metalloidlerden oluşan elementlerdir. Ağır metallerin çevreye yayılmasında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler çimento üretimi, demir çelik sanayi, termik santraller, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma tesisleridir (DİE 2003). Bir şekilde çevreye bırakılan çeşitli kirletici atıklar doğaya ve toprağa büyük zararlar vermektedir. Atıklarının boşaltıldığı alanlarda topraklar kirlenmekte ve kirliliğin giderilmesi için yüksek maliyetli projeler geliştirilmektedir (Arhan 1986).

Hızla genişleyen sanayi bölgeleri ve sanayi atıkları, maden atıkları, yüksek metal içerikli kurşunlu benzin ve boya, arazi yönetimindeki yanlış uygulamalar, kimyasal gübreler, lağım çamurları, böcek ilaçları, atık sular, kömür yakma artıkları, petrokimyasal atıkları gibi maddelerin çevreye atılması veya bırakılması sonucu toprakların kirlenmesi gerçekleşmektedir (Khan *et al.* 2008; Zhang *et al.* 2010). Ağır metaller içerisinde en çok kirletici olarak bulunanlar kurşun (Pb), krom (Cr), arsenik (As), çinko (Zn), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), cıva (Hg) ve nikel (Ni)'dir (GWRTAC 1997).

Toprakta toksik metallerin varlığı organik kirleticilerin biyolojik olarak parçalanmasını ciddi şekilde engelleyebilir (Maslin and Maier 2006). Toprağın ağır metal kirlenmesi, insanlar ve ekosistem için tehlikelere yol açabilir. Özellikle doğrudan kirlenmiş toprakla temas edilmesi, kirleticilerin besin zincirine karışması (toprak-bitki-insan veya toprak-bitki-hayvan-insan), kirliliğin yer altı suyunun içilmesi, fitotoksikite yoluyla gıda kalitesinin bozulması (güvenlik ve pazarlanabilirlik), tarımsal üretim için toprak kullanılabilirliğinin azalması ve güvenilir gıda konusunda uygun tarım alanının bulunmaması gibi sorunlar ekosistem için büyük tehlike oluşturabilirler (Mc Laughlin *et al.* 2000a; Mc Laughlin *et al.* 2000b; Ling *et al.* 2007).

Ağır metallerin bir kısmı toprak ekolojisinde bulunan bazı canlı organizmaların yaşam d6ngüsünü devam ettirebilmesi için gereklidir. Bu sebeple doğada bulunan ağır metallerin diğer canlılarla etkileşimi 6nem arz etmektedir. Topraklarda bulunan ağır metallerin fazlalığı kirliliğe sebep olurken, eksiklikleri durumunda hayvan-bitki-toprak ilişkisinde b6y6k sıkıntılara neden olabilmektedir. Bu sebeple, ağır metallerle hayvan-bitki-toprak arasındaki dengenin sağlanması 6nemlidir (T6rkoğlu 2006).

Yapılan bir6ok 6alışmada 6zellikle Pb, Cr, Ar, Zn, Cd, Hg ve Ni yaygın metaller tarafından toprakların fazlası ile metal kirliliğine maruz kaldıkları ve bu ağır metallerin kimyasal ve biyolojik olarak zararlı olabilecekleri ifade edilmektedir (Wuana and Okieimen 2011).

Topraklar, serbest bırakılan ağır metaller için ana depo g6revi yapmaktadır ve 6evrede okside olan organik kirleticilerin aksine mikroorganizmalar tarafından par6alanma ayrışma sonucu karbon oksit a6ığa 6ıkararak hem mikrobiyal hem de kimyasal bozulmaya uğrarlar (Kirpichtchikova *et al.* 2006; Adriano 2003).

Yağmur sularının etkisiyle kirletilmiş toprakların y6zeylerinden taşınan ağır metaller yeraltında bulunan i6me sularına karışırlar. Bu suların kirlenmesi sonucu bir6ok canlı organizma b6y6k zarar g6rmektedir (Freeze and Cherry 1997).

Toprak ve 6evre için ağır metal kirlilik kaynakları i6erisinde g6breler, pestisitler, biyosolidler, atıksu, metal ve madencilik faaliyetleri, atmosferik faaliyetler ve toprak kimyasal s6re6lerinin yaptıkları kirletici etkileri aşağıda kısaca ifade edilmiştir.

G6breler: Bazı topraklarda sağlıklı bitki gelişimi için gerekli olan ağır metaller (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni ve Zn gibi) yeterli miktarda bulunmazlar (Lasat 2000) ve bu eksikliği giderebilmek için yaprak g6bresi takviyesi yapılmaktadır. Yaprak g6brelemesi ile topraklara Cu ve Mn g6brelemesi yapılmaktadır. Benzer şekilde bitki yetiştiriciliği için yeterli N, P ve K'yı sağlamak için yoğun tarım sistemlerinde topraklara d6zenli olarak b6y6k miktarlarda g6bre verilmektedir. Bu t6r g6bre materyalleri az miktarda

ağır metaller (örneğin, Cd ve Pb) içermektedirler (Jones and Jarvis 1981). Bazı fosfatlı gübrelerin uygulanması sonucu ise F, Hg ve Pb dahil olmak üzere toprağa Cd ve diğer potansiyel toksik elementler eklenmektedir (Raven *et al.* 1998).

Pestisitler: Geçmişte tarımda ve bahçecilikte oldukça yaygın olarak kullanılan birçok pestisit, önemli metal konsantrasyonları içermektedirler. Örneğin yakın geçmişte, mantar öldürücü maddeler Cu, Hg, Mn, Pb veya Zn içeren kimyasalların yaklaşık % 10'u böcek öldürücü olarak kullanılmıştır. Bu pestisitler arasında Bordeaux karışımı (bakır sülfat) ve bakır oksiklorür gibi bakır içeren fungusit spreyler sayılabilir (Jones and Jarvis 1981). Meyve bahçelerinde kurşun arsenat, bazı parazitik böcekleri kontrol etmek için yıllarca kullanılmıştır. Arsenik içeren bileşikler, aynı zamanda, Yeni Zelanda ve Avustralya'da sığır kenelerini kontrol etmek ve muzdaki zararlı böcekleri kontrol etmek için yaygın olarak kullanılmıştır (Mc Laughlin *et al.* 2000b).

Biyosolidler: Çok sayıda biyosolidin (örneğin, hayvancılık gübreleri, kompostlar ve belediye lağım çamurları) istemeden toprağa uygulanması ile As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Mo, Zn, Ti ve Sb gibi ağır metallerin birikmesine neden olurlar (Basta *et al.* 2005).

Tarımda üretilen kümes hayvanları, büyükbaş hayvan ve domuz gübreleri gibi bazı hayvan atıkları yaygın olarak katı veya bulamaç olarak mahsul ve otlara uygulanır (Sumner 2000). Her ne kadar gübreler değerli gübreler olarak görünse de, domuz ve kümes hayvancılığı endüstrisinde, Cu ve Zn, büyüme destekleyicileri olarak diyetlere eklenmiş olsa da toprağın metal kirlenmesine sebep olabilmektedirler (Sumner 2000; Chaney and Oliver 1996) ve bu hayvanlardan üretilen gübreler yüksek konsantrasyonlarda As, Cu ve Zn içermektedirler.

Biyosolidler (lağım pisliği) öncelikle, faydalı bir şekilde geri dönüştürülebilen atık su arıtma işlemleri ile üretilen organik katı ürünlerdir (USEPA 1994). Kentsel nüfusun ürettiği biyosolidlerin yeniden kullanılması pek çok ülkede izin veren yaygın bir uygulamadır (Wegler *et al.* 2004). Amerika Birleşik Devletleri'nde, yıllık olarak

kullanılan veya elden çıkarılan yaklaşık 5.6 milyon ton kuru atık çamurun yarısından fazlasının arazinin uygulandığı ve ülkenin her bölgesinde biyosolitlerin tarımsal kullanımının gerçekleştiği tahmin edilmektedir. Avrupa toplumunda, atık su çamurlarının% 30'undan fazlası tarımda gübre olarak kullanılmaktadır (Silveira *et al.* 2003). Avustralya'da her yıl büyük büyükşehir yetkilileri tarafından 175.000 tondan fazla kuru biyosolit üretilmekte ve şu anda tarımsal arazilere uygulanan çoğu biyosolid, toprağa eklenebilecekleri ekilebilir kırpma durumlarında kullanılmaktadır (Mc Laughlin *et al.* 2000b).

Biyosolitlerde en yaygın olarak bulunan ağır metaller Pb, Ni, Cd, Cr, Cu ve Zn'dir ve endüstriyel aktivite sonucu metal konsantrasyonları ve yapısı ve yoğunluğunu farklı materyaller oluşur (Mattigod and Page 1993). Bazı şartlar altında, biyosolitlerin uygulamalarında topraklara eklenen metaller toprak profili boyunca aşağı doğru sızabilir ve yeraltı suyunu kirletebilirler (McLaren *et al.* 2005). Biyosolidlerle işlemden geçirilmiş bazı Yeni Zelanda topraklarında yapılan son çalışmalar, drenaj sızıntı sularında artan Cd, Ni ve Zn konsantrasyonları belirlenmiştir (Keller *et al.* 2002; McLaren *et al.* 2004).

Atıksu: Dünya çapında, 20 milyon hektar ekilebilir alanın atık su ile sulandığı tahmin edilmektedir. Bazı Asya ve Afrika şehirlerinde, araştırmalar atık su ile sulamaya dayalı tarımın, kentsel alanlara bitkisel üretiminin % 50'sini oluşturduğunu göstermektedir (Bjuhr 2007). Atık su atıklarındaki metal konsantrasyonları genellikle nispeten düşük olsa da, bununla birlikte uzun süreli arazilerin sulanması, sonuçta toprakta ağır metal birikimine neden olabilmektedirler.

Metal ve Madencilik faaliyetleri: Endüstrileşme ile birlikte metal cevherlerinin ve madenlerin işlenmesi ve çıkarılması esnasında toprakta yaygın bir şekilde metal kirliliği ortaya çıkmaktadır. Madencilik sırasında, atıklar (madencilik sırasında yüzdürme hücrelerinin dibine yerleştirilen daha ağır ve daha büyük parçacıklar) doğrudan doğal çöküntülere boşaltılırlar (DeVolder *et al.* 2003). Kapsamlı Pb ve çinko Zn cevheri madenciliği ve eritilmesi, insan ve ekolojik sağlık için risk teşkil eden toprağın

kirlenmesine neden olmuştur. Bu alanlar için kullanılan birçok ıslah yöntemi uzun ve pahalıdır ve toprak verimliliğini geri kazanamayabilir (Basta and Gradwohl 1998).

Çeşitli endüstriler tarafından tekstil, tabaklama, kazayla ortaya çıkan petrol dökülmelerinden kaynaklanan petrokimyasallar veya petrol bazlı ürünlerin, böcek ilaçlarının ve farmasötik tesislerin birçoğu ağır metaller (Cr, Pb ve Zn) veya toksik organik bileşikler içeriği nedeniyle potansiyel olarak tehlikelidir ve nadiren toprağa uygulanırlar (Sumner 2000).

Atmosferik faaliyetler: Havada taşınan metal kaynakları arasında hava, gaz veya buhar akışlarının yığın veya kanal emisyonları ve depolama alanlarından veya atık yığınlarından toz gibi kaçak emisyonlar bulunur. Hava kaynaklı kaynaklardan elde edilen metaller genellikle gaz akışında bulunan parçacıklar olarak salınır. As, Cd ve Pb gibi bazı metaller de yüksek sıcaklıkta işlem sırasında uçabilirler. Bu metaller oksitlere dönüşecek ve indirgeyici bir atmosfer sağlanmadıkça ince parçacıklar olarak yoğunlaşacaktır (Smith *et al.* 1995).

Fosil yakıtların çoğu formu bazı ağır metaller içerir ve bu nedenle bu, sanayi devriminin başlamasından bu yana geniş çapta devam eden bir kirlenme şeklidir. Örneğin, eritme işlerine bitişik bitki ve topraklarda çok yüksek konsantrasyonlarda Cd, Pb ve Zn bulunmuştur. Bir diğer ana kirlilik kaynağı, Pb'nin tetraetil kurşun içeren benzin yanmasından kaynaklanan hava emisyonu; kentsel alanlardaki ve ana yollara bitişik olan topraklardaki Pb'nin içeriğine büyük ölçüde katkıda bulunur. Zn ve Cd, yollara bitişik topraklara, kaynakların lastik olduğu ve yağlayıcı yağlara da eklenebilir (USEPA 1996).

Toprak kimyasal süreçleri: Kurşun; Atom numarası 82, atomik kütle 207.2, yoğunluk 11.4 g cm⁻³, erime noktası 327.4 °C ve kaynama noktası 1725 °C olan periyodik tablonun 6. grubuna ve 6. periyoduna ait bir metaldir. Doğal olarak oluşan, mavimsi bir metaldir, genellikle kükürt (yani PbS, PbSO₄) veya oksijen (PbCO₃) gibi diğer elementlerle kombine edilmiş bir mineraldir ve yer kabuğunda 10 ila 30 mg kg kg 1

arasındadır (USDHHS 1999). Dünyadaki yüzey toprakları için tipik ortalama Pb konsantrasyonu ortalama 32 mg kg^{-1} ve 10 ila 67 mg kg^{-1} (Kabata-Pendias and Pendias 2001) arasında değişmektedir. Kurşun, metallerin endüstriyel üretiminde Fe, Cu, Al ve Zn'nin ardında beşinci sırada yer almaktadır.

İyonik kurşun, Pb(II), kurşun oksitler ve hidrositleri ve kurşun metal oksidasyon kompleksleri, toprağa, yeraltı sularına ve yüzey sularına salınan genel Pb formlarıdır. En kararlı kurşun formları Pb(II) ve kurşun-hidroksi kompleksleridir. Kurşun (II), mononükleer ve polinükleer oksitler ve hidrositleri oluşturan, Pb'nin en yaygın ve reaktif şeklidir (GWRTAC 1997). Baskın çözünmeyen Pb bileşikler kurşun fosfatlar, kurşun karbonatlarıdır (pH 6'nın üzerinde olduğunda oluşur) ve kurşun (hidr) oksitlerdir (Raskin and Ensley 2000). Kurşun sülfid (PbS), toprak matriksi içinde en stabil katı formdur ve artan sülfid konsantrasyonları mevcut olduğunda indirgeyici koşullar altındaki formlardır. Anaerobik koşullar altında, mikrobiyal alkilasyon nedeniyle uçucu bir organo lead (tetrametil lead) oluşturulabilir (GWRTAC 1997).

Toprak kurşununa maruz kalmanın en ciddi kaynağı, kirlenmiş toprak veya tozun doğrudan alınması (yemek yemesi). Genel olarak, bitkiler kurşun emmez veya biriktirmez. Çalışmalar, kurşunun sebze ve meyve mahsullerinin meyve kısımlarında (örneğin mısır, fasulye, kabak, domates, çilek ve elmalar) kolayca birikmediğini göstermiştir. Daha yüksek konsantrasyonların, yapraklı sebzelerde (örneğin, marul) ve kök bitkilerinin (örneğin havuç) yüzeyinde bulunma olasılığı daha yüksektir. Bitkiler büyük miktarlarda toprak kurşunu almadığından, bitkiler için güvenli olduğu düşünülen topraktaki kurşun seviyeleri, toprağın yemesinin endişe ettiği toprak kurşun seviyelerinden çok daha yüksek olacaktır (pika). Genellikle, toplam kurşun seviyesi 300 ppm'den az olan topraklarda yetişen bahçe ürünlerinin kullanılması güvenli kabul edilmiştir. Besin zincirinde kurşun zehirlenmesi riski, toprak kurşun seviyesi bu konsantrasyonun üzerine çıktıkça artar. 300 ppm üzerindeki toprak seviyelerinde bile, riskin çoğu, tesisin kurşun almasından ziyade, bitkilerdeki kurşunla kirlenmiş toprak veya toz birikintilerinden kaynaklanır (Rosen 2002).

Kadmiyum; Atom numarası 48, atom ağırlığı 112.4, yoğunluk 8.65 g cm^{-3} , erime noktası $320.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ve kaynama noktası $765 \text{ }^\circ\text{C}$ olan ikinci geçiş elemanı sırasının sonunda bulunur. Hg ve Pb ile birlikte, Cd büyük üç ağır metal zahirinden biridir ve herhangi bir temel biyolojik fonksiyon için bilinmemektedir. Bileşiklerinde, Cd iki değerli Cd(II) iyonu olarak oluşur. Cd periyodik tabloda doğrudan Zn'nin altındadır ve bitkiler ve hayvanlar için temel bir mikro besin olan Zn'nin kimyasal benzerliğine sahiptir. Bu kısmen Cd'nin toksisitesinden sorumlu olabilir; Zn gerekli bir iz element olduğundan, Cd ile ikame edilmesi metabolik işlemlerin bozulmasına neden olabilir (Campbell 2006).

Kadmiyumun diğer kullanımları pigmentler, polivinil klorür (PVC) için stabilizatörler, alaşımlar ve elektronik bileşiklerdir. Kadmiyum ayrıca fosfatlı gübreler, deterjanlar ve rafine edilmiş petrol ürünleri de dahil olmak üzere birçok üründe kirlilik olarak mevcuttur. Ayrıca, asit yağmuru ve bunun sonucunda toprak ve yüzey sularının asitlenmesi Cd'nin jeokimyasal hareketliliğini arttırmıştır ve bunun sonucunda yüzey suyu konsantrasyonları göl suyu pH'ı azaldıkça artma eğilimindedir (Campbell 2006). Kadmiyum, Zn'un kaçınılmaz bir yan ürünü olarak üretilir ve zaman zaman rafine olur. Gübreler, pestisitler ve biyosolitler (atık çamur) gibi endüstriyel girdilerin uygulanması, endüstriyel atıkların elden çıkarılması veya atmosferik kirleticilerin biriktirilmesi, Cd'nin toplam toprağa konsantrasyonunu artırır ve bu Cd'nin biyo elverişliliğinin bitki Cd alımının gerçekleşip gerçekleşmediğini belirler. önemli derecede (Wegglar *et al.* 2004). Kadmiyum çok biyolojik olarak bulunur, ancak çok az toksik özelliği vardır ve bir organizma tarafından absorbe edildiğinde yıllarca ikamet eder.

1970'lerden bu yana, insanların belirli bir kabuklu deniz hayvanı veya sebze türünün tüketilmesi yoluyla, besin zincirleri yoluyla insanların Cd'ye maruz kalma ihtimaline sürekli bir ilgi duyulmuştur. Bu son rotaya (tarımsal ürünler) ilişkin endişe, insan tüketimi için kullanılan mahsuller için kullanılan topraklara lağım çamurunun (Cd bakımından zengin biyosolitler) uygulanmasının veya kadmiyum bakımından zenginleştirilmiş fosfatlı gübre kullanılmasıyla olası sonuçlarını araştırmıştır (Campbell 2006).

Nikel; Atom numarası 28 olan ve atom ağırlığı 58,69 olan bir geçiş elemanıdır. Düşük pH bölgelerinde, metal nikel iyon $Ni(II)$ formunda bulunur. Nötr ila hafif alkali çözeltilerde, stabil bir bileşik olan nikel hidroksit, $Ni(OH)_2$ olarak çökler. Bu çökelti, $Ni(III)$ oluşturan asit çözeltilerinde ve çok alkali koşullarda kolayca çözünür; suda çözünür, nikelit iyonu, $HNiO_2$ 'yi oluşturur. Çok oksitleyici ve alkali koşullarda, nikel, asit çözeltilerinde çözülebilen stabil nikel-nikelik oksit, Ni_3O_4 formunda bulunur. Nikel oksit, Ni_2O_3 ve nikel peroksit, NiO_2 gibi diğer nikel oksitler alkali çözeltilerde kararsızdır ve oksijen vererek ayrışır. Bununla birlikte, asidik bölgelerde, bu katılar Ni^{+2} (Pourbaix 1974) üreten çözülür.

Nikel, çevrede yalnızca çok düşük seviyelerde meydana gelen ve küçük dozlarda esastır, ancak maksimum tolere edilebilir miktarın aşılması tehlikeli olabilir. Bu, özellikle rafinerilerin yakınında yaşayan hayvanların vücudundaki farklı alanlarda çeşitli kanser türlerine neden olabilir. Ni'nin en yaygın uygulaması, çelik ve diğer metal ürünlerin bir bileşenidir.

Topraktaki başlıca Ni kirlenme kaynakları metal kaplama endüstrisi, fosil yakıtların yanması ve nikel madenciliği ve galvaniktir. Santraller ve çöp yakma tesisleri tarafından havaya salınır ve çökeltme reaksiyonlarından sonra yere düşer. Nikelin havadan çıkarılması genellikle uzun zaman alır. Nikel atık su akıntılarının bir parçası olduğunda yüzey suyuna da varabilir (Khodadoust *et al.* 2004).

Çevreye salınan tüm Ni bileşiklerinin daha büyük kısmı çökeltilere veya toprak parçacıklarına adsorbe olur ve sonuç olarak hareketsiz hale gelir. Bununla birlikte, asidik topraklarda, Ni daha hareketli hale gelir ve çoğunlukla bitişik yeraltı suyuna akar. Mikroorganizmalar Ni'nin varlığından dolayı büyüme düşüşünden de muzdarip olabilirler, ancak genellikle bir süre sonra Ni'ye direnç geliştirirler. Nikelin bitkilerde ya da hayvanlarda biriktiği bilinmemektedir ve bunun sonucunda Ni'nin besin zincirini biyomagnize ettiği tespit edilmemiştir. Hayvanlar için Ni, az miktarda önemli bir gıda maddesidir. Birincil cıva kaynağı, sülfür cevheri zinoberdir (Pourbaix 1974; Khodadoust *et al.* 2004).

Kirlenmiş bir toprakta bulunan spesifik metal kirliliği, sahada meydana gelen işleme doğrudan ilgilidir. Toprakta toksik seviyeye ulaşan metal kirlilik değeri hem toprak içerisinde hem de toprak dışında canlı yaşamı olumsuz etkilediğinden insan, hayvan ve bitki yaşamının da işlevselliğinin bozulmasına sebep olurlar. Ağır metallerin toprak canlıları ve aktivitesi üzerine yapmış olduğu olumsuz etkileri değeri değerlendirmek gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı; toprak ortamında bulunan bazı ağır metallerin (Cd, Ni ve Pb) toprakların bazı biyolojik özellikleri (toprak bakteri ve mantar popülasyonu, toprak solunumu (CO₂ salınımı), üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktivitesi) üzerine etkisini belirlemektir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Denemede materyal olarak toprak ve ağır metal çözeltileri kullanılmıştır.

3.1.1. Denemenin yürütüldüğü alan ve genel özellikleri

Denemeye materyal teşkil eden toprak örneklerinin alındığı yerin özellikleri ile iklim ve tarımsal yapısı aşağıda verilmiştir.

3.1.1.a. Deneme alanı

Aşkale Çimento Fabrikası civarında bulunan, rüzgar yönü ile aynı istikamette kalan ve uzun yıllardır Çimento Fabrikası bacalarından salınan gazlara maruz kalmış tarım alanlarının 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri kullanılmıştır.

3.1.1.b. Deneme alanının toprak özellikleri

Erzurum-Kars Bölümünün en batısında yer alan Aşkale, Erzurum şehrinin batısında olup, 52 km uzaklıktadır. Karasu ırmağı, Erzurum ovalarından (Daphan Ovası) çıktıktan sonra ilk vadi tabanını burada oluşturur. İklim özelliklerine bağlı olarak Karasu vadi tabanında vejetasyon formasyonu steptir. Steplerin altında ise yaygın olarak kestane renkli topraklar hakimdir (Sever 2000).

3.1.1.c. Deneme alanının iklim özellikleri

Karasal iklimin hakim olduğu yörede yıllık ortalama sıcaklık 6,9°C dir. Donlu gün sayısı 155 gün kadardır. Yıllık ortalama yağış miktarı 393,3 mm dir. Bu yağışların % 39,7'si ilkbahar aylarında düşmektedir (Anon 2013).

3.1.1.d. Deneme alanının tarımsal yapısı

İlçede toplam alanı 1.472.650 de olan arazinin, kültür arazisi olan 198.793 da arazinin 149.095 da'lık bölümünde kuru tarım, 49.698 da'lık bölümünde sulu tarım yapılmakta, 41.218 de arazi de nadasa bırakılmaktadır (Anon 2013). İklim şartlarının uygun olmaması nedeniyle sebze ve meyvecilik aile işletmeciliği şeklinde yapılmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki en büyük yatırımlardan biri olan Kuzgun Sulama Barajı, tarımda İlçenin birinci sınıf arazisini bulunduran "Daphan Ovası"nı ve İlçeye bağlı Gökçebük, Çayköy, Tazegül, Karabıyık ve Küçükgeçit köylerinin tarım arazilerini de sulamaktadır (MEB 2013). Bölge topraklarında genel olarak buğday, arpa, mısır, lahana, şeker pancarı ve patates yetiştirilmektedir.

3.1.4. Saksı

Denemede, 20x18 cm ebatlarında polietilen kahverengi saksılar kullanılmıştır.

3.1.5. İnkübatör

Denemede kullanılan bakteri kültürlerinin çoğaltılmasında 28°C sıcaklığa ayarlanabilen inkübatörler kullanılmıştır.

3.1.6. Steril kabin

Bakteri aşılantmış ağır metal içerikli çözeltilerin ve bakteri kültürlerinin hazırlanmasında steril kabinler kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Ağır metal çözeltileri

Çalışmada kadmiyum (Cd), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) ağır metal çözeltileri kullanılmıştır. Denemede kullanılmak üzere Çizelge 3.1’de mevcut standart topraklardaki ve farklı pH değerlerindeki toprakların toplam ağır metal sınır değerleri (TKKY 2005) tablosu esas alınarak Cd: 0, 1, 2, 4 ppm, Ni: 0, 50, 100, 150 ppm ve Pb: 0, 50, 100, 150 ppm ihtiva eden ağır metal çözeltileri hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri (TKKY 2005)

Ağır Metal	Toplam Metal İçeriği, ppm	
	6 ≤ pH < 7 arasında (mg kg ⁻¹ fırın kuru toprak)	pH ≥ 7 ‘den yüksek (mg kg ⁻¹ fırın kuru toprak)
Kurşun	70	100
Kadmiyum	1.0	1.5
Krom	60	100
Bakır	50	100
Nikel	50	70
Çinko	150	200
Cıva	0.5	1.0

Cd metal çözeltisi hazırlamak için Cd(NO₃)₂ tuzundan 23.64 g tartılmış, bir miktar saf suda çözülmüş ve son hacim saf su ile 100 ml’ye tamamlanarak 1000 ppm’lik stok çözelti elde edilmiştir. Bu çözeltiden sırası ile 1, 2 ve 4 ml alınıp saf su ile son hacim 1000 ml’ye tamamlanmış ve sırası ile 1, 2 ve 4 ppm Cd çözeltileri hazırlanmıştır.

Pb metal çözeltisi hazırlamak için $Pb(NO_3)_2$ tuzundan 33,14 g tartılmış, bir miktar saf suda çözülmüş ve son hacim saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak 1000 ppm'lik stok çözelti elde edilmiştir. Bu çözeltiden sırası ile 50, 100 ve 150 ml alınıp saf su ile son hacim 1000 ml'ye tamamlanmış ve sırası ile 50, 100 ve 150 ppm Pb çözeltileri hazırlanmıştır.

Ni metal çözeltisi hazırlamak için $NiCl_2$ tuzundan 12,96 g tartılmış, bir miktar saf suda çözülmüş ve son hacim saf su ile 100 ml'ye tamamlanarak 1000 ppm'lik stok çözelti elde edilmiştir. Bu çözeltiden sırası ile 50, 100 ve 150 ml alınıp saf su ile son hacim 1000 ml'ye tamamlanmış ve sırası ile 50, 100 ve 150 ppm Ni çözeltileri hazırlanmıştır.

Deneme topraklarında saksılara konulan 1 kg toprak üzerine tarla kapasitesindeki nem miktarı kadar su, hazırlanan metal çözeltilerinden tek seferlik olmak üzere verilmiştir. Toprakların tarla kapasitesinde nem miktarını sabit tutmak için 3 günde bir tartımlar yapılarak kaybolan nem miktarı kadar su saf su ile tamamlanmıştır. Kontrol örneklere ise sadece saf su ilavesi yapılmıştır.

3.2.2. Toprak örneklerinin analize hazırlanması

Denemede kullanılan toprak örnekleri laboratuara getirilip havada kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Plastik kaplarda muhafaza edilen toprak örnekleri üzerinde kimyasal, fiziksel ve biyolojik analizler yapılmıştır.

Denemede saksı topraklarına farklı konsantrasyonlardaki Cd, Ni ve Pb metal çözeltileri ilave edilmiş ve toprakların nem düzeyi tarla kapasitesi nem seviyesinde sabit tutulmuştur. Deneme süresince eksilen su miktarı tartım yapılarak ilave edilmiştir. 15, 30 ve 45 gün inkübasyon süreleri sonunda topraklarda bakteri ve mantar sayımı ve toprak CO_2 içeriği, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim analizleri yapılmıştır.

3.2.3. Toprak analiz yöntemleri

Araştırma topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal analizleri aşağıdaki ana başlıklar altında ele alınmıştır.

3.2.3.a. Toprak reaksiyonu

Deneme topraklarının 1:2.5'luk toprak-su oranında pH'ları cam elektrotlu pH metresi ile yapılmıştır (Handershot *et al.* 1993).

3.2.3.b. Kireç miktarı

Deneme topraklarının kireç içerikleri volümetrik yöntemle Scheibler Kalsimetresi ile belirlenmiştir (Goh *et al.* 1993).

3.2.3.c. Organik madde

Deneme topraklarının organik madde içerikleri Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Tiessen and Moir 1993).

3.2.3.d. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Toprakların sodyum asetatla (1 N, pH=8.2) doyurulup, amonyum asetatla (1 N, pH=7.0) ekstrakte edilen solüsyonlarda KDK değerini ifade eden Na okuması atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile okunarak belirlenmiştir (Rhoades 1982).

3.2.3.e. Değişebilir K ve Na

Toprakların değişebilir K ve Na içerikleri, amonyum asetatla (1 N, pH=7.0) doyurularak elde edilen ekstraktlarda AAS okunması ile belirlenmiştir (Knudsen *et al.* 1982).

3.2.3.f. Değişebilir Ca + Mg

Deneme topraklarının değişebilir Ca+Mg katyonları EDTA (Etilendiamin tetraasetikası) yöntemine göre titrasyonla tespit edilmiştir (Lanyon and Heald 1982).

3.2.3.g. Elverişli fosfor

Deneme topraklarının elverişli fosfor içerikleri molibdofosforik mavi renk yöntemine ile spektrofotometrede okunarak belirlenmiştir (Olsen and Sommers 1982).

3.2.3.h. Toplam azot

Deneme topraklarının azot içeriği, Kjeldahl yöntemiyle belirlenmiştir (Mc Gill and Figueiredo 1993).

3.2.3.i. Elektrik iletkenlik

Deneme topraklarının elektriki iletkenlikleri saturasyon macunlarının ekstraksiyon çözeltilerinde elektriki kondüktivite aleti ile okunarak belirlenmiştir (Demiralay 1993).

3.2.3.j. Toprak tekstürü

Deneme topraklarının kum, silt ve kil içerikleri, Bouyoucos Hidrometre yöntemiyle, tekstür sınıfı ise tekstür üçgeni ile belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

3.2.3.k. Mikro element ve ağır metal analizleri

Deneme topraklarının ağır metal içerikleri DTPA (diethylentriamin pentaasetikası) yöntemine göre ekstrakte edilen süzüklerde (Sağlam 1994; Aydın ve Sezen 1995) ICP OES spektrofotometresinde (Inductively Couple Plasma spectrophotometer) (Perkin-Elmer, Optima 2100 DV, ICP/OES, Shelton, CT 06484-4794, USA) direk olarak okunarak belirlenmiştir (Mertens 2005).

3.2.4. Biyolojik yöntemler

3.2.4.a. Toprak Materyalindeki Bakteri ve Mantar Sayısının Tespiti

Toprakta bakteri ve mantar sayımı için; dilüsyon metoduna göre, 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} dilüsyon örnekleri hazırlanmış, bakteri sayımı için Nutrient Agar (NA) besiyerine, mantar sayımı için Potato Dextrose Agar (PDA) besiyerine inoküle edilmiştir. İnkübatörde 28°C 'de 3-5 gün bekletilerek inkübasyona bırakılan besiyeri üzerinde gelişen bakteri ve mantarların petri kutularının arkasından koloni sayımı yapılarak topraktaki toplam bakteri ve mantar sayısı belirlenmiştir (Germida 1993; Kızıloğlu ve Bilen 1997).

3.2.4.b. Toprakların CO₂ miktarının tespiti

Toprak örneğinden açığa çıkan CO₂ gazının NaOH içerisinde biriktirilmesi, NaHCO₃'ün oluşturulması ve BaCl ilavesinden sonra BaCO₃'ün çökmesi sonucu H₂SO₄ ve CO₂ ile doymayan NaOH miktarının titrasyonla belirlenmesi esasına göre ölçüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ekivalan değer ve asidin normalitesi ile çarpılarak mg cinsinden toprağın C ve CO₂ miktarı belirlenmiştir (Anderson 1982).

3.2.4.c. Üreaz Enzim Aktivitesi

Toprakların üreaz enzim aktivitesini belirlemek için toprak örnekleri üzerine KCl-Ag₂SO₄ çözeltileri ilave edilmiş, bu çözeltiden 20 ml alınmış ve 100 ml'lik damıtma kabına aktarılmıştır. 0.2 g MgO ilavesinden sonra 4 da buhar ile damıtılmıştır (Tabatabai 1982).

3.2.4.d. Asit ve Alkalin Fosfotaz Enzim Aktivitesi

Bir g toprak üzerine MUB stok çözeltisi (asit fosfotaz için pH= 6.5 veya alkalin fosfotaz için pH= 11'e ayarlanır) ve 1 ml p-nitrofenil fosfat çözeltisi ilave edilmiş ve karıştırılmıştır. Erlenmayerin üzeri kapatılmış, 37°C'de inkübe edilmiş ve üzerine 1 ml 0.5 M CaCl₂ ve 4 ml 0.5 M NaOH ilave edilerek birkaç saniye çalkalayıcıda çalkalanmış ve Whatman (No:42) süzgeç kâğıdından süzölmüştür. Fotoelektrikli kolorimetre (Klett-Summerson) ile süzöğün ve standart çözeltilerin (0.0, 10, 20, 30, 40, 50 mg p-nitrofenol içeren) sarı renk yoğunluğunda okuması yapılarak kalibrasyon grafiğı yardımı ile süzökte bulunan ölçüm değeri karşılık gelen p-nitrofenol içeriğı belirlenmiştir (Tabatabai 1982).

3.2.5. Deneme planı

Deneme topraklarına 3 farklı ağır metal (Cd, Ni ve Pb) çözeltisinin 3 farklı konsantrasyonu (Cd: 0, 1, 2, 4 ppm, Ni: 0, 50, 100, 150 ppm ve Pb: 0, 50, 100, 150 ppm) uygulanmış, 15, 30 ve 45 günlük inkübasyon sonrası 3 tekrarlamalı olarak faktöriyel deneme planına göre 108 adet (1 toprak x 3 ağır metal çözeltisi x 4 farklı metal konsantrasyonu x 3 farklı inkübasyon periyodu x 3 Tekerrür) saksıda yürütölmüştür.

3.2.6. İstatistiksel analiz yöntemleri

Denemeden elde edilen analiz sonuçları, Statistika programı kullanılarak ortalamalar arasındaki farklar belirlenmiştir (Yıldız ve Bircan 1991).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deneme alanının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini ortaya koymak amacı ile deneme alanını temsil edecek şekilde 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri üzerinde rutin toprak analizleri yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Değer	
pH (1:2.5)	7.62	
Organik madde (%)	2.42	
Kireç, CaCO ₃ , (%)	3.28	
EC x 10 ³ mmhos cm ⁻¹ (dS m ⁻¹)	0.456	
Toplam N (%)	0.050	
Elverişli P (P ₂ O ₅ kg da ⁻¹)	4.77	
K.D.K. (me 100 g ⁻¹)	32.27	
Değişebilir Katyonlar (me 100 g ⁻¹)	Ca ⁺²	15.64
	Mg ⁺²	9.52
	K ⁺¹	5.44
	Na ⁺¹	0.76
Mikro elementler(ppm)	Fe ⁺²	6.76
	Cu ⁺²	1.61
	Zn ⁺²	0.43
	Mn ⁺²	6.13
Tane büyüklük dağılımı	Kum, %	28
	Silt, %	27
	Kil, %	45
Tekstür Sınıfı	Killi	
Toplam Tuz, %	0.09	
Tarla kapasitesi, %	39.4	
Solma noktası, %	24.7	
Total bakteri sayısı, cfu ml ⁻¹	4.4x10 ⁷	
Total mantar sayısı, cfu ml ⁻¹	4.3x10 ⁵	
Toprak CO ₂ miktarı, mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹	18.58	

Çizelge 4.1 incelendiğinde deneme alanı toprağı ağır bünyeli yapıda, organik maddesi bakımından orta, tuz içeriğı bakımından tuzsuz, kireç miktarı bakımından kireçli, toplam azot bakımından çok az, elverişli P₂O₅ bakımından çok az sınıfında yer almış ve asitlik bakımından nötr karakterdedirler (Ülgen ve Yurtsever 1995).

4.2. Ağır metal uygulamasının toprakların bazı özellikleri üzerine etkileri

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprak bakteri ve mantar popülasyonu, toprak solunumu, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri üzerine etkileri aşağıda verilmiştir.

4.3. Bakteri popülasyonu üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların bakteri popülasyonu üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları. Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Bakteri Sayısı, cfu ml ⁻¹ (x1.000.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	62.42 a	59.34 a	57.69 a	64.55 a
	1.0	54.99 b	50.06 b	45.48 b	50.18 b
	2.0	48.65 c	43.38 c	38.36 c	43.46 c
	4.0	40.49 d	36.13 d	30.01 d	35.54 d
	Ort.	48.04 A	43.19 B	37.95 C	

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Bakteri Sayısı, cfu ml ⁻¹ (x1.000.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	65.32 a	64.27 a	62.48 a	64.02 a
	50	61.30 b	53.42 b	46.02 b	53.58 b
	100	49.73 c	41.77 c	35.96 c	42.49 c
	150	33.13 d	27.17 d	16.82 d	25.71 d
	Ort.	48.05 A	40.79 B	32.93 C	

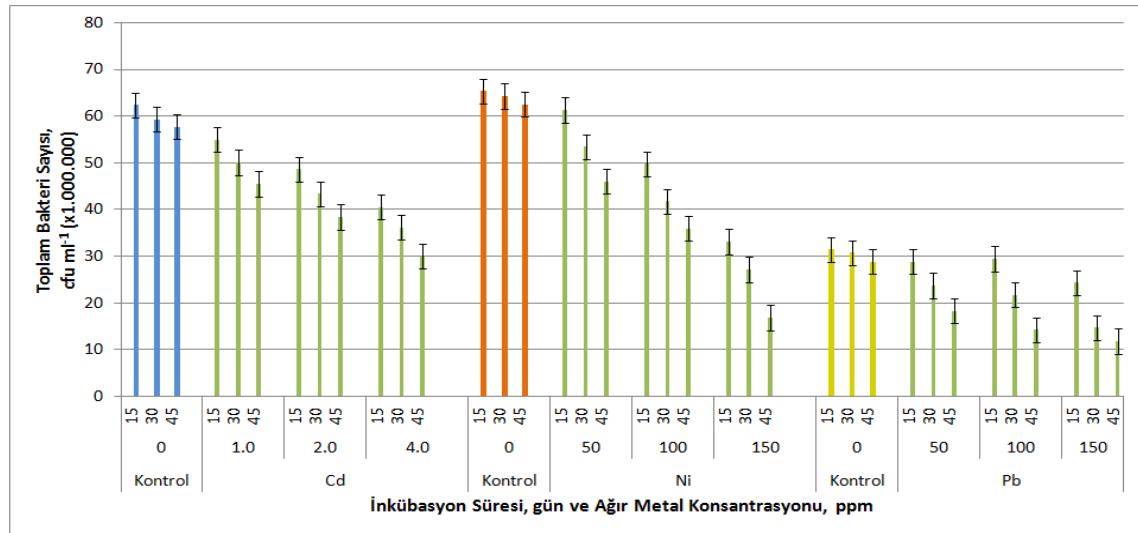
Çizelge 4.2. (devam)

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Bakteri Sayısı, cfu ml ⁻¹ (x1.000.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	31.45 a	30.74 a	28.81 a	30.33 a
	50	29.81 b	23.70 b	18.29 b	23.60 b
	100	28.46 b	21.74 b	14.20 c	21.80 b
	150	24.36 c	14.67 c	11.78 d	16.94 c
	Ort.	27,54 A	20.04 B	14.76 C	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Çizelge 4.2.'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkileri p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin bakteri popülasyonu üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların bakteri popülasyonu üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu

karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artışına ve inkübasyon süresinin artışına bağlı olarak toprakların bakteri popülasyonu azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre bakteri popülasyonunda daha az düşüşe sebep olurken, Pb ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda bakteri popülasyonunun düşmesine sebep olmuştur (Çizelge 4.2; Şekil 4.1).

Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının ve inkübasyon süresinin bakteri popülasyonu üzerine etkisi olumsuz olmuş, artan ağır metal konsantrasyonu ve artan inkübasyon sürelerinde bakteri popülasyonu azalma göstermiştir. Yapılan bazı çalışmalarda özellikle Pb, Cr, Ar, Zn, Cd, Hg ve Ni metallerinin topraklarda belli konsantrasyondan fazla olması durumunda metal kirliliği oluşturdukları ve bu ağır metallerin toprak mikroorganizmaları üzerine zararlı olabilecekleri ifade edilmektedir (Wuana and Okieimen 2011).

4.4. Mantar popülasyonu üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların mantar popülasyonu üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları. Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların mantar popülasyonu üzerine etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak mantar Sayısı, spor ml ⁻¹ (x1.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	44.56 a	43.25 a	42.31 a	43.37 a
	1.0	39.86 b	35.91 b	33.07 b	35.61 b
	2.0	37.15 b	30.11 c	26.91 c	32.06 b
	4.0	33.26 c	24.11 d	16.15 d	24.51 c
	Ort.	36,76 A	30.04 B	25.38 C	

Çizelge 4.3. (devam)

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak mantar Sayısı, spor ml ⁻¹ (x1.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	39.56 a	38.47 a	38.21 a	38.74 a
	50	38.67 a	35.78 ab	28.14 b	34.86 ab
	100	32.40 b	27.70 b	23.46 c	27.85 b
	150	29.94 c	23.46 c	21.22 c	24.88 c
	Ort.	34,34 A	28.98 B	24.27 C	

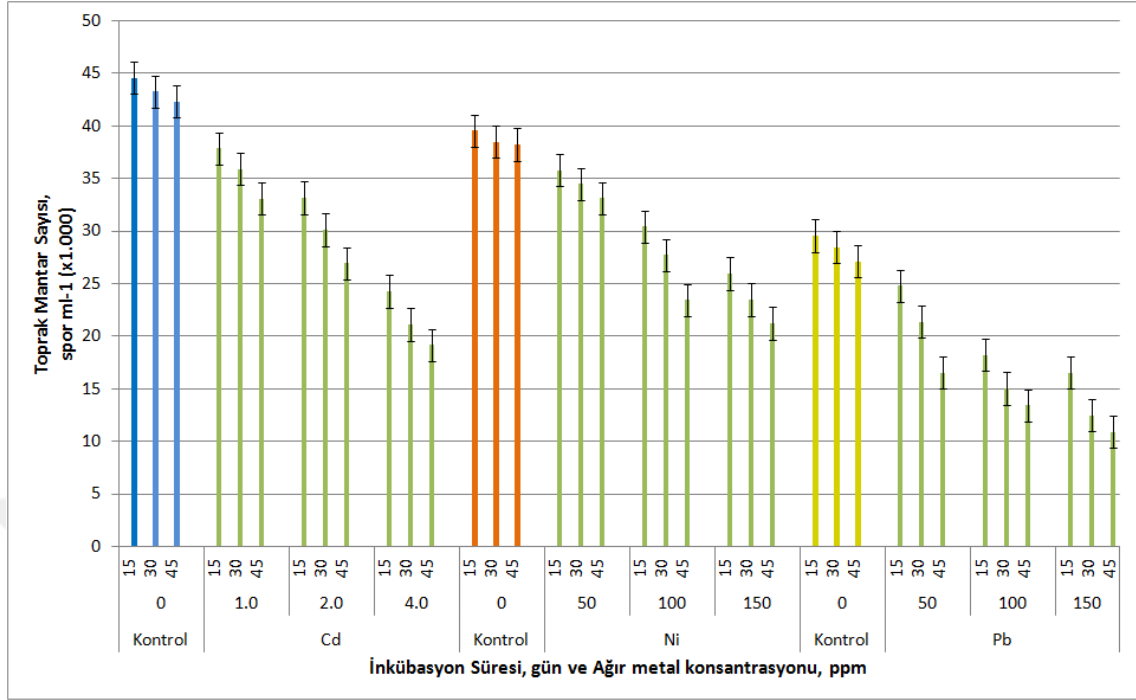
Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak mantar Sayısı, spor ml ⁻¹ (x1.000)			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	29.56 a	28.47 a	27.12 a	28.38 a
	50	26.80 ab	19.80 b	12.86 b	19.82 b
	100	18.20 b	15.01 c	13.40 b	15.54 bc
	150	16.51 b	12.49 d	10.92 c	13.31 c
	Ort.	20,50 A	15.77 B	12.39 C	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Çizelge 4.3'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların mantar popülasyonu üzerine etkileri p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin mantar popülasyonu üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların mantar popülasyonu üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların mantar popülasyonu üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artışı ve inkübasyon süresinin artışıyla birlikte toprakların mantar popülasyonu azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre mantar popülasyonunda daha az düşüşe sebep olurken, Pb ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda mantar popülasyonunun düşüşüne sebep olmuştur (Çizelge 4.3; Şekil 4.2).

4.5. Toprak solunumu (CO₂ salınımı) üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların solunumu üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları. Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların solunumu üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Solunumu, mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	26.45 a	25.37 a	25.12 a	25.64 a
	1.0	23.36 b	20.32 b	16.76 b	20.15 b
	2.0	20.92 c	16.44 c	12.73 c	16.70 c
	4.0	14.60 d	12.34 d	10.14 d	12.36 d
	Ort.	19,63 A	16.37 B	13.21 C	

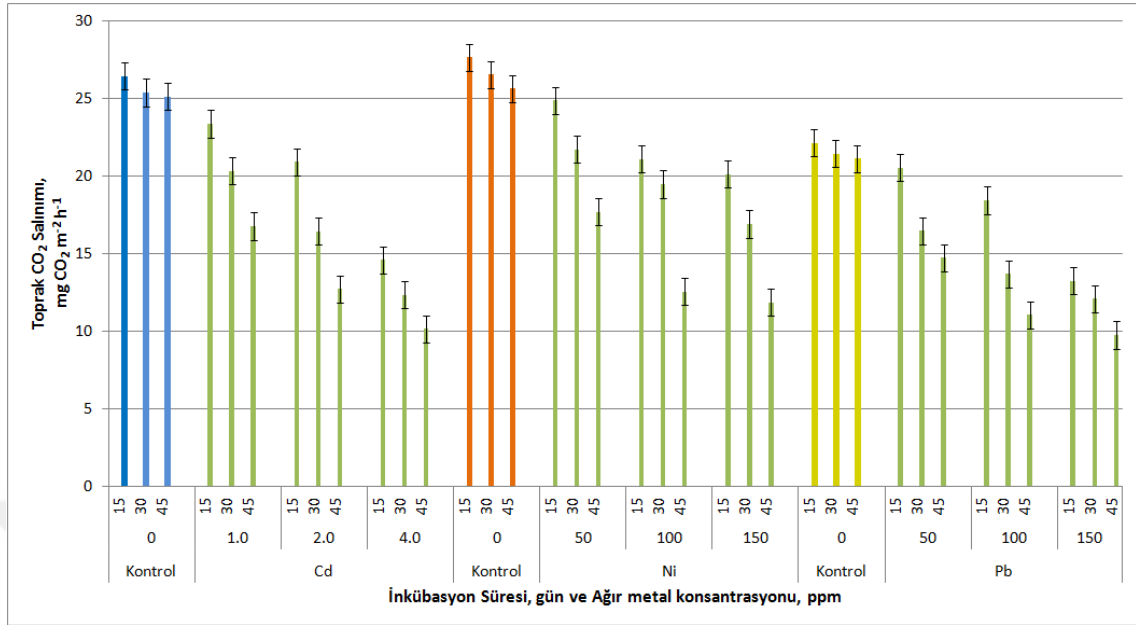
Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Solunumu, mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	27.65 a	26.54 a	25.64 a	26.61 a
	50	24.86 ab	21.71 b	17.68 b	21.42 b
	100	21.10 b	19.47 bc	12.56 c	17.71 c
	150	20.11 c	16.90 c	11.85 c	16.29 c
	Ort.	22,02 a	19.36 b	14.03 c	

Ağır Metal	Ağır Metal Kons. ppm	Toprak Solunumu, mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	22.13 a	21.45 a	21.12 a	21.56 a
	50	20.54 ab	16.46 b	14.72 b	17.24 b
	100	18.43 b	13.69 bc	11.06 bc	14.39 c
	150	13.25 c	12.09 c	9.75 c	11.69 d
	Ort.	17,41 A	14.08 B	11.84 C	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Çizelge 4.4.'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların solunumu üzerine etkileri p<0.05 seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin toprakların solunumu üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların solunumu üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların solunumu üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artışına ve inkübasyon süresinin artışına bağlı olarak toprakların solunumu azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre toprak solunumu daha az düşüşe sebep olurken, Cd ağır metalinin 1, 2 ve 4 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda toprak solunumu düşüşüne sebep olmuştur (Çizelge 4.4; Şekil 4.3).

Topraklar, serbest bırakılan ağır metaller için ana depo görevi yapmaktadır ve çevrede okside olan organik kirleticilerin aksine mikroorganizmalar tarafından parçalanma ayrışma sonucu karbondioksit açığa çıkararak hem mikrobiyal hem de kimyasal bozulmaya uğrarlar (Kirpichtchikova *et al.* 2006; Adriano 2003).

Yapılan çalışmalarda da iyi havalandırılan topraklarda nitrifikasyon bakterileri, azot fiske eden bakteriler, kükürt bakterileri, mantarlar, aktinomisetler ve diğer organik maddeyi oksitleyen mikroorganizmalar çoğalma göstermektedirler. Mikrobiyal popülasyon

toprağın yüzey tabakalarında en fazla olup, profil derinliğine bağlı olarak azalma göstermektedir. Mikroorganizmalar genellikle bitki kök bölgesini tercih ederler. Kök bölgesinde mikroorganizma yoğunluğuna bağlı olarak CO₂ miktarı da yüksek değer gösterdiği (Çolak 1995; Kızıloğlu 1995) ifade edilmektedir.

4.6. Üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları. Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Üreaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ toprak 2h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	37.54 a	36.45 a	36.14 a	36.71 a
	1.0	36.54 a	33.82 ab	30.74 b	33.70 b
	2.0	31.45 b	28.22 b	25.09 c	28.25 c
	4.0	26.07 c	23.57 c	19.16 d	22.93 d
	Ort.	31.35 A	28.54 B	25.00 C	

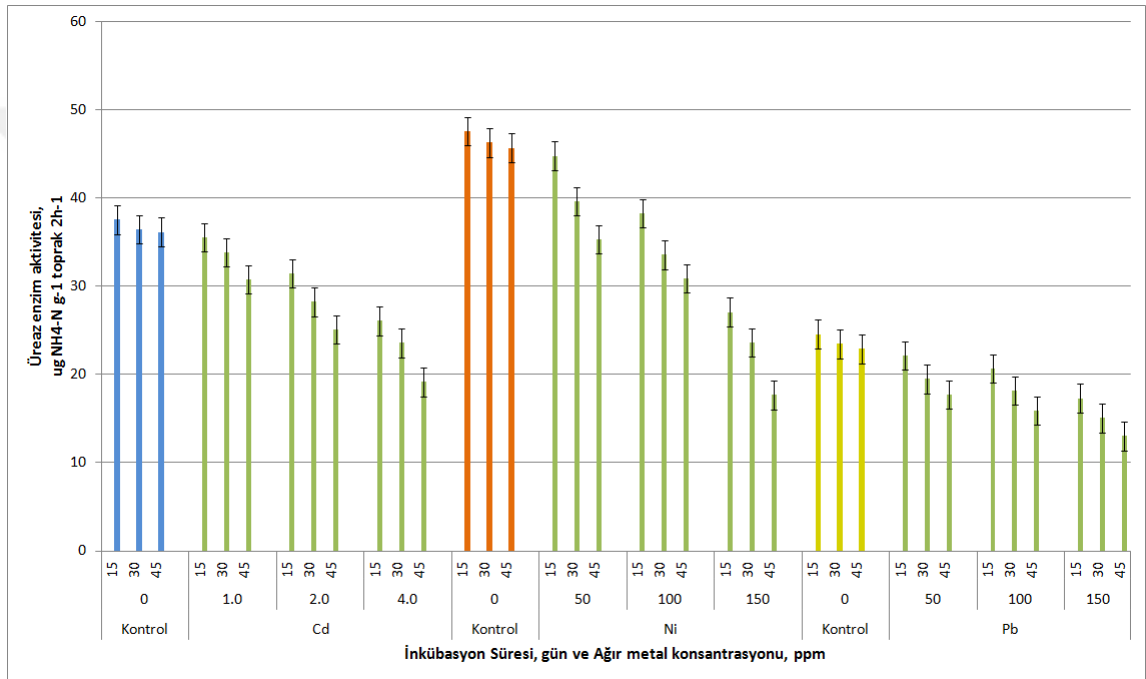
Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Üreaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ toprak 2h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	47.58 a	46.27 a	45.68 a	46.51 a
	50	44.76 b	39.60 b	35.28 b	39.88 b
	100	38.28 c	33.55 c	30.87 c	34.23 c
	150	27.06 d	23.60 d	17.66 d	22.77 d
	Ort.	36.70 A	32.25 B	27.94 C	

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Üreaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ toprak 2h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	15 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	24.56 a	23.45 a	22.89 a	23.63 a
	50	22.14 ab	19.49 b	17.69 b	19.77 b
	100	20.64 b	18.19 b	15.92 b	18.25 b
	150	17.30 c	15.07 c	13.02 c	15.13 c
	Ort.	20.03 a	17.58 b	15.54 c	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

Çizelge 4.5.'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkileri $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların üreaz enzim aktivitesi üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artışı ve inkübasyon süresinin artışıyla birlikte toprakların üreaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre üreaz enzim aktivitesi daha az düşüşe sebep olurken, Pb ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda üreaz enzim aktivitesi düşüşüne sebep olmuştur (Çizelge 4.5; Şekil 4.4).

Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının ve farklı inkübasyon süresinin üreaz enzim aktivitesi üzerine etkisi olumsuz olmuş, artan ağır metal konsantrasyonu ve artan inkübasyon sürelerinde üreaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir.

4.7. Asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4.6.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Asit Fosfotaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	33.24 a	33.00 a	32.45 a	32.89 a
	1.0	30.66 b	26.67 b	20.74 b	26.02 b
	2.0	24.47 c	18.82 c	15.09 c	19.46 c
	4.0	21.07 d	16.57 d	13.16 c	16.93 d
	Ort.	25.40 A	20.69 B	16.33 C	

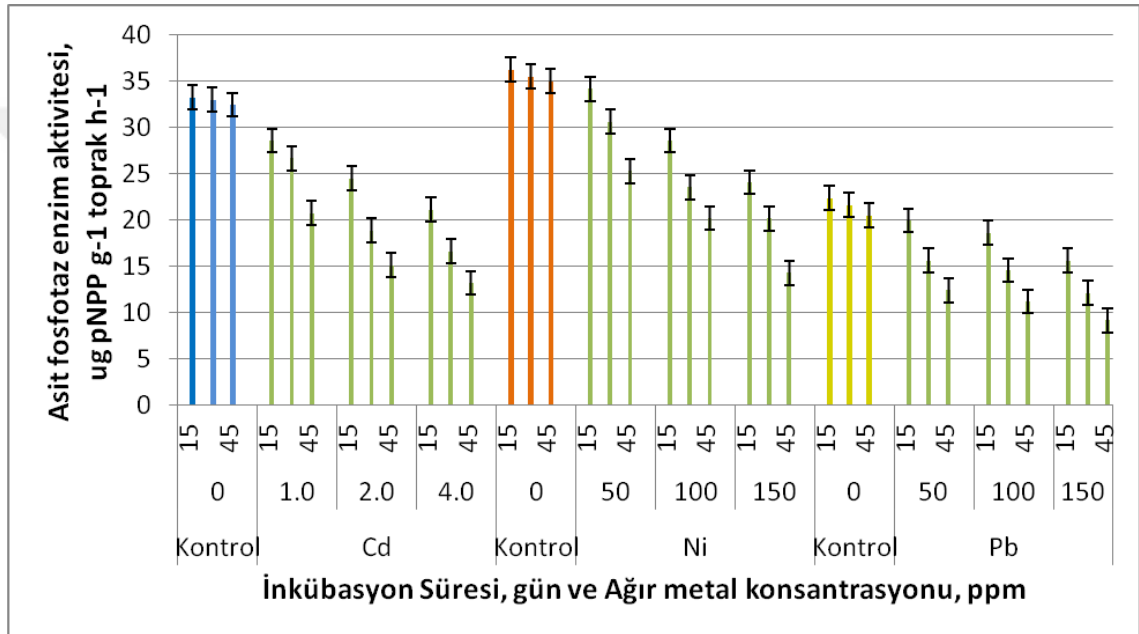
Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Asit Fosfotaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	36.25 a	35.47 a	34.97 a	35.56 a
	1.0	34.15 ab	30.60 b	25.28 b	30.01 b
	2.0	28.58 b	23.54 b	20.17 c	24.10 c
	4.0	24.05 c	20.15 c	14.23 d	19.48 d
	Ort.	28.93 A	24.76 B	19.89 C	

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Asit Fosfotaz Enzim Aktivitesi, $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	22.36 a	21.59 a	20.47 a	21.47 a
	1.0	19.93 b	15.59 b	12.38 b	15.97 b
	2.0	18.58 b	14.55 b	11.15 b	14.76 b
	4.0	15.57 c	12.06 c	9.11 c	12.25 c
	Ort.	18.03 a	14.07 b	10.88 c	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

Çizelge 4.6.'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkileri $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artmasına ve inkübasyon süresinin artmasına bağlı olarak toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre asit fosfotaz enzim aktivitesi daha az düşüşe sebep olurken, Pb ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda asit fosfotaz enzim aktivitesi düşüşüne sebep olmuştur (Çizelge 4.6; Şekil 4.5).

Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının ve inkübasyon süresinin asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi olumsuz olmuş, artan ağır metal konsantrasyonu ve artan inkübasyon sürelerinde asit fosfotaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir.

4.8. Alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Topraklara uygulanan farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine ait etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları. Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin, farklı inkübasyon zamanlarında toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Alkalın Fosfotaz Enzim Akt., $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Cd	0.0 (Kontrol)	54.16 a	53.24 a	52.93 a	53.44 a
	1.0	54.99 a	50.06 ab	45.48 b	50.18 b
	2.0	48.65 b	43.38 b	38.36 c	43.46 c
	4.0	40.49 c	36.13 c	30.01 d	35.54 d
	Ort.	48.04 A	43.19 B	37.95 C	

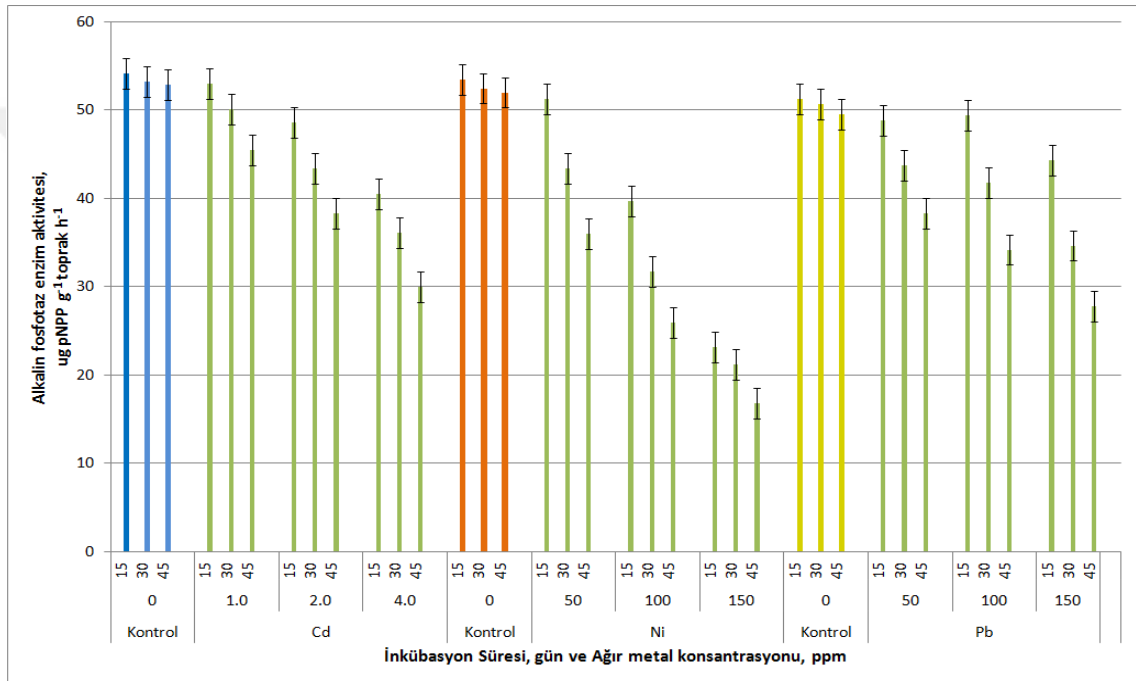
Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Alkalın Fosfotaz Enzim Akt., $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Ni	0.0 (Kontrol)	53.46 a	52.47 a	52.01 a	52.64 a
	1.0	51.30 ab	43.42 b	36.02 b	43.58 b
	2.0	39.73 c	31.77 c	25.96 b c	32.49 c
	4.0	23.13 d	21.17 d	16.82 d	20.37 d
	Ort.	38.05 A	32.12 B	26.27 C	

Ağır Metal	Ağır Metal Kons., ppm	Alkalın Fosfotaz Enzim Akt., $\mu\text{g pNPP g}^{-1}$ toprak h^{-1}			Genel Ort.
		15 Gün	30 Gün	45 Gün	
Pb	0.0 (Kontrol)	51.23 a	50.67 a	49.56 a	50.48 a
	1.0	48.81 b	43.70 b	38.29 b	43.60 b
	2.0	49.46 b	41.74 b	34.20 bc	41.80 b
	4.0	44.36 c	34.67 c	27.78 c	35.61 c
	Ort.	47.54 A	40.04 B	33.42 C	

* Aynı satırda ve aynı sütunda farklı küçük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

** Aynı satırda farklı büyük harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p < 0.05$).

Çizelge 4.7.'e göre Cd, Ni ve Pb ağır metal çözeltilerinin farklı dozlarının, farklı inkübasyon periyotlarında toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkileri $p < 0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Farklı konsantrasyonda ve farklı inkübasyon zamanlarında ağır metal çözeltilerinin her birisinin toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerinde göstermiş olduğu olumsuz etki ve kontrol toprağı ile karşılaştırılması Şekil 4.1.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının, farklı inkübasyon sürelerinde toprakların alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkilerini belirlemek için yapılan Duncun çoklu karşılaştırma testine göre; Cd, Ni ve Pb ağır metallerinin dozlarının artmasına ve inkübasyon süresinin artmasına bağlı olarak toprakların asit fosfotaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir. Bakteri popülasyonu üzerine Cd ağır metalinin 1, 2 ve 4 ppm doz uygulaması kontrol toprağına göre alkalın fosfotaz enzim aktivitesi daha az düşüşe sebep olurken, Ni ağır metalinin 50, 100 ve 150 ppm doz uygulaması daha fazla miktarda alkalın fosfotaz enzim aktivitesi düşüşüne sebep olmuştur (Çizelge 4.7; Şekil 4.6).

Farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının ve inkübasyon süresinin asit fosfotaz enzim aktivitesi üzerine etkisi olumsuz olmuş, artan ağır metal konsantrasyonu ve artan inkübasyon sürelerinde asit fosfotaz enzim aktivitesi azalma göstermiştir.

Toprakta bulunan mikroorganizmalar enzim faaliyetlerini de etkileyerek besin elementlerinin verimliliğinde önemli rol oynarlar. Toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile enzim aktiviteleri arasında bir ilişki bulunmaktadır. Bilhassa toprağın biyolojik aktivitesi tayininde yükseltgen ve hidrolitik enzimlerin aktiviteleri büyük öneme sahiptir (Ünal ve Rasheed 1972).

Topraklarda mikrobiyal aktivite sonucu ortaya çıkan bazı enzimlerin (proteaz, üreaz, ksilanaz, alkali fosfotaz) aktiviteleri değişiklik gösterdiği, toprakların agregat stabilitesi ile dehidrogenaz, proteaz, azot mineralizasyonu, üreaz aktivitesi, alkali fosfotaz ve ksilanaz aktivitesi arasında önemli düzeyde pozitif ilişkiler bulunduğu tespit edilmiştir (Kandeler ve Murer 1993). Yapılan bu çalışma sonuçları da topraklarda azotlu gübrelemeye bağlı olarak toprak enzim aktivitesinin artış gösterdiğini ortaya koymuş olup, elde edilen sonuçlar yapılan bu çalışma ile benzerlik oluşturmaktadır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan araştırma sonuçlarına göre; farklı konsantrasyonlarda ağır metal (Cd, Ni ve Pb) çözeltileri, 1000 g toprak ihtiva eden saksı topraklarına tarla kapasitesi nem miktarında ilave edilmiştir. Toprakların bakteri ve mantar popülasyonu, toprak solunumu, üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri 15, 30 ve 45 günlük inkübasyon süresi sonunda belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kontrol toprağı ile karşılaştırılmıştır.

Deneme sonuçlarına göre; inkübasyon süresi artıkça ve uygulanan ağır metal (Cd, Ni ve Pb) dozları arttıkça toprakların bakteri ve mantar popülasyonu azalmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki ağır metal çözeltilerinin tüm uygulamalarında bakteri ve mantar popülasyonu kontrol toprağına göre azaltmıştır. Ağır metaller içerisinde Pb'nin 150 ppm dozunda en düşük seviyede bakteri ve mantar popülasyonu gözlemlenirken, Cd ağır metalinin 1 ppm dozunda kontrol toprağına göre düşük fakat ağır metal çözeltileri arasında en yüksek seviyede bakteri ve mantar popülasyonu gözlemlenmiştir. Ağır metaller içerisinde Pb bakteri ve mantar popülasyonu üzerine daha fazla toksik etki göstermiş, Ni ise diğer metallere göre bakteri ve mantar popülasyonu üzerine en az seviyede toksik etkide bulunmuştur.

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların CO₂ solunumu üzerine etkisi bakteri ve mantar popülasyonlarına paralel olarak negatif yönde olmuştur. Farklı konsantrasyonlardaki ağır metal çözeltilerinin tüm uygulamalarında CO₂ solunumu kontrol toprağına göre düşük bulunmuştur. Ağır metaller içerisinde Pb'nin 150 ppm dozunda en düşük seviyede CO₂ solunumu gözlemlenirken, Cd ağır metalinin 1 ppm dozunda kontrol toprağına göre düşük fakat ağır metal çözeltileri arasında en yüksek seviyede CO₂ solunumu gözlemlenmiştir. Pb ağır metaller içerisinde CO₂ solunumu üzerine daha fazla olumsuz etki göstermiş, Ni ise diğer metallere göre CO₂ solunumu üzerine en az seviyede olumsuz etki göstermiştir.

Farklı inkübasyon sürelerinde ve farklı dozlarda Cd, Ni ve Pb ağır metal uygulamasının toprakların enzim (üreaz, asit ve alkalın fosfotaz) aktiviteleri üzerine etkileri bakteri ve

mantar popülasyonlarına paralel olarak negatif yönde ortaya çıkmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki ağır metal çözeltilerinin tüm uygulamalarında üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri kontrol toprağına göre düşük bulunmuştur. Ağır metaller içerisinde Pb'nin 150 ppm dozunda en düşük seviyede üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri gözlemlenirken, Cd ağır metalinin 1 ppm dozunda kontrol toprağına göre düşük fakat ağır metal çözeltileri arasında en yüksek seviyede üreaz, asit ve alkalın fosfotaz enzim aktiviteleri gözlemlenmiştir. Ağır metaller içerisinde Pb; üreaz, ve asit fosfotaz enzim aktiviteleri üzerine, Ni ise alkalın fosfotaz enzim aktivitesi üzerine daha fazla olumsuz etki göstermiştir.

Yapılan araştırma sonucuna bağlı olarak;

- 1-** Ağır metal kirliliğine sebep olan sanayi atıklarının çevreye ve toprağına zararlarını azaltmak için arıtılması ve bilinçli kullanılması,
- 2-** Tarımsal üretimde kullanılan kimyasal gübrelere bulunan ağır metal miktarının makul seviyelere düşürülmesi ve gübre miktarı ve uygulama zamanının uygun belirlenmesi,
- 3-** Tarımsal faaliyetlerde kullanılan pestisit ve herbisitlerde bulunan ağır metal miktarının makul seviyeye düşürülmesi ve kullanımının bilinçli yapılması,
- 4-** Tarımsal faaliyetlerde kullanılan biyosolidler olarak adlandırılan her türlü atıkların içerisinde bulunan ağır metal miktarının makul seviyeye düşürülmesi, arıtma tesislerinde arıtılması ve sonrasında çevreye bırakılması,
- 5-** Ağır metal ihtiva eden evsel ve sanayi atıklarının arıtıldıktan sonra toprağına verilmesi ve çevreye bırakılması,
- 6-** Sanayileşmeye bağlı olarak gelişen metal ve madencilik faaliyetlerinin daha dikkatli ve özenle yapılması metal atıklarının arıtıldıktan sonra çevreye bırakılmaması,
- 7-** Sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerde fosil yakıtların kullanımının en aza indirilmesi, toprak ve çevre kirliliğine daha az sebep olan alternatif yakıtların araştırılması,

8- Dolayısı ile ekosisteme zarar verebilecek tüm uygulamaların ayrıntılı bir şekilde tespitlerinin yapılması ve bilinçli olarak kullanımı ile çevreye bırakılması toprak ekosistemi üzerine ağır metallerin tehditlerini azaltacaktır.



KAYNAKLAR

- Adriano, D.C., 2003. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, Springer, New York, NY, USA, 2nd edition.
- Anderson, J.P.E., 1982.. Soil Respiration. Soil Sampling and Methods of Analysis. Chapter 2. Chemical and Microbiological Properties. Am. Soc. Agron. Madison. Wisconsin USA. pp: 838-845.
- Anonim, 2013. Erzurum İli İklim Verileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Arhan, Y., 1986. About ECRA. Invironmental Management for Developing Countries. Preprints of the Third Symposium. İstanbul. Envitek. A.Ş. Ağustos 6–12.
- Aydın, A., ve Sezen, Y., 1995. Toprak kimyası laboratuar kitabı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları No:174. Erzurum.
- Basta, N.T., Gradwohl, R., 1998. Remediation of heavy metalcontaminated soil using rock phosphate. Better Crops, vol. 82, no. 4, pp. 29–31.
- Basta, N.T., Ryan, J.A., Chaney, R.L., 2005. Trace element chemistry in residual-treated soil: key concepts and metal bioavailability, Journal of Environmental Quality, 34: 1, pp. 49–63.
- Bjuhr, J., 2007. Trace Metals in Soils Irrigated with Waste Water in a Periurban Area Downstream Hanoi City, Vietnam, Seminar Paper, Institutionen f'or markvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala, Sweden.
- Campbell, P.G.C., 2006. Cadmium-A priority pollutant, Environmental Chemistry, 3: 6, pp. 387–388.
- Chaney, R.L., Oliver, D.P., 1996. Sources, potential adverse effects and remediation of agricultural soil contaminants. In Contaminants and the Soil Environments in the Australia-Pacific Region, R. Naidu, Ed., pp. 323–359, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Çolak, A.K., 1995. Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası. Çukurova Üni. Ziraat Fak. Ders Kitabı, No: 98. Adana.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yay. No:143. Erzurum.
- DeVolder, P.S., Brown, S.L., Hesterberg, D., Pandya, K., 2003. Metal bioavailability and speciation in a wetland tailings repository amended with biosolids compost, wood ash, and sulfate. Journal of Environmental Quality, 32: 3, pp. 851–864.
- DİE, Devlet İstatistik Enstitüsü, 2003. Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketinin Geçici Sonuçları. 14 Mayıs 2003 Ankara.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1997. Groundwater Prentice Hall. Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. U.S.A.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Practicle-size analysis. Methods of soil analysis Part I.Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. American Society of Agronomy. Soil Sci. Society of America-Madison. Wisconsin. USA. 383-409.
- Germida, J.J., 1993. Cultural methods for soil microorganisms. In:Martin RC. editor. Soil Sampling and Methods of Analysis. Boca Raton. FL. USA: Lewis Publishers. pp. 263–275.

- Goh, T., Boon., Arnaud, R.J.St., Mermut, A.R., 1993. Carbonaters. Chapter 20. Soil sampling and methods of analysis. Edited by: Martin R. Carter. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida. 177-185.
- GWRTAC, 1997. Remediation of metals-contaminated soils and groundwater. Tech. Rep. TE-97-01., GWRTAC, Pittsburgh, Pa, USA, GWRTAC-E Series.
- Hendershot, W.H., Lalonde, H., Duquette, M., 1993. Soil reaction and exchangeable acidity. Chapter 16. Soil Sampling and Methods of Analysis. Edited by: Martin R.Carter. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida. 141-145.
- Jones, L.H.P., Jarvis, S.C., 1981. The fate of heavy metals. In *The Chemistry of Soil Processes*, D. J. Green and M. H. B. Hayes, Eds., p. 593, JohnWiley & Sons, New York, NY, USA, 1981.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 2001. *Trace Metals in Soils and Plants*, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition.
- Kandeler, E., Murer, E., 1993. Aggregate stability and soil microbial processes in a soil with different cultivation. In: L. Brussard and M.J. Kooistra (eds). *Int. Workshop on Methods of Research on Soil Structure/Soil Biota Interrelationships*. Geoderma, 56, 503-513.
- Karaca, A., ve Turgay, O.C., 2012. Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 1(1):13-19.
- Keller, C., McGrath, S.P., Dunham, S.J., 2002. Trace metal leaching through a soil-grassland system after sewage sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 31: 5, pp. 1550–1560.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., Zhu, Y.G., 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152: 3, pp. 686–692.
- Khodadoust, A.P., Reddy, K.R., Maturi, K., 2004. Removal of nickel and phenanthrene from kaolin soil using different extractants. *Environmental Engineering Science*, 21: 6, pp. 691–704.
- Kızıloğlu, F.T., 1995. *Toprak Mikrobiyolojisi ve Biyokimyası*, Ata. Üni. Zir. Fak. Yay. No:180. Erzurum,
- Kızıloğlu, F.T., ve Bilen, S., 1997. *Toprak mikrobiyolojisi laboratuar uygulamaları*. Atatürk. Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:193. Atatürk Üni. Zir. Fak. Ofset Tes. Erzurum.
- Kirpichtchikova, T.A., Manceau, A., Spadini, L., Panfili, F., Marcus, M.A., Jacquet, T., 2006. Speciation and solubility of heavy metals in contaminated soil using X-ray microfluorescence, EXAFS spectroscopy, chemical extraction, and thermodynamic modeling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: 9, pp 2163–2190.
- Knudsen, D., Peterson, G.A., Pratt, P.F., 1982. Lithium. sodium and potasium. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America-Madison. Visconsin. USA. 225-245.
- Lanyon, L.E. and Heald, W.R., 1982. Magnesium. calcium. strontium and barium. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America-Madison. Visconsin. USA. 247-260.

- Lasat, M.M., 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *Journal of Hazardous Substances Research*, Volume 2, pp. 1–25.
- Ling, W., Shen, Q., Gao, Y., Gu, X., Yang, Z., 2007. Use of bentonite to control the release of copper from contaminated soils. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 8, pp. 618–623.
- Maslin, P., Maier, R.M., 2000. Rhamnolipid-enhanced mineralization of phenanthrene in organic-metal co-contaminated soils. *Bioremediation Journal*. 4: 4, pp 295-308.
- Mattigod, S.V., Page, A.L., 1983. Assessment of metal pollution in soil. In *Applied Environmental Geochemistry*, pp. 355–394, Academic Press, London, UK.
- Mc Gill, W.B., and Figueiredo, C.T.. 1993. Total nitrogen. Chapter 22. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Edited by: Martin R.Carter. Canadian Society of Soil Sci. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida. 201-211.
- McLaren, R.G., Clucas, L.M., Taylor, M.D., 2005. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge. 3. Distribution of residual metals. *Australian Journal of Soil Research*, 43: 2, pp 159–170.
- McLaren, R.G., Clucas, L.M., Taylor, M.D., Hendry, T., 2004. Leaching of macronutrients and metals from undisturbed soils treated with metal-spiked sewage sludge. 2. Leaching of metals. *Australian Journal of Soil Research*, 42: 4, pp 459–471.
- McLaughlin, M.J., Hamon, R.E., McLaren, R.G., Speir, T.W., Rogers, S.L., 2000b. Review: a bioavailability-based rationale for controlling metal and metalloid contamination of agricultural land in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Soil Research*, 38: 6, pp. 1037–1086.
- McLaughlin, M.J., Zarcinas, B.A., Stevens, D.P., Cook, N., 2000a. Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 11–14, pp. 1661–1700.
- MEB, 2013. Aşkale'nin tarihi. T.C. milli eğitim bakanlığı. Erzurum / Aşkale - Aşkale Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi. http://askalemtal.meb.k12.tr/tema/icerikler/askalenin-tarihi_288435.html
- Mertens, D., 2005. AOAC Official Method 975.03. Metal in Plants and Pet Foods. *Official Methods of Analysis*. 18th edn. Horwitz. W.. and G.W. Latimer. (Eds). Chapter 3. pp 3-4. AOAC-International Suite 500. 481. North Frederick Avenue. Gaithersburg. Maryland 20877-2417. USA
- Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition. American Society of Agronomy. Soil Sci. Society of Amerika-Madison. Wisconsin. USA. 403-427.
- Pourbaix, M., 1974. *Atlas of Electrochemical Equilibria*, Pergamon Press, New York, NY, USA, Translated from French by J.A. Franklin.
- Raskin, I., Ensley, B.D., 2000. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment*, JohnWiley & Sons, New York, NY, USA.
- Raven, PH., Berg, L.R., Johnson, G.B., 1998. *Environment*, Saunders College Publishing, New York, NY, USA, 2nd edition.
- Rhoades, J.D., 1982. Cation exchange capacity. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Second Edition American Soci. Of Argon. Soil Science Society of Amerika-Madison. Wisconsin. USA. 149-157.

- Rosen, C.J., 2002. Lead in the home garden and urban soil environment, Communication and Educational Technology Services, University of Minnesota Extension.
- Sağlam, T., 1994. Toprak ve suyun kimyasal analiz yöntemleri. Trakya Üni. Tekirdağ Ziraat Fak. Yay.. No:189.
- Sever, R., 2000. Aşkale Yöresinin Hidrografik Özellikleri ve Buna İlişkin Bazı Sorunlar. Doğu Coğrafya Dergisi. 6 (1). 187-199.
- Silveira, M.L A., Alleoni, R.L.F., Guilherme, L.R.G., 2003. Biosolids and heavy metals in soils. *Scientia Agricola*, 60: 4, pp 64–111.
- Smith, L.A., Means, J.L., Chen, A., 1995. Remedial Options for Metals-Contaminated Sites, Lewis Publishers, Boca Raton, Fla, USA., 1995.
- Sumner, M.E., 2000. Beneficial use of effluents, wastes and biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 11–14, pp. 1701–1715.
- Tabatabai, M.A., 1982. Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Chapter 43 Soil Enzymes. Second Edition. American Society of Agronomy, Soil Sci. Society of America-Madison, Wisconsin, USA. p: 903-947.
- Tiessen, H., and Moir, J.O., 1993. Total organic carbon. Chapter 21. Soil Sampling and Methods of Analysis. Edited by: Martin R. Carter. Canadian Soc. of Soil Science. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida. 187-199.
- TKKY, 2005. Toprak Kirlilik Kontrol Yönetmeliği. Çevre ve Orman Bakanlığı. Yönetmelik EK 1-A. 31 Mayıs 2005 Resmi Gazete.
- Türkoğlu, B., 2006. Toprak kirlenmesi ve kirlenmiş toprakların ıslahı. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- USDHHS, 1999. Toxicological profile for lead, United States Department of Health and Human Services, Atlanta, Ga, USA.
- USEPA, 1994. A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule. USEPA Rep. 832/R-93/003, USEPA, Washington, DC, USA.
- USEPA, 1996. Report: recent Developments for In Situ Treatment of Metals contaminated Soils, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- Ülgen, N. ve Yurtsever, N., 1995. Türkiye gübre ve gübreleme rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Yay., Genel Yayın No:209, Teknik Yayınlar No:209, Teknik Yayınlar No:T.66, Ankara.
- Ünal, H., Rasheed, M.A., 1972. Ankara Topraklarında Enzim Aktiviteleri ve Bunların Önemli Toprak Özellikleri ile İlişkileri. I. Üreaz, Sakkaraz ve Glikozidaz Aktiviteleri. Ankara Ü.Ziraat Fak. Yıllığı 21. Fasikül 3-4. 592-606.
- Wegglar, K., McLaughlin, M.J., Graham, R.D., 2004. Effect of Chloride in Soil Solution on the Plant Availability of Biosolid-Borne Cadmium. *Journal of Environmental Quality*, 33: 2, pp. 496–504.
- Wuana, A.R., Okieimen, F.E., 2011. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources. Chemistry. Risks and Best Available Strategies for Remediation. International Scholarly Research Network ISRN Ecology. Article ID 402647.
- Yıldız, N., ve Bircan, H., 1991. Araştırma ve deneme metotları. Atatürk Üniv. Yay.. No:697. Zira. Fak. Yay. No:305. Ders Kitapları Serisi No:57. Erzurum.
- Zhang, M.K., Liu, Z.Y., Wang, H., 2010. Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 41: 7, pp. 820–831.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Oltu/Erzurum'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum/Oltu'da, lise öğreniminide Trabzon'da tamamladıktan sonra, 2010 yılında Artvin Çoruh Üniversitesi Önlisans İşletme Bölümünü bitirip, aynı yıl Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. Aynı bölümden 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bitki Besleme ve Toprak Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.

