

TOPRAK KİRLİLİĞİ

Editörler

Ali Volkan BİLGİLİ

Ayten NAMLI

Erhan AKÇA



© Copyright 2025

Bu kitabın, basım, yayın ve satış hakları Akademisyen Kitabevi A.Ş.'ne aittir. Anılan kuruluşun izni alınmadan kitabın tümü ya da bölümleri mekanik, elektronik, fotokopi, manyetik kağıt ve/veya başka yöntemlerle çoğaltılamaz, basılamaz, dağıtılamaz. Tablo, şekil ve grafikler izin alınmadan, ticari amaçlı kullanılamaz. Bu kitap T.C. Kültür Bakanlığı bandrolü ile satılmaktadır.

ISBN
978-625-375-739-7

Sayfa ve Kapak Tasarımı
Akademisyen Dizgi Ünitesi

Kitap Adı
Toprak Kirliliği

Yayıncı Sertifika No
47518

Editörler
Ali Volkan BİLGİLİ
ORCID iD: 0000-0002-4727-8283
Ayten NAMLI
ORCID iD: 0000-0003-1913-2751

Baskı ve Cilt
Vadi Matbaacılık

Bisac Code
SCI098000

Erhan AKÇA
ORCID iD: 0000-0001-8988-4196

DOI
10.37609/akya.3880

Yayın Koordinatörü
Yasin DİLMEN

Kütüphane Kimlik Kartı

Toprak Kirliliği / ed. Ali Volkan Bilgili, Ayten Namlı, Erhan Akça.

Ankara : Akademisyen Yayınevi Kitabevi, 2025.

488 s. : şekil, tablo. ; 195x275 mm.

Kaynakça ve İndeks var.

ISBN 9786253757397

GENEL DAĞITIM
Akademisyen Kitabevi A.Ş.

Halk Sokak 5 / A Yenışehir / Ankara

Tel: 0312 431 16 33

siparis@akademisyen.com

www.akademisyen.com

ÖNSÖZ

Dünya genelinde insan faaliyetlerinin etkisiyle toprak kirliliği, önemli bir çevre sorunu hâline gelmiş; yalnızca ekosistem sağlığını tehdit etmekle kalmayıp, gıda kalitesi ve güvenliği üzerinde de doğrudan etkiler oluşturmaktadır. 2015 Dünya Toprak Kaynakları Durum Raporu ve 2016 yılında FAO Konseyi tarafından onaylanan Sürdürülebilir Toprak Yönetimi Üzerine Gönüllü Yönergeler, bu kirliliği toprak sağlığı için küresel çapta en büyük on tehditten biri olarak listelemiştir.

Tarım sektörü, toprak kirliliğine hem katkı sağlayan hem de bu kirlilikten doğrudan etkilenen bir alandır. Tarım ve hayvancılık faaliyetleri, toprak ve su yönetimi uygulamalarıyla birlikte, sentetik gübreler ve pestisitlerin toprağa girmesine yol açmaktadır. Bu kimyasallar, toprağın kimyasını değiştirerek bitki beslenmesini bozar, faydalı mikroorganizmaların azalmasına neden olur ve pH seviyesini değiştirerek verimliliği düşürür. Böylece gıda güvenliği ve biyolojik çeşitlilik üzerinde olumsuz etkiler ortaya çıkarken, toksik bileşiklerin insan gıda zincirine girmesi riski de artar.

Toprak kirliliği, kimyasal konsantrasyonların doğal seviyelerin üzerine çıkması ve hedef dışı organizmalar ile ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaları durumunu ifade eder. Kirleticiler; tarımsal girdiler, atmosferik birikim, sel ve sulama suları, kazara dökülmeler, uygunsuz atık bertarafı ve endüstriyel faaliyetler gibi çeşitli kaynaklardan toprağa girebilir. Görünmez doğası nedeniyle, toprak kirliliği uzun yıllar fark edilmeden kalabilir; bu da kirleticilerin birikerek gıda sistemlerine geçmesine ve çevre ile insan sağlığı üzerindeki etkilerinin artmasına yol açar.

Toprak, kirleticileri uzun süre depolayabilen bir ortam olarak işlev görür. Bu kirleticiler, organik madde ve kil gibi reaktif bileşenlerle etkileşime girerek yıllarca toprakta kalabilir. Ancak zamanla kimyasal veya fiziksel yapıları değişebilir ve havaya ya da suya yeniden salınabilir. Bu durumda toprak, çevresel kirliliğin ikincil bir kaynağı hâline gelir.

Günümüzün en önemli çevresel sorunlarından biri olarak öne çıkan toprak kirliliği; yalnızca çevresel değil, ekonomik ve toplumsal sonuçlarıyla da dikkat çekmektedir. Artan nüfus ve kentleşmeyle birlikte tarım alanlarına olan baskı her geçen gün artmakta, bu da toprağın doğal yapısını ve işlevselliğini tehdit etmektedir. Kirlenmiş topraklar, yalnızca gıda üretim kapasitesini azaltmakla kalmaz; aynı zamanda su kaynaklarının kirlenmesine, toprak ekosistemlerinin bozulmasına ve insan sağlığının doğrudan tehlikeye girmesine neden olur.

Toprak kirliliği, görünmez bir tehdit olarak toprakların temel fonksiyonlarını zayıflatmakta; gıda güvenliği, su kalitesi, biyolojik çeşitlilik ve halk sağlığı üzerinde zincirleme etkiler yaratmaktadır. Sorunun küresel düzeyde yaygınlığı ve farklı bölgelerde değişen etkileri, toprak kirliliğini yalnızca yerel değil, bütüncül bir çevresel kriz olarak ele almayı zorunlu kılmaktadır.

Toprak kirliliğinin ele alınması, yalnızca toprak sağlığını ve tarımsal verimliliği korumak için değil, aynı zamanda ekolojik bütünlüğü ve kamu sağlığını güvence altına almak için de hayati öneme sahiptir.

Bu kitap, ülkemizde üniversitelerde ve ilgili eğitim kurumlarında toprak kirliliği konusunda farkındalığı artırmak, aynı zamanda bu alandaki kaynak eksikliğini gidermek amacıyla bir ders kitabı ve başvuru kaynağı olarak hazırlanmıştır. Toplam yirmi bir bölümden oluşan bu kapsamlı eser, hem temel kavramsal bilgileri hem de güncel bilimsel gelişmeleri içermektedir.

Kitabın ilk bölümlerinde toprak kirliliğine ilişkin genel kavramlar, doğal ve antropojenik kökenli kirlenme süreçleri ele alınmakta; sonraki bölümlerde ise ağır metaller, radyonüklitler, petrol türevleri, pestisitler ve yeni nesil kirleticiler gibi farklı kirleticiler grupları ayrıntılı biçimde incelenmektedir. Ayrıca tarımsal faaliyetler, erozyon, biyolojik çeşitlilik kaybı, atık yönetimi ve ıslah teknikleri gibi konular da çok yönlü bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Son bölümlerde ise yasal düzenlemeler, çevresel risk değerlendirmeleri ve bitkilerde görülen fizyolojik ve moleküler etkiler ele alınarak, toprak kirliliği olgusuna bütüncül bir yaklaşım sunulmaktadır. Böylece bu kitap, toprak kirliliğini yalnızca çevresel bir sorun olarak değil, toprak ve ekosistem sağlığı, gıda güvenliği ve sürdürülebilir kalkınma bağlamında ele alan kapsamlı bir kaynak olma özelliği taşımaktadır.

Prof. Dr. Ali Volkan BİLGİLİ

Prof. Dr. Ayten NAMLI

Prof. Dr. Erhan AKÇA

İÇİNDEKİLER

Bölüm 1	Toprak ve Toprak Kirliliği.....	1
	<i>Ali Volkan BİLGİLİ, Cafer TÜRKMEN, Yüstra İNCİ, Güzel YILMAZ</i>	
Bölüm 2	Türkiye ve Küresel Ölçekte Toprak Kirliliği.....	31
	<i>Erhan AKÇA, Ayten NAMLI, Muhittin Onur AKÇA</i>	
Bölüm 3	Doğal Kaynaklı Toprak Kirliliği	47
	<i>Zekeriya KARA, Kadir SALTALI, Alper DURAK</i>	
Bölüm 4	Antropojenik Toprak Kirlilik Kaynakları Kentleşme, Sanayi ve Tarım Kökenli Toprak Kirliliği.....	57
	<i>Ayşegül DEMİR YETİŞ, Hatice KARA, Fadime YETİŞ, Ayşin BİLGİLİ</i>	
Bölüm 5	Ağır Metallerin Topraklardaki Değişim ve Dönüşümü.....	77
	<i>Veli UYGUR</i>	
Bölüm 6	Toprakların Tuzluluk, Alkalilik ve Asitliğinden Kaynaklı Kirliliği	117
	<i>Mehmet Ali ÇULLU, Kadir SALTALI</i>	
Bölüm 7	Radyonüklitler ve Toprak Kirliliği	139
	<i>Sultan ŞAHİN BAL, Kenan BULCAR, Mustafa TOPAKSU</i>	
Bölüm 8	Petrol ve Petrol Türevleri ve Toprak Kirliliği	171
	<i>Hatice KARA</i>	
Bölüm 9	Ağır Metaller ve Toprak Kirliliği	193
	<i>Nur OKUR</i>	
Bölüm 10	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)'lar ve Toprak Kirliliği	209
	<i>Rıdvan KIZILKAYA</i>	
Bölüm 11	Yeni Nesil Toprak Kirleticiler: Kapsam, Etki ve Müdahale.....	235
	<i>Muhittin Onur AKÇA, Ezgi KÜÇÜKEL, Oğuz Can TURGAY, Ayten NAMLI</i>	
Bölüm 12	Tarla Tarımı ve Toprak Kirliliği	263
	<i>Gökhan BÜYÜK, K. Mesut ÇİMRİN</i>	
Bölüm 13	Toprak Kirliliği ve Bahçe Tarımı	283
	<i>Ceren Ayşe BAYRAM, Gökhan BÜYÜK, Tuğba ŞİMŞEK, Nilgün KALKANCI</i>	

Bölüm 14	Toprak Erozyonu ve Kirlilik.....	293
	<i>Günay ERPUL Selen DEVİREN SAYGIN, Sema KAPLAN</i>	
Bölüm 15	Toprak Kirliliği ve Biyolojik eřitlilik	311
	<i>Noyan EKEN, Nur KO KOYUN, Yiğiter Rahim TOPBAŞ,</i> <i>Işın NARLIOğLU, Muhammad ANAS, Erdoğan Eşref HAKKI</i>	
Bölüm 16	Atık Yönetimi ve Toprak Kirliliği.....	357
	<i>Recep YETİŞ, Hatice KARA, Ayşegöl DEMİR YETİŞ</i>	
Bölüm 17	Toprak Kirliliğini Belirlemede Kullanılan Yöntemler	383
	<i>İbrahim Halil YANARDAĞ, Asuman BÜYÜKKILIÇ YANARDAĞ, Salih AYDEMİR</i>	
Bölüm 18	Toprak Kirliliğinin evresel Risk Değerlendirmesi ve İyileştirme (İslah) Teknikleri.....	411
	<i>Ayten NAMLI, Oğuz Can TURGAY, Sema CAMCI ÇETİN, Muhittin Onur AKÇA</i>	
Bölüm 19	Toprak Kirliliği Konusunda Ulusal ve Uluslararası Yasalar, Eylem Planları.....	427
	<i>İbrahim YENİGÜN</i>	
Bölüm 20	Toprak Kirliliğinin Bitkide Fizyolojik, Biyokimyasal ve Moleküler Etkileri.....	445
	<i>Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ, Ferhat UğURLAR, Murat. DİKİLİTAŞ</i>	
Bölüm 21	Biyolojik Kirlilik Kaynakları (Tokpa) “Toprak Kökenli Patojenler”	461
	<i>Ayşin BİLGİLİ</i>	

YAZARLAR

Prof. Dr. Erhan AKÇA

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek
Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü

Doç. Dr. Muhittin Onur AKÇA

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü,
Toprak Bilimi A.D.

Dr. Muhammad ANAS

Quaid-i-Azam Üniversitesi, Biyolojik Bilimler
Fakültesi, Bitki Bilimleri Bölümü

Salih AYDEMİR

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü

Prof. Dr. Sultan ŞAHİN BAL

Bitlis Eren Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik
Bölümü, Nükleer Fizik A.D.

Dr. Öğr. Üyesi Ceren Ayşe BAYRAM

Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu,
Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü

Prof. Dr. Ali Volkan BİLGİLİ

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü

Dr. Ayşin BİLGİLİ

GAP, Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki
Sağlığı Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi Kenan BULCAR

Iğdır Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek
Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü

Prof. Dr. Gökhan BÜYÜK

Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki
Koruma Bölümü, Bitki Koruma A.D.

Prof. Dr. Sema CAMCI ÇETİN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Prof. Dr. K. Mesut ÇİMRİN

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bitki
Besleme A.D.

Prof. Dr. Mehmet Ali ÇULLU

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme

Prof. Dr. Murat DİKİLİTAŞ

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma
Bölümü, Fitopatoloji A.D.

Doç. Dr. Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü

Prof. Dr. Alper DURAK

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi,
Bahçe Bitkileri Bölümü, Sebze Yetiştirme ve Islahı
A.D.

Öğr. Gör. Dr. Noyan EKEN

Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu,
Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü

Prof. Dr. Günay ERPUL

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü,
Toprak Bilimi A.D.

Prof. Dr. Erdoğan Eşref HAKKI

Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve
Bitki Besleme Bölümü, Bitki Beslenme A.D.

Nilgün KALKANCI

Ziraat Yüksek Mühendisi, Antepfıstığı Araştırma
Enstitüsü Toprak Su Kaynakları Lab.

Dr. Öğr. Üyesi Sema KAPLAN

Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi
ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki
Besleme A.D.

Dr. Hatice KARA

GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Doç. Dr. Zekeriya KARA

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Prof. Dr. Rıdvan KIZILKAYA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D.

Dr. Öğr. Üyesi Nur KOÇ KOYUN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çayır Mera ve Yem Bitkileri A.D.

Arş. Gör Ezgi KÜÇÜKEL

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D.

Prof. Dr. Ayten NAMLI

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D.

Işın NARLIOĞLU

Yüksek Ziraat Mühendisi, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

Prof. Dr. Nur OKUR

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D.

Prof. Dr. Kadir SALTALI

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Doç. Dr. Selen DEVİREN SAYGIN

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D.

Tuğba ŞİMŞEK

Ziraat Yüksek Mühendisi, Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Toprak Su Kaynakları Lab.

Prof. Dr. Mustafa TOPAKSU

Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik A.D.

Yiğiter Rahim TOPBAŞ

Yüksek Ziraat Mühendisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D.,

Prof. Dr. Oğuz Can TURGAY

Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D.

Prof. Dr. Cafer TÜRKMEN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Dr. Ferhat UĞURLAR

Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Prof. Dr. Veli UYGUR

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme

Asuman BÜYÜKKILIÇ YANARDAĞ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil YANARDAĞ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü

Doç. Dr. İbrahim YENİGÜN

Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü

Fadime YETİŞ

Ziraat Yüksek Mühendisi, Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Doç. Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ

Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü

Öğr. Gör. Recep YETİŞ

Bitlis Eren Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü

Prof. Dr. Güzel YILMAZ

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

TOPRAK VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Ali Volkan BİLGİLİ¹, Cafer TÜRKMEN², Yüstra İNCİ³, Güzel YILMAZ⁴

GİRİŞ

Toprak; insan gıdası, hayvan yemi, lif ve yakıtın yaklaşık % 90'ının üretiminde temel oluşturur. Toprak aynı zamanda üretim dışında birçok ekosistem hizmeti de sağlar. Küresel ölçekte toprak; yerleşim yeri kurulması, altyapı inşası, rekreasyon alanları ve atıkların bertarafı gibi işlevlerle mekân olarak bir zemin sunarken, doğal peyzajın ve kültürel mirasın korunmasında kilit rol oynar. Ancak toprak sınırlı ve yenilenemez bir kaynak olup, zarar gördüğünde veya kaybında kolayca geri kazanılamaz.

Toprak, biyosfer, atmosfer ve hidrosfer arasında bir tür ara katman fonksiyonuyla su ve atmosfer kalitesini de doğrudan etkileyerek insan ve hayvan sağlığı üzerinde çok önemli rol oynar. Yerel, bölgesel ve küresel düzeyde çevresel kalitenin korunmasında temel bir unsur olarak kabul edilir. Örneğin, tamponlama kapasitesi sayesinde kirleticileri tutarak su kalitesinin korunmasına katkıda bulunur ve kirliliğin diğer çevresel bileşenler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilir. Tüm bu nedenlerle toprak hayati bir kaynak olarak görülür ve oluşumunun çok yavaş gerçekleşmesi nedeniyle yenilenemez olarak değerlendirilir. Ayrıca ekonomik ve kültürel faaliyetler üzerinde de önemli etkileri vardır (Cachada, Rocha-Santos & Duarte, 2018).

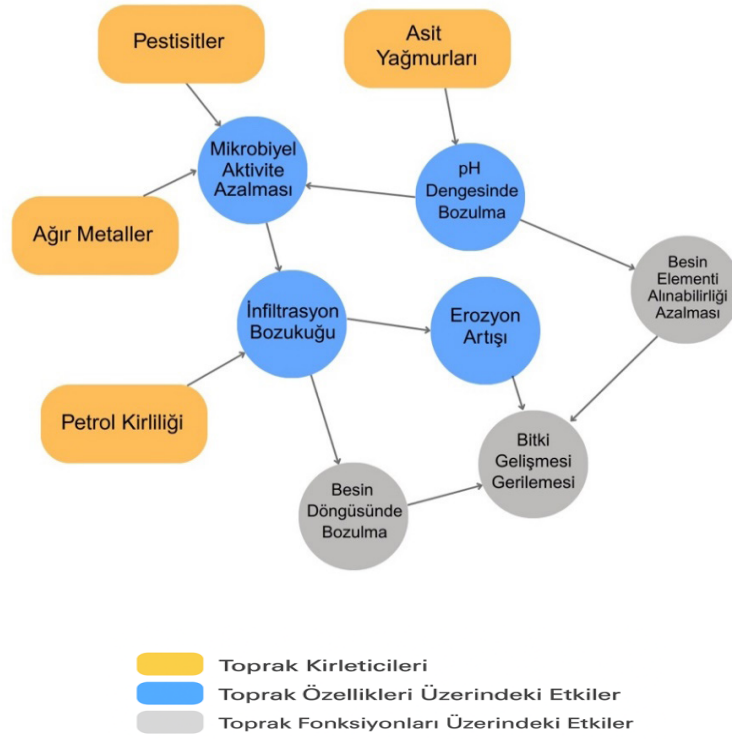
Toprak kirliliği, toprak bozulmasının temel faktörlerinden biridir. Toprakta normalden daha yüksek yoğunlukta bulunan, yerinde oluşmamış doğal olmayan kimyasalların veya maddelerin varlığını ifade eder. Bu tür maddeler, hedef organizmalar dışındaki canlılar üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır, bu yüzden de toprak kirliliği genellikle gözle doğrudan algılanamayan “gizli tehlike” olarak adlandırılan

¹ Prof. Dr. Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, vbilgili@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-4727-8283

² Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, turkmen@comu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0707-5908

³ Öğr. Gör. Dr., Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, inci@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-9740-0013

⁴ Prof. Dr. Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, gyilmaz@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-5239-226X



Şekil 10. Farklı kirlilik türlerinin toprak fonksiyonlarına etkileri

Toprak ekosisteminin, toprak sağlığının en belirgin özelliklerinden solucanlarla yapılan bir dizi araştırmada "(Türkmen," şeklinde başlamalı iç parantezler düzenlenmeli ve "Kavdır, 2019)." solucanların toprağa karıştırılan farklı organik materyallere yönelimlerinin farklı olduğunu, bunun 2D (two dimensions) sistemde gezindikleri/yönelindikleri galeri alanlarındaki farklılıklardan anlaşılabilirdi, toprağa karıştırılan farklı materyallerin ve bu materyallerin farklı dozlarının solucanların yönelimlerinde farklı sonuçlara neden olabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında kullandıkları 2D cam düzenek metoduyla solucanların ne tür materyalleri sevip/sevmediği ve herhangi bir toprakta solucanları uzaklaştıracak kadar kirlilik olup olmadığının birkaç günlük sürede test edilebileceğini bildirmişlerdir. Bu metotla son yıllarda önemi artan sürdürülebilir toprak kalitesi, toprak kirliliği, toprak verimliliği ve toprak ekolojisi çalışmalarının yapılabileceğini belirten araştırmacılar, aynı zamanda pahalı altyapı ve cihazlara gerek kalmadan toprak parametreleri hakkında olumlu-olumsuz veya iyi-kötü şeklinde yorumlar yapılabileceğini, doğaya hiçbir zararlı atık salınmadan yapılan bu ölçümlerden sonra solucanların tekrar doğaya bırakılabileceklerini belirtmişlerdir (Türkmen ve Müftüoğlu, 2023).

KAYNAKLAR

- Biswas, B., Qi, F., Bismas, J.K., Wijayawardena, A., Khan, M.A.I., Ravi, N. (2018). The Fate of Chemical Pollutants with Soil Properties and Processes in the Climate Change Paradigm—A Review. *Soil Systems*. 2. 1-20. 10.3390/soilsystems2030051.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. 12th Edition, Prentice Hall Publishers, London, 1-9, 453-536, 727, 739-740.
- Cachada, A., Rocha-Santos, T & Duarte, A.C. (2018). "Soil and Pollution: An Introduction to the Main Issues" in Armando C. Duarte, Anabela Cachada, Teresa Rocha-Santos (Editörler), *SOIL POLLUTION From Monitoring to Remediation* içinde (s.1-28). London, United Kingdom. Academic Press.

- Commission of the European Communities (CEC) 2006. Thematic Strategy for Soil Protection. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM 231 Final, Brussels.
- CCICED (2015). China Council For International Cooperation On Environment and Development Policy Research Report On Environment and Development. 22.09.2025 tarihinde <http://www.cciced.net/ccicedPhoneEN/PolicyResearch/research/201702/P020170210474336603784.pdf> adresinden ulaşılmıştır.
- Chapman, P.M. (2007). Determining when contamination is pollution — Weight of evidence determinations for sediments and effluents, *Environment International*, 33, 4, 492-501, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.09.001>.
- Cornell University Cooperative Extension (CUCE) (2007). Cation Exchange Capacity (CEC). Agronomy Fact Sheet Series # 22. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. 21.09.2025 tarihinde <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet22.pdf> adresinden ulaşılmıştır.
- European Environment Agency (EEA) (2014). *Progress in the management of contaminated sites in Europe*. EEA Report No 20/2014. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Mengel, D.B. (2025). Fundamentals of Soil Cation Exchange Capacity (CEC). 21.09.2025 tarihinde <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ay/ay-238.html> adresinden ulaşılmıştır.
- Moore, G., Dolling, P., Porter, B. & Leonard, L. (1998). Soil Acidity. In *Soilguide. A handbook for understanding and managing agricultural soils*. (Ed. G Moore) Agriculture Western Australia Bulletin No. 4343.
- Dring, E. (2021). Influence of soil texture on pollutants. 21.09.2025 tarihinde <https://www.authenticae.co.uk/post/influence-of-soil-texture-on-pollutants> adresinden ulaşılmıştır.
- Durães, N., Novo, L.A.B., Candeias, C., da Silva, E.F. (2018). “Distribution, Transport and Fate of Pollutants” in Armando C. Duarte, Anabela Cachada, Teresa Rocha-Santos (Editörler), *SOIL POLLUTION From Monitoring to Remediation içinde* (s.29-57). London, United Kingdom. Academic Press.
- EPA (2017). 22.09.2025 tarihinde <https://www.epa.gov/superfund/superfund-national-priorities-list-npl> sitesinden ulaşılmıştır.
- FAO & ITPS (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. (also available at <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>).
- Fergusson, L. (2017). Anthrosols and technosols: The anthropogenic signature of contaminated soils and sediments in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 28, 269.
- Gans, J., Wolinsky, M. & Dunbar, J. (2005). Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil, *Science* 309 (5739), pp. 1387-1390 (<https://doi.org/10.1126/science.1112665>).
- Ibrahim A. Mirsal, I.A. (2008). *Soil Pollution, Origin, Monitoring & Remediation*. Second edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg ISBN: 978-3-540-70775-2
- Kragh, H. (2005). SPL Sørensen, the pH concept and its early history. *Found Chem* 27, 237–261. <https://doi.org/10.1007/s10698-025-09532-6>
- Kozlovskiy, F.I. (1972). Structural functions and migrational landscape geochemical processes (translation). *Pochvovedeniye* 4:122–138
- Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R. ve ark. (2017). The *Lancet* Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391, 10119, 462 – 512.
- Loganathan, P. (1987). Soil Quality Considerations In The Selection Of Sites For Aquaculture. United Nations Development Programme Food And Agriculture Organization Of The United Nations Nigerian Institute For Oceanography And Marine Research Project Raf/82/009. (21.09.2025 tarihinde <https://www.fao.org/4/ac172e/AC172E00.htm#TOC> adresinden ulaşılmıştır.
- Ono, K., Yasutaka, T., Hayashi, T.I., Kamo, M., Iwasaki, Y., Nakamori, T., Fujii, Y., & Kamitani, T. (2019) Model construction for estimating potential vulnerability of Japanese soils to cadmium pollution based on intact soil properties. *PLoS ONE* 14(6): e0218377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218377>.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T., Sombroek, W.G. (1990). World map on status of human-induced soil degradation. International soil reference and information centre (ISRIC).
- Oldeman, L.R. (1991). Global Extent of Soil Degradation. *ISRIC Bi-Annual Report 1991-1992*, pp. 19-36.
- Panagos, P., Van Liedekerke, M., Yigini, Y., Montanarella, L. (2013). Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network. *J Environ Public Health*. 2013;2013:158764. doi: 10.1155/2013/158764. Epub 2013 Jun 16. PMID: 23843802; PMCID: PMC3697397.
- Paya Perez, A. & Rodriguez Eugenio, N. (2018). Status of local soil contamination in Europe: revision of the indicator 'Progress in the management of contaminated sites in Europe', JRC Technical Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Phogat, V.K., Tomar, V.S. & Dahiya, R. (2015). Soil Physical Properties. In book: *Soil Science: An Introduction* (pp.135-171) Editors: Rattan R.K., Katyal J.C., Dwivedi B.S., Sarkar A.K., Bhattachatyaa Tapan, Tarafdar J.C., Kukal S.S. Edition: First. Publisher: Indian Society of Soil Science.
- Rengasamy, P. & Churchman, G.J. (1999). Cation Exchange Capacity, Exchangeable Cations and Sodidity. In *Soil Analysis an Interpretation Manual*. (Eds KI Peverill, LA Sparrow and DJ Reuter). CSIRO: Melbourne.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. and Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO. 142 pp.

- Tratnik, J.S., Kocman, D., Horvat, M., Andersson, A.M., Juul, A., Jacobsen, E.,...& Govarts, E. (2022). Cadmium exposure in adults across Europe: Results from the HBM4EU Aligned Studies survey 2014–2020, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 246, 114050, ISSN 1438-4639, <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114050>.
- Türkmen, C., & Gasıмова, H. (2000). Aşşeron yarımadasının petrol ile kirlenmiş boz-konur solonçak topraklarında aktinomisetlerin dağılımı. “ XV. Ulusal Biyoloji Kongresi, A.Ü. Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Turkey. Kongre kitabı, cilt;1, pp. 163-171.
- Türkmen, C., Temel, E., Çatal, G., Sinecen, M., Mısırlıoğlu, M. (2013). Bazı atık ve toprak düzenleyicilerin toprakta solucan davranışlarına etkisi. *Çanakkale Onsekiz Mart Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1 (1): 79-86.
- Türkmen, C., Şahin, E., Dardeniz, A., Müftüoğlu, N. M. (2018). Toprağa karıştırılan asma budama atıkları kompostu ve çay çöğü kompostunun *Eisenia fetida* ve *Octodrilus transpadanus* (Annelida-Clitellata) topraksolucanı yönelimlerine etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5 (3), 273-279.
- Türkmen, C., İlay, R., Aslantekin, N., Kavdir, Y. (2019). Toprağa karıştırılan pirina kompostu ve arıtma çamurunun mikrobiyal popülasyona ve solucan (*Eisenia fetida* L.) davranışlarına etkisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 7 (2), 92-98.
- Türkmen, C., Müftüoğlu, N. M. (2023). “Çanakkale’de Vermikompost Üretimi, Vermikompostun Bitki Verimine ve Toprak Ekosistemine Katkıları,” In Çanakkale’nin Stratejik Sektörü Tarım-2, Çanakkale: Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd., 2023, pp.71-106.
- Yaron, B., Calvet, R & Prost, R. (1996). *Soil Pollution: Processes and Dynamics*, 313 pp. Heidelberg: Springer-Verlag (1996). DM198.00 (hardback). ISBN 3 540 60927 X.
- Soilquality.org.au (2025). Soil Quality Fact Sheets 21.09.2025 tarihinde <https://www.soilquality.org.au/factsheets/cation-exchange-capacity> adresinden ulaşılmıştır.
- The UKSO (2025). Cation Exchange Capacity. 21.09.2025 tarihinde <https://www.ukso.org/agri-pocs/cation-exchange-capacity.html> adresinden ulaşılmıştır.

TÜRKİYE VE KÜRESEL ÖLÇEKTE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Erhan AKÇA¹, Ayten NAMLI², Muhittin Onur AKÇA³

GİRİŞ

Tüm canlılar yaşamını sürdürmek için enerji almaları gerekmektedir. Bu enerjinin ana kaynakları başta güneş olmak üzere hava, su ve topraktır. Bitkiler güneş ışığı ve atmosferdeki karbondioksiti ve topraktaki suyu kullanarak fotosentezle besinlerini sağlarlar. Tüketiciler ise bitkileri ve diğer canlıları enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. En son aşamada ise ayrıştırıcılar, ölü veya atık organik maddelerden enerji elde eden organizmalardır, döngüdeki son aşamada yer alırlar. Besin zinciri olarak tanımlanan bu süreçte ister bitki olsun ister hayvan birbirine bağlıdır ve zincirdeki herhangi bir olumsuzluk tüm zinciri bozma potansiyeline sahiptir. Besin zinciri küresel ölçekte etkili olan iklim değişikliği, çölleşme ve arazi bozunumu ile biyoçeşitlilik kaybı nedeniyle ciddi tehdit altındadır. Toprak, hava ve su kirliliği anılan her üç küresel tehdidin neden olduğu bir olgudur. Hâlihazırda dünya nüfusunun %92'si sağlıklı olmayan havayı solumakta (World Economic Forum, 2016), atık suların %44'ü işlem görmeden doğaya bırakılmakta ve yıllık 2,3 milyar ton endüstriyel kimyasalların küresel üretiminin 2030 yılına kadar %85 oranında artması ile toprakların daha da kirleneceği öngörülmektedir (Filipenco²⁰²²).

Toprak kirliliği söz konusu olduğunda akla ilk gelenler ağır metaller olmasına karşın normal düzeylerde yararlı olan ancak eşik sınırını geçtikten sonra çevreye ve dolayısıyla insan sağlığına zarar veren element ve bileşiklerde dikkate alınmalıdır. Örneğin tarım topraklarında fosfor 120 mg kg⁻¹ değerini aşarsa toksik etkiye yol açabilmektedir (Ohio State University, 2024). Bunlara ek olarak ayrı bir toprak sorunu olarak tanımlanan toprak tuzluluğu ve alkalileşme de (yüksek sodyum) toprak kirliliği olarak kabul edilebilir. Bu kirleticilere ek olarak 20. yy'da ilk kez 1907 yılında bakalit üretimiyle başlayan ve 2019 itibarı ile yıllık üretimi 460 milyon tona yükselen plastik materyallerden kaynaklı kirlenmedir (Geyer, 2020). Özellikle mikro plastik kirliliği (~20 µm çapında olan materyal) suları ve toprağı son yıllarda yüksek düzeyde tehdit etmektedir (Thompson & ark., 2024).

1 Prof. Dr., Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, eakca@adiyaman.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-8988-4196

2 Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D. namli@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-1913-2751

3 Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., moakca@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4540-9371

KAYNAKLAR

- Akça E, Özbal R, Kadir S, et al. A petrographic study of selected soils/sediments from sixth millennium BCE levels of the Tell Kurdu site: a contribution to the definition of Technosols. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2020; 12, 1-8.
- Arroyo-Kalin M. Slash-burn-and-churn: Landscape history and crop cultivation in pre-Columbian Amazonia. *Quaternary International*, 2012; 249, 4-18.
- Asare MO & Afriye JO. Ancient mining and metallurgy as the origin of Cu, Ag, Pb, Hg, and Zn contamination in soils: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2021; 232(6), 240.
- Bourne JK. Eating the earth. *Science*, 2024; 386(6725): 956-967
- Cachada A, Rocha-Santos T & Duarte AC (2018). Soil and pollution: an introduction to the main issues. In *Soil Pollution* (pp. 1-28). Academic Press.
- Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü (2023). *Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Balkanlığı Yayın No 57*, Ankara.
- FAO & UNEP (2021). *Global assessment of soil pollution*. Report, Rome. (22/06/2023 tarihinde <https://doi.org/10.4060/cb4894en> adresinden ulaşılmıştır)
- FAO (2018). Global Soil Pollution Symposium, Outcome Document. 2-4 May 2018, FAO Headquarters, Rome. (26/04/2020 tarihinde <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d535b50b-58f3-4870-85d8-aa5e90ee5803/content> adresinden ulaşılmıştır)
- Gailhard N. The exchanges of copper in the Ancient Middle East. *Journal of Ancient Civilizations*, 2008; 23, 75-98.
- Gezgin S, Dursun N, Hamurcu M. et al. Boron content of cultivated soils in Central-Southern Anatolia and its relationship with soil properties and irrigation water quality. *Boron in Plant and Animal Nutrition*, 2002; 391-400.
- Karachaliou T, Protonotarios V, Kaliampakos D, et al. Using risk assessment and management approaches to develop cost-effective and sustainable mine waste management strategies. *Recycling*, 016; 1(3), 328-342.
- Liu X, Sathishkumar K, Zhang H, et al. Frontiers in environmental cleanup: Recent advances in remediation of emerging pollutants from soil and water. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2024;100461.
- Loos-Frank B & Grecis RK. Parasitic worms. *The Biology of Parasites*, 2016; 182.
- Luo J, Han Y, Zhao Y. et al. Effect of northern boreal forest fires on PAH fluctuations across the arctic. *Environmental Pollution*, 2020; 261, 114186.
- Mishra RK, Mohammad N & Roychoudhury N. Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan*, 2016; 3(1), 1-14.
- Monga Y, Sharma S, Singh S, et al. Biochar, clay, zeolites, and microorganism-based methods for remediation of heavy metals. *Current Green Chemistry*, 2024; 11(1), 2-11.
- Nepiz (2025). *Nitrat Eylem Planları İzleme ve Raporlama Metodolojisinin Kurulması Yoluyla Suların Tarımsal Kirliliğe Karşı Korunması Projesi-NEPİZ Çevre ve İklim Sektörel Operasyonel Programı (ÇİSOP)* (2024 tarihinde <https://www.nepiz.com/tr/blog/nitrata-hassas-bolgeler-3> adresinden ulaşılmıştır).
- Özçelik M. Environmental and social impacts of the increasing number of geothermal power plants (Büyük Menderes Graben—Turkey). *Environmental Science and Pollution Research*, 2022; 29(11), 15526-15538.
- Pure Earth (2025). *Toxic Sites Identification Program*. 21.08.2024 Tarihinde <https://www.pureearth.org/our-projects/toxic-site-identification-program-tsip/> adresinden ulaşılmıştır).
- Resmî Gazete (2016). Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ile Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliğine Karşı Suların Korunması Yönetmeliği. Sayı: 29779
- ÇEDİD GM (2025). *Çevresel Göstergeler*. (12.04.2024 Tarihinde <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/kimyevi-gubre-kullanimi-i-85833> adresinden ulaşılmıştır)
- Thompson RC, Courtene-Jones W, Boucher J, et al. Twenty years of microplastic pollution research-what have we learned? *Science*, 2024; 386(6720): ead12746.
- Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü (2025). *Günlük Piyasa ve Borsa Fiyatları Bülteni* (24.01.2025 https://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/piyasabulteni/piyasabulteni_tr.pdf adresinden ulaşılmıştır).
- Uluggerli F, Sunal G & Akça E. (2024). İznik Havzası tarım topraklarındaki potansiyel toksik elementlerin pedolojik yaklaşımla değerlendirilmesi. *Uluslararası Katılımlı 76. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 15-19 Nisan 2024, Ankara.
- Varol M, Gündüz K & Sünbül MR. Pollution status, potential sources and health risk assessment of arsenic and trace metals in agricultural soils: A case study in Malatya province, Turkey. *Environmental Research*, 2021; 202, 111806.

- Vergnoux A, Malleret L, Asia L, et al. Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils. *Environmental Research*, 2011; 111(2), 193-198.
- Xuan TD, Tawata S, Khanh TD, et al. Decomposition of allelopathic plants in soil. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2005; 191(3), 162-171.
- Zhang C, Wang X, Jiang S, et al. Heavy metal pollution caused by cyanide gold leaching: a case study of gold tailings in central China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021; 28, 29231-29240.
- Zhang H, Zhang Y, Pan Y, et al. Efficient removal of heavy metal ions from wastewater and fixation of heavy metals in soil by manganese dioxide nanosorbents with tailored hollow mesoporous structure. *Chemical Engineering Journal*, 2023; 459, 141583.
- Zhang Q & Wang C. Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2020; 231, 1-13.

DOĞAL KAYNAKLI TOPRAK KİRLİLİĞİ

Zekeriya KARA¹, Kadir SALTALI², Alper DURAK³

GİRİŞ

Doğal ekosistemin temel unsuru topraktır. Topraklar farklı özelliklere sahip kayaların ve minerallerin zaman içerisinde ayrışması ile oluşurlar. Ekosistemde topraklar depolama, filtreleme, adsorpsiyon, desorpsiyon, tamponlama ve iyon değişimi gibi farklı işlevleri yerine getiren doğal bir kaynaktır. Doğal ekosistemler bir zincirin halkaları gibidir ve müdahale edilmediği sürece varlığını kontrollü bir şekilde sürdürebilir. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçmesi ile yerleşim ve üretim amacıyla doğal dengeye müdahale başlamıştır. Bu müdahale nüfus artışı, kentleşme, tarımsal üretim ve sanayileşme ile hızlanarak kontrolsüz bir şekilde devam ederek toprakların kirlenmesine neden olmaktadır. Toprakların bu türden kirlenmesi antropojenik kirlenme olarak değerlendirilmektedir.

Toprakları oluşturan kayaların (magmatik, metamorfik ve tortul) mineral ve kimyasal özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Magmatik (volkanik) kayalar farklı dönemlerde yeryüzüne püsküren volkanizma ile gelen mağmanın özelliklerini taşır. Metamorfik kayalar ise yüksek basınç ve sıcaklık altında şekil ve mineral değişime uğradıkları için magmatik ve tortul kayalardan farklı özelliktedir. Tortul kayalar ise magmatik ve metamorfik kayaların ayrışması ile ortaya çıkan materyaller ile organik materyallerin birikimi ile oluşmuştur.

Toprak oluşturan kayaların farklı mineral ve kimyasal özellikleri, zamanla üzerinde oluşan toprakların özelliklerine de yansımaktadır. Mağmatik kayalar üzerinde oluşan topraklarda, ana materyallerden (kayaların fiziksel parçalanmış hali) kaynaklı farklı ağır metal kirlilikleri görülebilmektedir. Volkanik dağların çevrelerinde ve maden sahalarında bu tür doğal kirliliklere rastlanmaktadır (Kılıç & ark., 2015). Aynı zamanda, volkanik materyallerin birikimleri ve hidrolizi sırasında kanserojen bir

¹ Doç. Dr. Zekeriya KARA, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, zkara@ksu.edu.tr zekeriyakara0261@gmail.com ORCID iD: 0000-0001-7855-4968

² Prof. Dr. Kadir SALTALI, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., kadirs@ksu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-5301-1350

³ Prof. Dr. Alper DURAK, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Sebze Yetiştirme ve Islahı A.D., alper.durak@ozal.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-2895-2607

KAYNAKLAR

- Alloway, B.J. ed. (2013). *Heavy Metals in Soils*. Environmental Pollution. Dordrecht, Springer Netherlands.
- Alptekin, Y., Ozsan, E., & Aydın, R. (2003). Mısır (Zeamays L.)'da Aflatoksin Oluşumu, Bulaşma ve Korunma Yolları. I. Ulusal Mikotoksin Sempozyumu, 18-19 Eylül 2003. 1:180.
- Altınözlü, H., Karagöz, A., Polat, T., & Ünver, İ. (2012). Nickel hyperaccumulation by natural plants in Turkish serpentine soils. *Turkish Journal of Botany*, 36(3), 269-280.
- Alves, S., Trancoso, M. A., Gonçalves, M. D. L. S., & dos Santos, M. M. C. (2011). A nickel availability study in serpentinised areas of Portugal. *Geoderma*, 164(3-4), 155-163.
- Anda, M. (2012). Cation imbalance and heavy metal content of seven Indonesian soils as affected by elemental compositions of parent rocks. *Geoderma*, 189, 388-396.
- Appleton, J. D. (2007). Radon: sources, health risks, and hazard mapping. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(1), 85-89.
- Asri, F. Ö., & Sönmez, S. (2006). Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. *Derim, Batı Akdeniz Tarımsal Enstitüsü, Dergisi*, Cilt 23 (2): 36-45.
- Atabey, E. (2009). *Türkiye'de asbest, eriyonit, kuvars ve diğer mineral tozları ve etkileri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Atabey, E. (2014). Türkiye asbest haritası (çevresel asbest maruziyeti-akciğer kanseri-mezotelyoma). *Tuberk Toraks*, 63(3), 199-219.
- Aydın, R., Ozsan, E., & Alptekin, Y. (2003). Hayvansal Ürünlerde Aflatoksin Kontaminasyonu ve Sağlık Açısından Riskleri. I. Ulusal Mikotoksin Sempozyumu. 2:180. 18-19 Eylül 2003, İstanbul. 1:180.
- Babić, D., Skoko, B., Franić, Z., Senčar, J., Šoštarić, M., Petroci, L., ... & Marović, G. (2020). Baseline radioecological data for the soil and selected bioindicator organisms in the temperate forest of Plitvice Lakes National Park, Croatia. *Environmental science and pollution research*, 27(17), 21040-21056.
- Balcı, K. (1993). Göğüs Hastalıkları. Atlas Kitabevi, Konya, 575-593.
- Ballı, E. (2017). Süphan Dağı Çevresinde Oluşan Toprakların Özellikleri ve Ağır Metal İçeriklerinin İncelenmesi. KSÜ, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi, ss: 39
- Bariş, Y. İ. (1987). *Asbestos and erionite related chest diseases*. Hacettepe University School of Medicine, Department of Chest Diseases, Ankara.
- Bariş, Y. L. (2005). Türkiye'de asbest ve eriyonit sorunu ve insan sağlığına etkileri (mesotelyoma). 1. *Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Bildiri Özleri, TMMOB jeoloji Mühendisleri Odası yayınları*, 95, 53-64.
- Baris, I., Artvinli, M., Saracci, R., Simonato, L., Pooley, F., Skidmore, J., & Wagner, C. (1987). Epidemiological and environmental evidence of the health effects of exposure to erionite fibres: a four-year study in the Cappadocian region of Turkey. *International Journal of Cancer*, 39(1), 10-17.
- Bariş, B., Demir, A. U., Shehu, V., Karakoca, Y., Kisacik, G., & Barış, Y. I. (1996). Environmental fibrous zeolite (erionite) exposure and malignant tumors other than mesothelioma. *Journal of environmental pathology, toxicology and oncology: official organ of the International Society for Environmental Toxicology and Cancer*, 15(2-4), 183-189.
- Beaucham, C., King, B., Feldmann, K., Harper, M., & Dozier, A. (2018). Assessing occupational erionite and respirable crystalline silica exposure among outdoor workers in Wyoming, South Dakota, and Montana. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(6), 455-465.
- Bernstein, D. M. (2014). The health risk of chrysotile asbestos. *Current opinion in pulmonary medicine*, 20(4), 366-370.
- Bilir, N. & Yıldız, A.N. (2005). H. Ü. Tıp Fak. Dönem III, 2003-2004 öğretim yılı iş sağlığı, Ders 4, Mesleki akciğer hastalıkları.
- Blanco-Rodríguez, P., Fernández-Serantes, L. A., Otero-Pazos, A., Calvo-Rolle, J. L., & de Cos Juez, F. J. (2017). Radon mitigation approach in a laboratory measurement room. *Sensors*, 17(5), 1090.
- Blume, H. P., Brümmer, G. W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., ... & Wilke, B. M. (2016). *Scheffer/Schachtel Soil Science*. Springer Berlin Heidelberg
- Bräse, S., Encinas, A., Keck, J., & Nising, C. F. (2009). Chemistry and biology of mycotoxins and related fungal metabolites. *Chemical reviews*, 109(9), 3903-3990.
- Brooks, R. R. (1987). Serpentine and its vegetation. *A multidisciplinary approach*.
- Campos, I., Abrantes, N., Keizer, J. J., Vale, C., & Pereira, P. (2016). Major and trace elements in soils and ashes of eucalypt and pine forest plantations in Portugal following a wildfire. *Science of the Total Environment*, 572, 1363-1376.
- Carbone, M., & Yang, H. (2012). Molecular pathways: targeting mechanisms of asbestos and erionite carcinogenesis in mesothelioma. *Clinical Cancer Research*, 18(3), 598-604.
- Chen, H., Chow, A. T., Li, X. W., Ni, H. G., Dahlgren, R. A., Zeng, H., & Wang, J. J. (2018). Wildfire burn intensity affects the quantity and speciation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2(12), 1262-1270.
- Cinelli, G., Tositti, L., Capaccioni, B., Brattich, E., & Mostacci, D. (2015). Soil gas radon assessment and development of a radon risk map in Bolsena, Central Italy. *Environmental geochemistry and health*, 37(2), 305-319.
- Coombs, D. S., Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., ... & Vezzadini, G. (1997). Recommended nomenclature for zeolite minerals; report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *The Canadian Mineralogist*, 35(6), 1571-1606.

- Cygan, R. T., Stevens, C. T., Puls, R. W., Yabusaki, S. B., Wauchope, R. D., McGrath, C. J., ... & Turner, D. R. (2007). Research activities at US Government agencies in subsurface reactive transport modeling. *Vadose zone journal*, 6(4), 805-822.
- Demiroğlu, H. (1998). Hazards of white asbestos. *The Lancet*, 352(9124), 322-323.
- Echevarria, G. (2020). Genesis and behaviour of ultramafic soils and consequences for nickel biogeochemistry. In *Agromining: Farming for metals: Extracting unconventional resources using plants* (pp. 215-238). Cham: Springer International Publishing.
- Eisler, R. (2006). *Mercury hazards to living organisms*. CRC Press.
- Fernández, S., Cotos-Yáñez, T., Roca-Pardiñas, J., & Ordóñez, C. (2018). Geographically weighted principal components analysis to assess diffuse pollution sources of soil heavy metal: application to rough mountain areas in Northwest Spain. *Geoderma*, 311, 120-129.
- Flora, G., Gupta, D., & Tiwari, A. (2012). Toxicity of lead: a review with recent updates. *Interdisciplinary toxicology*, 5(2), 47.
- Gates, A.E. & Gundersen, L.C.S. (1992). *Geologie Controls on Radon*. Geological Society of America. 97 pp.
- Giordani, M., Mattioli, M., Ballirano, P., Pacella, A., Cenni, M., Boscardin, M., & Valentini, L. (2017). Geological occurrence, mineralogical characterization, and risk assessment of potentially carcinogenic erionite in Italy. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 20(2), 81-103.
- Gregorič, A., Vaupotič, J., Kardos, R., Horvath, M., Bujtor, T., & Kovacs, T. (2013). Radon emanation of soils from different lithological units. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 8(2), 185-190.
- Hafez, Y. I., & Awad, E. S. (2016). Finite element modeling of radon distribution in natural soils of different geophysical regions. *Cogent Physics*, 3(1), 1254859.
- Hartgerink, J. D., Beniash, E., & Stupp, S. I. (2001). Self-assembly and mineralization of peptide-amphiphile nanofibers. *Science*, 294(5547), 1684-1688.
- Hseu, Z. Y. (2006). Extractability and bioavailability of zinc over time in three tropical soils incubated with biosolids. *Chemosphere*, 63(5), 762-771.
- IARC. 2012. Arsenic, metals, fibres, and dusts. IARC. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (IARC). No. 1017-1606.
- Ikpambese, K. K., Gundu, D. T., & Tuleun, L. T. (2016). Evaluation of palm kernel fibers (PKFs) for production of asbestos-free automotive brake pads. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(1), 110-118.
- International Agency for Research on Cancer (IARC) (1999). Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1 to 42. No. 71987.
- ISO. (2015). ISO 11074:2015. [Cited 14 October 2019]. <http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/05/92/59259.html>
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed edition. Boca Raton, Fla, CRC Press. 413 pp.
- Kara, Z. (2019). Investigation of the asbest mineral content and geochemical characteristics of different areas representing rocks and the soil formed on them of ophiolitic assemblage in Kahramanmaraş Region (Doctoral dissertation, Kahramanmaraş Sutcu Imam University).
- Kara, Z. (2023). Gidyanın Serpantin Toprakların Alınabilir Ağır Metal İçeriğine Etkisi. *Euroasia Journal Of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 10(26), 29-36.
- Kara, Z., Rızaoğlu, T., & Saltalı, K. (2018). Total heavy metal contents in serpentinite soils from Türkoğlu-Kahramanmaraş/Turkey. In *Proceedings of the 18th International Multidisciplinary SGEM Conference* (pp. 2-8).
- Kara, Z., Saltalı, K., & Rızaoğlu, T. (2024a). Investigation Of Some Plant Nutrients And Heavy Metal Contents Of Soils Formed In Different Units Of The Ophiolite. *Journal Of Environmental Protection And Ecology*, 25(4), 991-1002.
- Kara, Z., Saltalı, K., Rızaoğlu, T., & Bani, A. (2024b). Assessment of Elemental Composition in Ultramafic Parent Material and Derived Soils Using Pollution Indices. *J Ind Pollut Control*, 40, 002.
- Kılıç, K., Yalçın, H., Doğan, H. M., Durak, A., Topuz, D., Güven, K., ... & Özkan, Y. (2010). Erciyes Strato Volkanından Püskürtülen Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Topraklar ve Çevre İle Etkileşimleri. *Tubitak 106Y307 Nolu Proje, Ankara*.
- Kılıç, K., Yalçın, H., Durak, A., & Doğan, H. M. (2018). Andisols of Turkey: an example from the Cappadocian Volcanic Province. *Geoderma*, 313, 112-125.
- Kierczak, J., Neel, C., Aleksander-Kwaterczak, U., Helios-Rybacka, E., Bril, H., & Puziewicz, J. (2008). Solid speciation and mobility of potentially toxic elements from natural and contaminated soils: A combined approach. *Chemosphere*, 73(5), 776-784.
- Kierczak, J., Neel, C., Bril, H., & Puziewicz, J. (2007). Effect of mineralogy and pedoclimatic variations on Ni and Cr distribution in serpentine soils under temperate climate. *Geoderma*, 142(1-2), 165-177.
- Kilic, K., Dogan, H., Yalçın, H., Bilim, M., & Karahan, G. (2015). Potentially toxic elements of volcanic ash soils in the Cappadocia region of central Turkey. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(1).
- Krückeberg, A. R. (2002). The influences of lithology on plant life. *Geology and plant life: the effects of landforms and rock type on plants*, 160-81.
- Kumar, A., Pathak, H., Bhadauria, S., & Sudan, J. (2021). Aflatoxin contamination in food crops: causes, detection, and management: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1), 17.
- Liang, H. D., Han, D. M., & Yan, X. P. (2006). Cigarette filter as sorbent for on-line coupling of solid-phase extraction to high-performance liquid chromatography for determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in water. *Journal of Chromatography A*, 1103(1), 9-14.

- Meuser, H. (2010). *Contaminated urban soils* (Vol. 18). Springer Science & Business Media.
- Morrison, J. M., Goldhaber, M. B., Lee, L., Holloway, J. M., Wanty, R. B., Wolf, R. E., & Ranville, J. F. (2009). A regional-scale study of chromium and nickel in soils of northern California, USA. *Applied Geochemistry*, 24(8), 1500-1511.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Omidbeygi, M., Barzegar, M., Hamidi, Z., & Naghdibadi, H. (2007). Antifungal activity of thyme, summer savory and clove essential oils against *Aspergillus flavus* in liquid medium and tomato paste. *Food control*, 18(12), 1518-1523.
- Oze, C., Fendorf, S., Bird, D. K., & Coleman, R. G. (2004a). Chromium geochemistry in serpentinized ultramafic rocks and serpentine soils from the Franciscan complex of California. *American Journal of Science*, 304(1), 67-101.
- Oze, C., Fendorf, S., Bird, D. K., & Coleman, R. G. (2004b). Chromium geochemistry of serpentine soils. *International Geology Review*, 46(2), 97-126.
- Öksüztepe, G., & Erkan, S. (2016). Mikotoksinler ve halk sağlığı açısından önemi. Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 5(2), 190-195.
- Patel, J. P., & Brook, M. S. (2021). Erionite asbestiform fibres and health risk in Aotearoa/New Zealand: A research note. *New Zealand Geographer*, 77(2), 123-129.
- Rajapaksha, A. U., Vithanage, M., Oze, C., Bandara, W. M. A. T., & Weerasooriya, R. (2012). Nickel and manganese release in serpentine soil from the Ussangoda Ultramafic Complex, Sri Lanka. *Geoderma*, 189, 1-9.
- Rastogi, S., Dogra, R. K. S., Khanna, S. K., & Das, M. (2006). Skin tumorigenic potential of aflatoxin B1 in mice. *Food and Chemical Toxicology*, 44(5), 670-677.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil pollution: a hidden reality*.
- Takeda, A., Kimura, K., & Yamasaki, S. I. (2004). Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group and agricultural use. *Geoderma*, 119(3-4), 291-307.
- Tian, K., Huang, B., Xing, Z., & Hu, W. (2017). Geochemical baseline establishment and ecological risk evaluation of heavy metals in greenhouse soils from Dongtai, China. *Ecological indicators*, 72, 510-520.
- Tsai, P. J., Shieh, H. Y., Lee, W. J., & Lai, S. O. (2002). Characterization of PAHs in the atmosphere of carbon black manufacturing workplaces. *Journal of hazardous materials*, 91(1-3), 25-42.
- Viets Jr, F. G. (1962). Micronutrient availability, chemistry and availability of micronutrients in soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 10(3), 174-178.
- Vigneri, R., Malandrino, P., Giani, F., Russo, M., & Vigneri, P. (2017). Heavy metals in the volcanic environment and thyroid cancer. *Molecular and cellular endocrinology*, 457, 73-80.
- Vithanage, M., Rajapaksha, A. U., Oze, C., Rajakaruna, N., & Dissanayake, C. B. (2014). Metal release from serpentine soils in Sri Lanka. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(6), 3415-3429.
- Wagner, J. C., Skidmore, J. W., Hill, R. J., & Griffiths, D. M. (1985). Erionite exposure and mesotheliomas in rats. *British Journal of Cancer*, 51(5), 727-730.
- Wang, X. Y., Li, Q. B., Luo, Y. M., Ding, Q., Xi, L. M., Ma, J. M., ... & Cheng, C. L. (2010). Characteristics and sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Shanghai, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 165(1), 295-305.
- WHO, ed. (2009). *WHO handbook on indoor radon: a public health perspective*. Geneva, Switzerland, World Health Organization. 94 pp.
- Williams, J. H., Phillips, T. D., Jolly, P. E., Stiles, J. K., Jolly, C. M., & Aggarwal, D. (2004). Human aflatoxicosis in developing countries: a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions. *The American journal of clinical nutrition*, 80(5), 1106-1122.
- Wilson, M. A., Burt, R., Indorante, S. J., Jenkins, A. B., Chiaretti, J. V., Ulmer, M. G., & Scheyer, J. M. (2008). Geochemistry in the modern soil survey program. *Environmental Monitoring and Assessment*, 139(1), 151-171.
- Yakupoğlu, T., Rızaoğlu, T., Dindaroğlu, T., Sesveren, S., Kara, Z., & Gündoğan, R. (2018). Comparison of two different ophiolite districts in terms of some soil physical properties of grounds. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(1), 1-8.
- Yawas, D. S., Aku, S. Y., & Amaren, S. G. (2016). Morphology and properties of periwinkle shell asbestos-free brake pad. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(1), 103-109.
- Young, S., Balluz, L., & Malilay, J. (2004). Natural and technologic hazardous material releases during and after natural disasters: a review. *Science of the total environment*, 322(1-3), 3-20.

BÖLÜM 4

ANTROPOJENİK TOPRAK KİRLİLİK KAYNAKLARI KENTLEŞME, SANAYİ VE TARIM KÖKENLİ TOPRAK KİRLİLİĞİ

Ayşegül DEMİR YETİŞ¹, Hatice KARA², Fadime YETİŞ³, Ayşin BİLGİLİ⁴

GİRİŞ

Toprak kirliliğine neden olan antropojenik kirletici kaynakları; pestisitler, hormonlar, ağır metaller (arsenik, kobalt, civa nikel kurşun ve kadmiyum gibi) (Delang, 2017), radyoaktif maddeler ve organik bileşiklerdir. Tarımsal faaliyetlerde aşırı gübre ve pestisit kullanılması, katı atıkların bertarafı ile ilgili problemler, kullanılmış suların uzaklaştırılmasında altyapı yetersizlikleri, plansız ve çarpık kentleşme, tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerine ait atıklar, madencilik ve endüstriyel üretim atıkları (Sakshi & ark., 2019), arıtılmamış kirli suların tarım arazisinde sulama amacıyla kullanılması, radyoaktif kirlilik ve hava kirliliği serpintileri gibi birçok sebepten dolayı toprak kirliliği oluşmaktadır (Şekil 1) (İbadullayeva & ark., 2019). Ayrıca çölleşme, erozyon, aşırı nüfus artışı ile beraberinde büyüyen sanayi ve hızlı kentleşmenin verimli toprakları tahribi, tarım ve orman işletmeciliğinde yapılan teknik hatalar, amaç dışı toprak kullanımı, anız yakma gibi süreçler de bu hususta rol oynayan diğer etkenlerdir (Şekil 2) Son yıllarda ilaçlar, endokrin bozucular, hormonlar ve toksinler gibi yeni ortaya çıkan kirleticiler; bakteriler ve virüsler de dahil olmak üzere topraklardaki mikro kirleticiler gibi birçok kirletici türü endişe yaratmaktadır (Algan & Bilen, 2005; Akseki, 2011; FAO, 2018; Friis, 2019).

¹ Doç. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, ademir@beu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4745-2445

² Dr., GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, hatice.kara@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0002-9999-939X

³ Zir. Yük. Müh., Biyolojik Mücadele Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, fadime.yetis@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0001-6151-3203

⁴ Dr., GAP, Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Bitki Sağlığı Bölümü, aysin.bilgili@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0003-0801-0484

rafından adsorbe edilerek suyu, havayı ve toprağı kirletirler. Bu durum biyolojik çevrenin sağlığını ve yaşamını tehdit etmektedir (Algan & Bilen, 2005).

Toprakta yer alan yaygın kirleticilerden pestisitler ve ağır metallerin çevre ve insan sağlığı üzerinde önemli bir etkisi vardır, ancak şiddeti ve kapsamı genellikle bilinmemektedir (FAO, 2018). Son yıllarda, toprakta ağır metallerin birikimi ve toprak kirliliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır (Kadi, 2009; Bai & ark., 2011; Karaca & Turgay, 2012; Wiseman & ark., 2015; Zwolak & ark., 2019). Pestisitler; iritasyon, dermatit, sistemik emilim kaynaklı ölüm gibi akut etkilere neden olur. Akut etkilenimde en duyarlı grup kardiyovasküler ve solunum sistemi hastalığına sahip kişilerdir. Daha çok etkilenen grup ise şiddetli alerjisi ve astım rahatsızlığı olanlardır. Pestisite maruziyette görülen kronik etkileri ise: nörodavranışsal bozukluklar, nörotoksisite, nörofizyolojik değişiklikler, üreme ve fertilitede ortaya çıkan istenmeyen etkiler, doğum defektleri ve kanser şeklinde sıralamak mümkündür. Pestisitler çevre bileşenleri üzerinde birikme potansiyeline sahiptir, bunun sonucunda bitkilerde ve hayvansal gıdalarda da birikerek zararlı etkileri katlanarak artmaktadır (İbadullayeva & ark., 2019). Ağır metaller ise biyolojik süreçlerde birikme eğilimi ve yüksek birikme düzeylerinde kanserojen-öldürücü özellik sergileyen kirleticilerdir. Gübreler ve tarım ilaçları da belirli düzeylerde ağır metal içerirler (Karaca & Turgay, 2012). Ağır metaller toprağı, çöp atıkları, karasal sistemin ağır metal akışına yol açan atıklar (endüstriyel ve evsel atıklar) ve jeolojik aşınma yoluyla girer. Yeniden harekete geçirme süreçleri nedeniyle, bu metaller serbest kalır, toprağı taşınır ve besin zincirinde yoğunlaşır, böylece insanlara ulaşır ve kronik veya akut hastalıklara neden olur. Ağır metaller doğal toprak ve dip tortularında çok düşük konsantrasyonlarda bulunup bitki, hayvan ve insan yaşamı üzerinde yararlı veya zararlı etkilere neden olurlar. (Friis, 2019).

Toprakta meydana gelen bir kirliliğin giderimi ve geri dönüşümü ya çok zor veya mümkün değildir. Antropojenik kaynaklarla kirlenmiş tarımsal toprağın temizlenmesi zaman alıcı ve masraflı bir süreçtir (Qu & ark., 2016). Mevcut uluslararası araştırmalar, ex-situ'dan ziyade yerinde iyileştirme tekniklerinin geliştirilmesine daha fazla odaklanmıştır. Toprak buharı çıkarma, termal arıtma ve fitoremediasyon gibi yerinde iyileştirme teknolojileri, bu artan pazarda gelecekteki gelişim için umut vericidir. Kirlenmiş toprakların risklerinin değerlendirilmesi ve iyileştirilmesinde bilimsel ilerleme şu anda büyük ölçekli toprak kirliliğinden etkilenen veya etkilenecek olan gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere fayda sağlayacaktır (Qu & ark., 2016).

KAYNAKLAR

- Ahmad M.F., Ahmad, F. A. Alsayegh, A.A., Zeyauallah, M., AlShahrani, A. M. Muzammil, K., Saati, A. A., Wahab, Ehab, S., Elbendary, Y., Kambal, N., Abdelrahman, M. H., Hussain, S. (2024). Pesticides impacts on human health and the environment with their mechanisms of action and possible countermeasures. *Heliyon*, 10: 7.
- Akseki H. (2011). Kentsel Yayılmanın Tarım Arazileri Üzerindeki Etkisi, Konya Kenti Örneği. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şehir Ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Konya
- Aktar W, Sengupta D, Chowdhury A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary Toxicology*. 2(1):1-12.
- Aksoy, H. (2020). Tarım ve çevre kirliliği: Kimyasal gübrelerin toprak ekosistemi üzerindeki etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 12(2), 45-57
- Algan, F. T. K., & Bilen, S. (2005). Toprak kirlenmesi ve biyolojik çevre. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 83-88.
- Altan, Y., & Bilen, S. (2003). Toprak kirliliği ve nedenleri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 91-98.
- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y. & Delibacak, S., 2004. Toprak Bilimi. Ege Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, No:557, İzmir, 355s.
- Anonim, (2023). Tarım & Orman Bakanlığı, Gıda Kontrol Genel Müdürlüğü, Bitki Koruma Ürünleri Veri tabanı. (also available at: https://www.tarimorman.gov.tr/GKGM/Belgeler/DB_Bitki_Koruma_Urunleri/Istatistik/II_Duzeyinde_BKU_Kullanim_Miktar_2023.pdf. (Erişim tarihi: 07.10.2024).
- Anonim, (2024a). (<https://topraktema.org/media/1490/05-toprak-kirliligi.pdf>)(Erişim tarihi 24.10.2024)

- Anonim, (2024b). Ankara Üniversitesi Ders Notları, Toprak Kirliliği, 7. Bölüm, Ankara, 24 s.
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J., Mejuto, J.- C. & García-Río, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(4): 247–260.
- Bai, J., Huang, L., Yan, D., Wang, Q., Gao, H., Xiao, R., & Huang, C. (2011). Contamination characteristics of heavy metals in wetland soils along a tidal ditch of the Yellow River Estuary, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 671–676.
- Baker, M. A., & Sutherland, T. M. (2019). “Environmental impacts of organochlorine pesticides in agricultural soils.” *Environmental Pollution*, 250, 1075–1085.
- Baker, N. R., & P. R. W. (2018). “Organophosphates: Environmental and health impacts.” *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(2), 377–385.
- Baldi E, Miotto A, Ceretta CA, Brunetto G, Muzzi E, Sorrenti G, Quartieri M & Toselli M. (2018a). Soil application of P can mitigate the copper toxicity in grapevine: physiological implications. *Scientia Horticulturae* 238: 400–407.
- Baldi E, Miotto A, Ceretta CA, Quartieri M, Sorrenti G, Brunetto G & Toselli M. (2018b). Soil applied phosphorous is an effective tool to mitigate the toxicity of copper excess on grapevine grown in rhizobox. *Scientia Horticulturae* 227: 102–111.
- Barsova, N., Yakimenko, O., Tolpeshta, I. & Motuzova, G. (2019). Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation- A review, *Environmental Pollution*. 249: 200–207, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020>.
- Baweja, P., Kumar, S. & Kumar, G. (2020). Fertilizers and Pesticides: Their Impact on Soil Health and Environment. *Soil Health, Soil Biology* 59.
- Birch, G.F., Vanderhayden, M. & Olmos, M. (2011). The nature and distribution of metals in soils of the Sydney Estuary Catchment, Australia. *Water Air Soil Pollut.* 216, 581–604.
- Bitew, Y. & Alemayehu, M. (2017). Impact of Crop Production Inputs on Soil Health. *Asian Journal of Plant Sciences*. 16: 109–131.
- Bleam, W. F. (2016). *Soil and environmental chemistry*. Academic Press.
- Brochado, C., Silva, M., Costa, A. & Ferreira, J. (2023). Impact of herbicide application on nitrogen cycling and microbial activity in different soil types. *Journal of Soil Biology and Biochemistry*, 178, 108961.
- Cambrollé, J., García, Fernández JL, Ocete, R., Figueroa, E. & Cantos, M. (2013). Growth and photosynthetic responses to copper in wild grapevine. *Chemosphere* 93: 294–301.
- Çelik, M., & Şahin, O. (2018). Kentleşmenin Toprak Kirliliğine Etkisi. *Çevre Bilimleri Dergisi*, 12(2), 89–102.
- Changsheng Qu, Wei Shi, Jing Guo, Binbin Fang, Shui Wang, John P. Giesy, and Peter E. Holm (2016). China's Soil Pollution Control: Choices and Challenges *Environmental Science & Technology* 2016 50 (24), 13181–13183. DOI: 10.1021/acs.est.6b05068
- Delang, C. O. (2017). Causes and distribution of soil pollution in China. *Environmental & Socio-economic Studies*, 5(4), 1–17. <https://doi.org/10.1515/environ-2017-0016>
- Erdoğan, N. (2019). Toprak kalitesi ve kimyasal gübrelerin uzun vadeli etkileri. *Tarım Teknolojileri Dergisi*, 6(4), 25–39
- Erdoğan, S. (2005). Tarımda gübre kullanımının çevresel etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 1–10.
- FAO & ITPS. (2017). Global assessment of the impact of plant protection products on soil functions and soil ecosystems. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (also available at <http://www.fao.org/3/I8168EN/i8168en.pdf>).
- FAO. (2000). *Assessing soil contamination A reference manual*. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations. (also available at <http://www.fao.org/docrep/003/X2570E/X2570E00.HTM>).
- FAO. (2015). *FAO statistical pocketbook 2015: World Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics.
- FAO. (2018). *FAO (Food and Agriculture Organization of The United Nations) Reports, Soil Pollution: A Hidden Reality*. Rome, 2018. ISBN 978-92-5-130505-8.
- FAO. (2024). *FAO Publications* (www.fao.org/publications@fao.org), Chapter 3. Sources of Soil Pollution. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/fe5df8d6-6b19-4def-bdc6-62886d824574/content/src/html/chapter-03-3.html>. (Erişim tarihi: 15.11.2024).
- Friis, C. (2019). Telecoupling: A new framework for researching land-use change in a globalised world. *Telecoupling: Exploring Land-Use Change in a Globalised World*, 49–67.
- Gong, Q., Wang, L., Dai, T., Zhou, J., Kang, Q., Chen, H., Li, K. & Li Z. (2019). Effects of copper on the growth, antioxidant enzymes and photosynthesis of spinach seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 171: 771–780.
- Gulshan, A., & Singh, S. (2020). “Degradation of carbamate pesticides by microbial enzymes.” *Bioremediation Journal*, 24(3), 231–245.
- Hashim, S. H., Ahmed, A. S., & Rashid, N. (2024). Effects of soil moisture on the behavior and impact of herbicides in soil microbial communities. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(2), 432–445.
- Havugimana, E., Bhople, B. S., Kumar, A., Byiringiro, E., Mugabo, J. P., & Kumar, A. (2017). Soil pollution–major sources and types of soil pollutants. *Environ. Sci. Eng.* 11, 53–86.
- Huang, X., & Zhang, X. (2021). “Impact of pesticides on soil physical and chemical properties and erosion risk.” *Soil and Tillage Research*, 212, 105068.

- İbadullayeva, J. Jumaniyazova, K. Azimzadeh, S. Canigür S. & Ferhan, E. (2019). Çevre kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri.
- Kacar, B. & Katkat, A. V. (2007). Gübreler ve Gübreleme Teknikleri. Nobel Yayıncılık.
- Kadi, M. W. (2009). "Soil Pollution Hazardous to Environment": A case study on the chemical composition and correlation to automobile traffic of the roadside soil of Jeddah city, Saudi Arabia, *Journal of Hazardous Materials*, 168, (2–3): 1280–1283, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.03.015>.
- Kafkasyalı, D. (2021). Bakır Toksisitesinin Bitkilerde Fizyolojik, Morfolojik, Biyokimyasal ve Transkripsiyonel Düzeydeki Etkileri. Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi, Nisan (2021), 47(1), 16–34. DOI: 10.35238/sufed.857192.
- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13–19.
- Karaca, B. (2021). Kimyasal gübrelerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve alternatif çözümler. *Tarımsal Çevre Çalışmaları*, 9(2), 66–79.
- Kaur, R., Choudhary, D., Bali, S., Bandral, S.S., Singh, V., Ahmad M. A., Rani, N. & Balakumar, T. G. (2024). Pesticides: An alarming detrimental to health and environment. *Science of The Total Environment*. 915:170113.
- Kayhan, F. E. (2020). İnsektisitlerin doğal döngüsü ve doğal çevreye etkileri. S. Ü. Fen Fakültesi Fen Dergisi. 46(2), 29–40.
- Klein, R. G., & Ristaino, J. B. (2021). "Integrated weed management strategies in organic agriculture: current practices and future directions." *Sustainability*, 13(4), 1748.
- Knoepp JD, Debano LF & Neary DG. (2005). Soil Chemistry. *Wildland fire in ecosystem*, 42(4).
- Koçak, B. & Cenkseven, Ş. (2021). Şeker Pancarında Kullanılan İki Farklı Triazol Fungisidin Toprak Mikrobiyal Solunumuna Etkileri. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. Year: 6, No: 4, 2021 (540–547). DOI: <https://doi.org/10.35229/jaes.946632>.
- Kopittke P, Pax C Blamey F, McKenna B, Wang P & Menzies N (2011). Toxicity of metals to roots of cowpea in relation to their binding strength. *Environ Toxicol Chem* 30: 1827–1833.
- Kowalska, J., Mazurek, R., Gąsiorek, M., Setlak, M., Zaleski, T. & Waroszewski, J. (2016). Soil pollution indices conditioned by medieval metallurgical activity – A case study from Krakow (Poland), *Environmental Pollution*, 218: 1023–1036, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.053>.
- Kumar A, Gahoi P & Verma N. (2019). Simultaneous scavenging of Cr (VI) from soil and facilitation of nutrient uptake in plant using a mixture of carbon microfibers and nanofibers. *Chemosphere* 124760.
- Kumar A, Huang B. & Sivapatham P. (2000). Soil pH affects copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Science Society of America Journal- SSSAJ* 64.
- Kumar, A., & Gupta, A. (2022). "Soil aggregate stability and its relationship with pesticide application." *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(1), 1–15.
- Kumar, V., & Bansal, R. (2022). "Toxicological effects of abamectin and chlorantraniliprole on non-target organisms: A review." *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 84, 103628.
- Lado, L.R., Hengl, T. & Reuter, H.I. (2008). Heavy metals in European soils: a geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma* 148, 189–199.
- Latha, K. (2010). "Impact of herbicides on soil health and microbial populations." *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 791–796.
- Lee, C.S.L., Lia, X.D., Zhang, G., Lib, J., Dinga, A.J. & Wang, T. (2007). Heavy metals and Pb isotopic composition of aerosols in urban and suburban areas of Hong Kong and Guangzhou, South China e evidence of the long-range transport of air contaminants. *Atmos. Environ.* 41, 432–447.
- Loska, K., Wiechulab, D. & Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 30, 159–165.
- Lwalaba JLW, Louis LT, Zvobgo G, Fu L, Mwamba TM, Mukobo Mundende RP & Zhang G. (2019). Copper alleviates cobalt toxicity in barley by antagonistic interaction of the two metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 180: 234–241.
- Marques DM, da Silva AB, Mantovani JR, Magalhães PC, de Souza TC (2019). Root morphology and leaf gas exchange in *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (Caesalpiniaceae) exposed to copper-induced toxicity. *South African Journal of Botany*, 121: 186–192.
- Marrone, P. G. (2019). "Pesticides and the environment: A new approach to sustainability." *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(11), 3121–3129.
- Meena, V. S., Yadav, G. S., & Singh, P. (2020). "Impact of triazine and organophosphate herbicides on soil organic matter and microbial activity." *Journal of Environmental Management*, 261, 110248.
- Michaud A, Chappellaz C. & Hinsinger P. (2008). Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant and Soil* 310:151–165.
- Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C. & Chambers, B.J. (2003). An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci. Total Environ.* 311, 205–219.
- Peña, A., Delgado-Moreno, L., & Rodríguez-Liébaña, J. A. (2020). A review of the impact of wastewater on the fate of pesticides in soils: Effect of some soil and solution properties. *Science of the Total Environment*, 718, 134468.
- Pertile, F. (2020). "Effects of imazethapyr and flumioxazin on soil microbial biomass and enzyme activity." *Soil Biology and Biochemistry*, 143, 106425.

- Pouyat, R.V., Yesilonis, I.D., Russell-Anelli, J. & Neerchal, N.K. (2007). Soil chemical and physical properties that differentiate urban land-use and cover types. *Soil Water Manag. Conserv.* 71 (3), 1010-1019.
- Qu, C., Shi, W., Guo, J., Fang, B., Wang, S., Giesy, J. P., & Holm, P. E. (2016). China's soil pollution control: choices and challenges. *Environmental Science & Technology*, 50 (24) (2016), pp. 13181-13183.
- Raldugina G, Krasavina M, Fjodorovna Lunkova N, Anatoljevna Burmistrova N. (2016). *Resistance of Plants to Cu Stress* 69-114.
- Reimann, C., Fabian, K., Birke, M., Filzmoser, P., Demetriades, A., Negrel, Ph., Oorts, K., Matschullat, J. & Caritat, P. (2018). GEMAS: establishing geochemical background and threshold for 53 chemical elements in European agricultural soil. *Appl. Geochem.* 88, 302-318.
- Rose T, Kretzschmar T, Liu L, Lancaster G. & Wissuwa M. (2016). Phosphorus deficiency alters nutrient accumulation patterns and grain nutritional quality in rice. *Agronomy* 6, 52.
- Ruuskanen, J. (2022). "Herbicide impacts on non-target organisms and soil microbial communities." *Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 123-135.
- Sakshi, Singh, S.K. & Haritash, A.K. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons: soil pollution and remediation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 6489-6512. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02414-3>
- Samanth, M. (2024). An inclusive evaluation of soil pollution and its remediation by chemical, physical and biological methods. *IJCS*, 12(4), 05-17.
- Sanders, P.F. (2003). Ambient levels of metals in New Jersey soils. Environmental Assessment and Risk Analysis Element. Research Project Summary. NJDEP. Division of Science Research & Technology, 5.
- Sekulic, A., Stankovic, A., & Djuric, V. (2023). Effect of single and mixture of insecticides on earthworms: results from field and laboratory experiments. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(12), 35456-35469.
- Shaw, R. K, Wilson, M.A., Reinhardt, L. & Isleib, J. (2010). Geochemistry of artefactual coarse fragment types from selected New York City soils. In: World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1e6 August 2010, Brisbane, Australia, 25-27.
- Sheldon A. & Menzies N (2005). The effect of copper toxicity on the growth and root morphology of Rhodes grass (*Chloris gayana* Knuth.) in resin buffered solution culture. *Plant and Soil* 278: 341-349.
- Sheridan, A. B., Johnson, E. J., Vallat-Michel, A. J., Glauser, G., Harris, J. W., Neumann, P. & Straub, L. (2023). Thiamethoxam soil contaminations reduce fertility of soil-dwelling beetles, *Aethina tumida*. *Chemosphere*. 339: 139648.
- Singh D. & Kumar A. (2016). Impact of irrigation using water containing CuO and ZnO nanoparticles on *Spinach oleracea* grown in soil media. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97.
- Singh, D.K., (2012). Toxicology: Agriculture And Environment: Pesticide Chemistry And Toxicology. BENTHAM SCIENCE PUBLISHERS. (also available at <http://www.eurekaselect.com/50654/volume/1>).
- Tiryaki, O., Canhilal, H. & Horuz, S. (2010). Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 26(2): 154-169.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C. & Phung, DT. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *Int J Environ Res Public Health*.27;18(3):1112. doi: 10.3390/ijerph18031112.
- Ullrich, S.M., Ramsey, M.H. & Helios-Rybicka, E. (1999). Total and exchangeable concentrations of heavy metals in soils near Bytom, an area of Pb/Zn mining and smelting in Upper Silesia, Poland. *Appl. Geochem.* 14, 187-196.
- Verma, A., Gupta, A., & Rajamani, P. (2023). Application of wastewater in agriculture: benefits and detriments. In *River Conservation and Water Resource Management* (pp. 53-75). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M., Heine, L. G., & Toröz, İ. (2012). Çevre mühendisliğine giriş. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Vieira, D., Franco, A., De Medici, D., Martin Jimenez, J., Wojda, P. & Jones, A. (2023). Pesticides residues in European agricultural soils. Results from LUCAS 2018 soil module. European Commission JRC Technical Report by the Joint Research Centre (JRC). 62 p. ISBN 978-92-68-05371-3. ISSN 1831-9424. doi:10.2760/86566.
- Ware, G.W. & Whitacre, D.M. (2004). The Pesticide Book. Meister Publications, Willoughby.
- Wei, B. & Yang, L. (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem. J.* 94, 99-107.
- Weldeslassie, T., Naz, H., Singh, B., & Oves, M. (2018). Chemical contaminants for soil, air and aquatic ecosystem. Modern age environmental problems and their remediation, 1-22.
- Wiseman, C. L., Zereini, S. F., & Püttmann, W. (2015). Metal and metalloid accumulation in cultivated urban soils: a medium-term study of trends in Toronto, Canada. *The Science of the Total Environment*, 15, 564-572.
- Yadav P, Kaur R, Kanwar MK, Sharma A, Verma V, Sirhindi G. & Bhardwaj R. (2018). Castasterone confers copper stress tolerance by regulating antioxidant enzyme responses, antioxidants, and amino acid balance in *B. juncea* seedlings. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 147: 725-734.
- Yaron, B., Dror, I., & Berkowitz, B.. (2012). Soil-subsurface change Springer-Verlag, Berlin.
- Yıldırım, E., 2008. Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve Kullanılan İlaçlar. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, No:219, Erzurum, 350 s.
- Yıldırım, E., & Demir, K. (2022). Gübreleme ve sürdürülebilir tarım: Çevresel boyutlar. *Tarımsal Çalışmalar Dergisi*, 14(4), 39-53.

- Zeng, S., Ma, J., Yang, Y., Zhang, S., Liu, G. J., & Chen, F. (2019). Spatial assessment of farmland soil pollution and its potential human health risks in China. *Science of the total environment*, 687, 642-653.
- Zhang, G.L., Yang, F.G., Zhao, Y.G., Zhao, W.J., Yang, J.L. & Gong, Z.T. (2005). Historical change of heavy metals in urban soils of Nanjing, China during the past 20 centuries. *Environ. Int.* 31, 913-919.
- Zhou, J., & Wang, J. (2021). "Impact of insecticides on soil pH and microbial diversity." *Environmental Science and Pollution Research*, 28(20), 25788-25797.
- Zwolak, A., Sarzyńska, M., Szpyrka, E. et al. (2019). Sources of Soil Pollution by Heavy Metals and Their Accumulation in Vegetables: a Review. *Water Air Soil Pollut* 230, 164. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4221-y>

BÖLÜM 5

AĞIR METALLERİN TOPRAKLARDAKİ DEĞİŞİM VE DÖNÜŞÜMÜ

Veli UYGUR¹

GİRİŞ

Ağır metaller, ekosistemlerin doğal bir bileşenidir fakat sürekli olarak toprağa, havaya ve suya eklenmesi ve konsantrasyonlarının artma eğilimi önemli bir çevre problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ağır metallerin bir kısmı bakır (Cu), mangan (Mn), çinko (Zn), demir (Fe), nikel (Ni) gibi mutlak gerekli; bir kısmı alüminyum (Al), kobalt (Co), vanadyum (V) gibi bitkiler için faydalı besin elementleri arasında yer almaktadır (Barker & Pilbeam, 2015). Bu elementlere ilaveten krom, kurşun, arsenik (As) metallerini de içeren daha geniş bir element listesi insan ve hayvanların sağlığı için ihtiyaç duyulan ağır metallerdendir (Barker & Pilbeam, 2015; Graham & ark., 2007; McDowel, 2003). Ekosistemlerde eser elementlerin ve ağır metallerin son derece yavaş gerçekleşen biyojeokimyasal döngüleri vardır ve döngüler, bu elementlerin çevredeki davranışlarını önemli ölçüde kontrol etmektedir. Eser elementler ve ağır metaller organik kirleticilerden farklı olarak parçalanamazlar fakat farklı ekosistemler arasında transfer olur ya da aynı ortamda farklı mineral yapılara dönüşür. Bu özellik ağır metallerin topraklarda ve sedimentlerde biriken kararlı ve kalıcı kirleticiler olmasına neden olur (Kabata-Pendias, 2011). Temelde bu elementler su fazı ile oksit mineralleri, kil mineralleri, primer mineraller, karbonat mineralleri, organik madde gibi katıfazlar arasında bir değişim ve dönüşüm reaksiyonlarına sahiptir. Genelde toprak ekosistemine ya çözünürlüğü yüksek kirleticilerle ya da çözünürlüğü düşük kirleticiler vasıtasıyla dahil olurlar. Her iki durumda değişen çevre koşullarına bağlı olarak farklı dönüşüm ve döngüler ortaya çıkar. Bu döngüleri tetikleyen koşullar: pH, toprakların inorganik adsorpsiyon yüzeylerinin miktar ve doğası, ilave olunan kirletici yükü, organik fazların ve şelatlayıcı ajanların miktar ve cinsleri, ortamda bulunan ikincil iyonların miktar ve cinsi vb. dir (Dhaliwal & ark., 2024; Keçeci, Usta & Uygur, 2020; Kabata-Pendias, 2011; Yu & ark., 2023).

¹ Prof. Dr., Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme AD., veliuygur@isparta.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-3971-7714

SONUÇ

Topraklarda ağır metallerin risk değerlendirmesinin yapılabilmesi için toprak özelliklerine bağlı olarak her bir ağır metalin davranışının bilinmesi gerekmektedir. Topraklarda adsorpsiyon izotermi- nin belirlenmesiyle ileride potansiyel olarak kirlenecek topraklardaki davranışlar hakkında bilgi sahibi olunurken aynı zamanda oluşabilecek katı fazların tahmin edilebilmesi de mümkündür. Bu bağlamda toprakların kapsamlı analizleri gerekmektedir. Elde edilen verilerin toprakta oluşabilecek katı fazlar ve iyonik türlerin tahmin edilebilmesi için bu maksatla geliştirilmiş paket programlar vasıtasıyla de- ğerlendirilmesi en uygun yaklaşımdır. Topraklardaki termodinamik açıdan stabil mineral fazların ve operasyonel jeokimyasal fraksiyonların bilinmesi toprakların tampon mekanizmalarının anlaşılmasın- da anahtar role sahiptir. Şelatlayıcı ajanlar ise kirlenmiş toprakların fitoremediasyonla ya da kimyasal yöntemlerle temizlenmesi sürecinde hareketliliği/çözünürlüğü düşük elementlerin biyo-alınabilirliği- nin artırılmasında kullanılabilecek bir araçtır.

KAYNAKLAR

- Ademiluyi FT, Nze JC. Sorption characteristics for multiple adsorptions of heavy metal ions using activated carbon from Ni- gerian bamboo. *J Mat Sci Chem Eng.* 2016; 4: 39-48.
- Al-Ghouti MA, Da'ana DA. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *J Hazard Ma- ter.* 2020; 393: 122383.
- Arbestain MC, Rodríguez-Lado L, Bao M, et al. Assessment of mercury-polluted soils adjacent to an old mercury-fulminate production plant. *Appl Environ Soil Sci.* 2009; 1-8.
- Ayawei N, Ebelegi AN, Wankasi D. Modelling and interpretation of adsorption isotherms. *J Chem.* 2017; e3039817
- Allen, V., Barker, A.V., Pilbeam, D.J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press, Boca Raton.
- Bacon JR, Davidson CM. Is there a future for sequential chemical extraction? *Analyst* 2008; 133(1): 25-46.
- Balan. E., Saitta, A.M., Mauri, F., et al. (2001). First-principles modeling of the infrared spectrum of kaolinite. In: *American mineralogist*, pp. 1321-1330.
- Bartlett, R.J., Ross, D.S. 2005. Chemistry of redox processes in soils. In MA Tabatabai & DL Sparks (eds), *Chemical processes in soils* (pp. 461-487). Madison, WI: Soil Science Society of America.
- Becquer T, Quantin C, Sicot M, et al. Chromium availability in ultramafic soils from New Caledonia. *Sci Total Environ.* 2003; 301(1-3): 251-261.
- Benzaoui T, Selatnia A, Djabali D. Adsorption of copper (II) ions from aqueous solution using bottom ash of expired drugs incineration. *Adsorpt Sci Technol.* 2017; 1- 16.
- Bigham, J., Fitzpatrick, M.R.W., Schulze, D.G. (2002). Iron oxides. In JB Dixon & DG Schulze (eds), *Soil Mineralogy with En- vironmental Applications* (pp. 323-366). SSSA Book Series 7. Madison, WI: SSSA.
- Bolster, C.H. (2007). <https://www.ars.usda.gov/midwest-area/bowling-green-ky/food-animal-environmental-systems-research/people/carl-bolster/sorption-isotherm-spreadsheet>.
- Brown, D.S., Allison, J.D. (1987). *MINTEQA1, an equilibrium metal spe-ciation model: Users Manual*. EPA/600/3-87/012. U.S. Environ. Protect. Agency, Athens, GA.
- Butnariu M. The heavy metal equilibrium in the soil. *J Ecosys Ecograph.* 2012; 2:e103. doi:10.4172/2157-7625.1000e103.
- Calabro, P.S. Impact of mechanical street cleaning and rainfall events on the quantity and heavy metals load of street sedi- ments. *Environ Technol.* 2010; 31(11): 1255-62.
- Calmano W, Hong J, Forstner U. Binding and mobilization of heavy-metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential. *Water Sci Technol.* 1993; 28(8-9): 223-235.
- Chitrakar R, Makita Y, Sonoda A. Cesium adsorption by synthetic todorokite type manganese oxides. *Bull Chem Soc Jpn.* 2014; 87: 733-739.
- Colombo C, Iorio E di, Liu Q, et al. Iron oxide nanoparticles in soils: environmental and agronomic importance. *J Nanosci Nanotech.* 2018; 18(1): 761-761.
- Çelebi O, Üzümlü Ç, Shahwan T, et al. A radiotracer study of the adsorption behavior of aqueous Ba²⁺ ions on nanoparticles of zero-valent iron. *J Hazard Mater.* 2007; 148(3): 761-767.
- Costa ETS, Guilherme LRG, Curi N, et al. Subproduto da indústria de alumínio como amenizante de solos contaminados com cádmio e chumbo. *Rev Bras Ciên Sol.* 2008; 32(6): 2533-2546.
- Costa ETS, Guilherme, LRG, Lopes G. et al. Mono- and multielement sorption of trace metals on oxidic industrial by-produ- cts. *Water Air Soil Pollut* 2012; 223: 1661-1670.
- Cui H, Ren W, Lin P, et al. Structure controlsynthesis of iron oxide polymorph nanoparticles through an epoxide precipitation route. *J Exp Nanosci.* 2013; 8: 7-8, 869-875,

- Dada AO, Ojediran JO, Okunola AA, et al. Modeling of biosorption of Pb(II) and Zn(II) ions onto pamrh: Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin-Raduskevich, Jovanovic, FloryHuggins, Fowler-Guggenheim and Kiselev comparative isotherm studies. *Int J Mech Engin Tech.* 2019; 10(2): 1048-1058.
- Datta SK (1981) *Principles and practices of rice production*. New York: Wiley Interscience.
- Davies, G., Ghabbour, E.A., Cherkasskiy, A., et al. (2001). Tight metal binding by solid phase peat and soil humic acids. In CE Clapp, MHB Hayes, N Senesi, et al. (Eds), *Humic substances and chemical contaminants* (pp. 371–395). Madison, WI: SSSA.
- De Boer, J.H. (1953). *The dynamical character of adsorption*. Oxford: Oxford University Press.
- Dhaliwal SS, Dubey SK, Kumar D, et al. Enhanced organic carbon triggers transformations of macronutrients, micronutrients, and secondary plant nutrients and their dynamics in the soil under different cropping systems-A review. *J Soil Sci Plant Nutr.* 2024. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01907-6>
- Dixon, J.B., White, G.N. (2002). Manganese oxides. In JB Dixon & DG Schulze (Eds), *Soil mineralogy with environmental applications* (pp. 367–388). SSSA Book Series 7. Madison, WI: SSSA.
- Dong W, Wang R, Li H, et al. (2023). Effects of chelating agents addition on ryegrass extraction of cadmium and lead in artificially contaminated Soil. *Water*, 2023; 15(10): 1929.
- Dong HC, Yoneda M, Feng L. Risk dynamic evolution index based on fraction transformation and its application to site risk assessment. *J Hazard Mater.* 2021; 412.
- Dubrovina TA, Losev AA, Karpukhin MM, et al. (2021). Gypsum soil amendment in metal-polluted soils-an added environmental hazard. *Chemosphere.* 2021; 281.
- Ebelegi, AN, Ayawei N, Wankasi D. Interpretation of adsorption thermodynamics and kinetics. *Open J Physic Chem.* 2020; 10: 166- 182.
- Edet UA, Ifelebuegu AO. Kinetics, isotherms, and thermodynamic modelling of the adsorption of phosphates from model wastewater using recycled brick waste. *Processes.* 2020; 8 (6): 665.
- Ehiomogbe P, Ahuchaogu I, Ahaneku I. Review of adsorption isotherms models. *ACTA Tech Corv – Bul Engin*, 2022; 4: 87-96.
- Ennaciri Y, Bettach M, Cherrat A, et al. Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution. *Mater Environ Sci.* 2016; 7 (6): 1925-1933.
- Erdogan S, Baysal A, Akba O, et al. Interaction of metals with humic acid isolated from oxidized coal. *Pol J Environ Stud.* 2007; 16, 671–675
- Evangelou MW, Ebel M, Schaeffer A. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil. Effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere*, 2007; 68(6): 989-1003.
- Farmer VC. Transverse and longitudinal crystal modes associated with OH stretching vibrations in single crystals of kaolinite and dickite. *Spectrochim Acta A-M.* 2000; 56 (5): 927–930.
- Fedotov PS, Spivakov BY. Static and dynamic methods of fractionation of forms of the elements in soils, silts and bottom sediments. *Uspekhi Khimii.* 2008; 77(7): 690-703.
- Flieger J, Kawka J, Płaziński W, et al. Sorption of heavy metal ions of chromium, manganese, selenium, nickel, cobalt, iron from aqueous acidic solutions in batch and dynamic conditions on natural and synthetic aluminosilicate sorbents. *Materials.* 2020; 13(22): 5271.
- Fritz W, Schluender EU. Simultaneous adsorption equilibria of organic solutes in dilute aqueous solutions on activated carbon. *Chem Engin Sci.* 1974; 29(5): 1279–1282.
- García EM, Bastidas C, Cruz-Motta JJ, et al. Metals in waters and sediments of the Morrocoy National Park, Venezuela: Increased contamination levels of Cd over time. *Water Air Soil Poll.* 2011; 214(1-4): 609-621.
- Gökmen F, Uygur V. (2022a). Topraklarda şelat dengesi. Ü Ayata (Ed), *Ziraat & Orman, Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler* içinde (s 17-44). Ankara: Gece Publishing.
- Gökmen F, Uygur V. (2022b). Bahçe bitkilerinde mikroelement gübreleme stratejileri. NT Güneş, Mİ Odabaşıoğlu, F İşlek (Eds), *Bahçe Bitkileri Faaliyetlerinde Yenilikçi Yaklaşımlar-2* (s. 143-164). Adıyaman: Iksad Publications.
- Gondar D, López R, Fiol S, et al. Cadmium, lead, and copper binding to humic acid and fulvic acid extracted from an ombrotrophic peat bog. *Geoderma* 2006; 135: 196-203.
- Graham RD, Welch RM, Saunders DA, et al. Nutritious subsistence food systems. *Adv Agron.* 2007; 92: 1–74.
- Guren MG, Putnis CV, Montes-Hernandez G, et al. Direct imaging of coupled dissolution-precipitation and growth processes on calcite exposed to chromium-rich fluids. *Chem Geol.* 2020; 19770.
- Gustafsson K, Karlberg GS, Andersson S. Infrared spectroscopy of physisorbed and chemisorbed N₂ in the Pt(111)(3x3)N₂ structure. *J Chem Phys.* 2007; 127(19): 194708.
- Hamdaoui O, Naffrechoux E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon. Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. *J Hazard Mater.* 2007; 147(1-2): 381–394.
- Han FX. 2007. *Biogeochemistry of trace elements in arid environments*. Dordrecht: Springer.
- Han FX, Banin A, Su Y, et al. 2002. Industrial age anthropogenic inputs of heavy metals into the pedosphere. *Naturwissenschaften.* 2002; 89: 497–504.
- Han FX, Su Y, Monts DL, et al. Assessment of global industrial-age anthropogenic arsenic contamination. *Naturwissenschaften.* 2003; 90: 395–401.

- He G, Pan G, Zhang M, et al. 2011. Coordination structure of adsorbed Zn(II) at water-TiO₂ interfaces. *Environ Sci Technol.* 2011; 45 (5): 1873–1879.
- Hill TL. Statistical mechanics of multimolecular adsorption II. Localized and mobile adsorption and absorption. *J Chem Phys.* 1946; 14 (7): 441–453.
- Huang LH, Yu CH, Hopke PK, et al. Trivalent chromium solubility and its influence on quantification of hexavalent chromium in ambient particulate matter using EPA method 6800. *JAWMA.* 2014; 64(12): 1439–1445.
- Huang, P.M., Wang, M.K., Kämpf, N., et al. (2002). Aluminum hydroxides. In JB Dixon & DG Schulze (Eds), *Soil mineralogy with environmental applications* (pp. 261–289). SSSA Book Series 7. Madison, WI: SSSA.
- Hubbe MA, J. Park J, Park S. Cellulosic substrates for removal of pollutants from aqueous systems: A review. Part 4. Dissolved petrochemical compounds. *BioResour.* 2014; 9(4): 7782–7925.
- Husson O. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil.* 2013; 362(1-2): 389–417.
- Jakubus M, Graczyk M. Availability of nickel in soil evaluated by various chemical extractants and plant accumulation. *Agro-nomy-Basel* 2020; 10(11): 1805.
- Jozanikohan G, Abarghoeei MN. 2022. The Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis for the clay mineralogy studies in a clastic reservoir. *J Pet Explor Prod Technol*, 2022; 12: 2093–2106.
- Julien CM, Massot M, Poinignon C. Lattice vibrations of manganese oxides - Part 1. Periodic structures. *Spectrochim Acta A-M.* 2004; 60(3): 689–700.
- Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida: CRC Press.
- Karlsson T, Persson P, Skyllberg U. Complexation of copper(II) in organic soils and in dissolved organic matter - EXAFS evidence for chelate ring structures. *Environ Sci Technol.* 2006; 40(8): 2623–2628.
- Karlsson T, Persson P. Coordination chemistry and hydrolysis of Fe(III) in a peat humic acid studied by X-ray absorption spectroscopy. *Geochim Cosmochim Acta*, 2010; 74(1): 30–40.
- Keçeci M, Usta S, Uyur V. Lead adsorption in soils and the effect of soil properties: case study from Turkey. *Environ Earth Sci.* 2020; 79(18): 416.
- Koble RA, Corrigan TE. Adsorption isotherms for pure hydrocarbons. *Indust Engin Chem.* 1952; 44(2): 383–387.
- Kozerozhets IV, Panasyuka GP, Semenova EA, et al. Effect of alkaline medium on hydrothermal synthesis of boehmite. *Russ J Inorg Chem.* 2021; 66 (3): 427–432.
- Kosmulski M. 2023. The pH dependent surface charging and points of zero charge. X. Update. *Adv Coll Interface Sci.* 2023; 319: 102973.
- Kosmulski M. Compilation of PZC and IEP of sparingly soluble metal oxides and hydroxides from literature. *Adv Coll Interface Sci.* 2009; 152(1-2): 14–25.
- Kumara PS, Ramalingamb S, Kiruphac SD, et al. Adsorption behaviour of Ni(II) onto cashew nut shell: in equilibrium, thermodynamics, kinetics, mechanism and process design. *Chem Engin J.* 2011; 167 (1): 122–131.
- Krupka, K.M., Serne, R.J. 2002. *Geochemical Factors Affecting the Behavior of Antimony, Cobalt, Europium, Technetium, and Uranium in Vadose Sediments*. Washington: Pacific Northwest National Laboratory Richland.
- Li FH, Yin T, Zhu W, et al. Understanding the role of manganese oxides in retaining harmful metals: Insights into oxidation and adsorption mechanisms at microstructure level. *Eco-Environ Health* 2024; 3(1): 89–106.
- Li X, Azimzadeh B, Martinez CE, et al. Pb mineral precipitation in solutions of sulfate, carbonate and phosphate: measured and modeled pb solubility and Pb²⁺ activity. *Minerals*, 2021; 11(6): 620.
- Lindsay, W.L. (2001). *Chemical Equilibria in Soils*. New Jersey: The Blackburn Press.
- Madejová J. FTIR techniques in clay mineral studies. *Vib Spectrosc.* 2003; 31(1): 1–10.
- McDowell LR (2003) *Minerals in animals and human nutrition* (2nd Edition). Amsterdam Elsevier Science BV.
- McKenzie ER, Money JE, Green PG, et al. Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples. *Sci Total Environ.* 2009; 407(22): 5855–60.
- McKenzie RM. Adsorption of lead and other heavy-metals on oxides of manganese and iron. *Aust J Soil Res.* 1980; 18(1): 61–73.
- McPhail, D.C., Summerhayes, E., Welch, S., et al. (2003) The geochemistry of zinc in the regolith. In IC Roach (Ed.), *Advances in Regolith* (pp. 287–291). CRC for Landscape Environments and Mineral Exploration.
- Nayak PS, Singh BK. Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. *Bull Mater Sci.* 2007; 30: 235–238.
- Nizam T, Krishnan KA, Joseph A, et al. Isotherm, kinetic and thermodynamic modelling of liquid phase adsorption of the heavy metal ions Zn(II), Pb(II) and Cr(VI) onto MgFe₂O₄ nanoparticles. *Groundw Sustain Dev.* 2024; 25: 101120.
- Nordstrom, D.K., Plummer, L.N., Wigley, T.M.L. (1979). A comparison of computerized chemical models for equilibrium calculations in aqueous systems. In EA Jenne (Ed.), *Chemical modeling in aqueous systems* (pp. 857–892). Washington: Am Chern Soc.
- Ören, S. (2023). Su baskımı ve organik madde etkileşiminin tetiklediği redoks potansiyelindeki değişimlerin topraklarda bitki besin elementleri yarayışlılığına, fosfor ve çinko adsorpsiyonuna etkisi. Isparta: ISUBÜ Yüksek Lisans Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Ören S, Uyur V, Sukuşu E. (2018). Farklı özelliklerdeki topraklarda redoks potansiyelindeki değişimlerin Fe ve Mn yarayışlılığına etkisi. *Mediterran Agric Sci.* 2018; 31(3): 301–309.
- Parker JrGR. 1995. Optimum isotherm equation and thermodynamic interpretation for aqueous 1,1,2-trichloroethene adsorption isotherms on three adsorbents. *Adsorption* 1995; 1(2): 113–132.

- Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., Plummer, L.N. (1982). PHREEQE-Acomputer program for geochemical calculations. Rep. WRI-80-96. Reston, VA: US Geol Surv.
- Patrick, J.W.H., Reddy, C.N. (1978) Chemical changes in rice soils. In IRRI (Ed), *Soils and Rice* (pp. 361-379). Manila: The International Rice Research Institute.
- Peters RW. Chelant extraction of heavy metals from contaminated soils. *J Hazard Mater.* 1999; 66(1-2): 151–210.
- Piccin JS, Dotto GL, Pinto LAA. Adsorption isotherms and thermochemical data of Fd&C red N 40 binding by chitosan. *Bras J Chem Eng.* 2011; 28: 295–304.
- Poulin BA, Aiken GR, Nagy KL, et al. Mercury transformation and release differs with depth and time in a contaminated riparian soil during simulated flooding. *Geochim Cosmochim Acta* 2016; 176: 118-138.
- Ponizovsky AA, Allen H E, Ackerman AJ. Effect of field aging on nickel concentration in soil solutions. *Commun Soil Sci Plan.* 2008; 39(3-4): 510-523.
- Poot J, Verhaert M, Dekoninck A, et al. Characterization of weathering processes of the giant copper deposit of Tizert (Igherm Inlier, Anti-Atlas, Morocco). *Minerals* 2020; 10: 620.
- Ramadoss R, Subramaniam D. Adsorption of chromium using blue-green algae-Modeling and application of various isotherms. *Int J Chem Technol.* 2018; 10: 1–22.
- Rania F, Yousef NS. Equilibrium and kinetics studies of adsorption of copper (II) on natural biosorbent. *Int J Chem Engin Applic.* 2015; 6: 5.
- Rosende M, Savonina EY, Fedotov PS, et al. Dynamic fractionation of trace metals in soil and sediment samples using rotating coiled column extraction and sequential injection microcolumn extraction: a comparative study. *Talanta* 2009; 79(4):1081-8.
- Saalfeld H, Wedde M. Refinement of the crystal structure of gibbsite, $Al(OH)_3$. *Z Krist Cryst Mater.* 1974; 139: 129–135.
- Sánchez-Pastor N., Cruz JA, Gigler AM, et al. Microprobe and Raman investigation of the zoning in synthetic $Ca(CO_3, CrO_4)$ crystals. *Macla* 2010; 13: 197–198.
- Sahuquillo A, López-Sánchez JF, Rubio R, et al. Use of a certified reference material for extractable trace metals to assess sources of uncertainty in the BCR three-stage sequential extraction procedure. *Anal Chim Acta* 1999; 382(3): 317-327.
- Senesi, N., Loffredo, E. 2005. Metal ion complexation by soil humic substances. In MA Tabatabai & DL Sparks (Eds), *Chemical Processes in Soils* (pp. 563–617). SSSA Book Series 8. Madison, WI: SSSA.
- Seo DC, Yu K, DeLaune RD. Comparison of monometal and multimetal adsorption in Mississippi River alluvial wetland sediment: Batch and column experiments. *Chemosphere* 2008; 73(11): 1757–1764.
- Shahi, M, Shafi S, Aboud MFA, et al. Impacts of Co^{2+} and Gd^{3+} co-doping on structural, dielectric and magnetic properties of $MnFeO$ nanoparticles synthesized via micro-emulsion route. *Ceram Int.* 2017; 43(16): 14096-14100.
- Shuman LM. Effect of liming on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc among soil fractions. *Soil Sci Soc Am J.* 1986; 50(5): 1236-1240.
- Siebielec G, Chaney RL. Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Commun Soil Sci Plan.* 2006; 37(1-2): 163-179.
- Sivula K, Zboril R, Le Formal R, et al. Photoelectrochemical water splitting with mesoporous hematite prepared by a solution-based colloidal approach. *J Am Chem Soc.* 2010; 3: 7436–7444.
- Sogaard, E.G., Madsen, H.T. (2013). Groundwater chemistry and treatment: Application to Danish waterworks. In W Elshorbagy (Ed), *Water Treatment* (pp. 223-246). Hong Kong: InTech.
- Sposito, G. (1984). *The surface chemistry of soils*. New York: Oxford University Press.
- Sposito, G., Mattigod, S.V. (1980). *GEOCHEM: A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems*. Riverside, CA: Kearney Found Soil Sci.
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus chemistry. Genesis, composition, reactions*. 2nd Edition. New York: Wiley.
- Stevenson, F.J., Ardakani, M.S. (1972). Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In *Micronutrients in Agriculture* (pp. 79-114). Madison, Wisconsin: SSSA.
- Qi SQ, Ji HX, Shen DS, et al. Optimization strategies for Cd and Pb immobilization in soil using meta-analysis combined with numerical modeling. *Pedosphere* 2023; 33(1): 61-73.
- Tack FMG, Van Ranst E, Lievens C, et al. Soil solution Cd, Cu and Zn concentrations as affected by short-time drying or wetting: The role of hydrous oxides of Fe and Mn. *Geoderma* 2006; 137(1-2): 83-89.
- Tani Y, Miyata N, Iwahori K, et al. Biogeochemistry of manganese oxide coatings on pebble surfaces in the Kikukawa River System, Shizuoka, Japan. *Appl Geochem.* 2003; 18(10): 1541-1554.
- Tornquist A, Valencia E, AlZamora L, et al. The Hill-de Boer equation in the adsorption of water on quartz. *J Colloid Interface Sci.* 1978; 66(3): 415–420.
- Uygur V, Karaduman MA, Kecici M, et al. Competitive adsorption of heavy metals in different soils. *Fres Environ Bull.* 2017a; 26(10): 6205-6211.
- Uygur V, Celik CS, Sukusu E, et al. The Effect of particle size on phosphorus adsorption kinetic and desorption by Turkish natural zeolites. *Fres Environ Bull.* 2017b; 26(10): 6253-6260.
- Uygur V, Rimmer DL. Reactions of zinc with iron-oxide coated calcite surfaces at alkaline pH. *Eur J Soil Sci.* 2000; 51(3): 511-516.

- Vepraskas, M.J., Craft, C.B. (2016). *Wetland soils: Genesis, hydrology, landscapes and classification*. Boca Raton: CRC press.
- Vijayaraghavan K. Biosorption of lanthanide (neodymium) using *Ulva lactuca*: mechanistic study and application of two, three, four and five parameter isotherm models. *J Environ Biotech Res.* 2015; 1(1): 1–8.
- Wang YN, Huang ZB, Sheng LL, et al. Effect of modified humic acid residue on the adsorption and passivation of Hg^{2+}/Pb^{2+} in solution and soil. *J Mol Liq.* 2023; 377.
- Weerasooriya R, Dharmasena B. Pyrite-assisted degradation of trichloroethene. *Chemosphere* 2001; 42(4): 389-396.
- Weerasooriya R, Dharmasena B, Aluthpatabendi D. Copper-gibbsite interactions: an application of 1-pK surface complexation model. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Asp.* 2000; 170(1): 65-77.
- Wu Q, Cui Y, Tang X, et al. Extraction of heavy metals from sludge using biodegradable chelating agent N, N-bis (carboxymethyl) glutamic acid tetrasodium. *Huanjing Kexue* 2015; 36: 1733–1738.
- Yang H, Lu R, Downs RT, et al. Goethite, $\alpha\text{-FeO(OH)}$, from single-crystal data. *Acta Crystallog Sec E.* 2006; E62: i250–i252.
- Yu HJ, Li CC, Yan J, et al. A review on adsorption characteristics and influencing mechanism of heavy metals in farmland soil. *Rsc Advances*, 2023; 13(6): 3505-3519.
- Yu Q, Ohnuki T, Kozai N, et al. Quantitative analysis of radiocesium retention onto birnessite and todorokite. *Chem Geol.* 2017; 470: 141–151.
- Ziemniak SE, Jones ME, Combs KES. Solubility and phase behavior of Cr(III) oxides in alkaline media at elevated temperatures. *J Solut Chem.* 1998; 27(1): 33–66.
- Zoumis T, Schmidt A, Grigorova L, et al. Contaminants in sediments: remobilisation and demobilisation. *Sci Total Environ.* 2001; 266(1-3): 195-202.

BÖLÜM 6

TOPRAKLARIN TUZLULUK, ALKALİLİK VE ASİTLİĞİNDEN KAYNAKLI KİRLİLİĞİ

Mehmet Ali ÇULLU¹, Kadir SALTALI²

GİRİŞ

Toprak kirliliği; doğal ya da antropojen faktörlerin etkisi ile toprakların yapısal özelliklerinin bozulmasıdır. Toprakların doğal özelliklerinin bozulmasında en önemli faktörler iklim ve insan faktörüdür. Kurak ve yarı kurak iklim koşullarında çorak (tuzlu, tuzlu-alkali ve alkali topraklar) topraklar, yağışlı iklim koşullarında asidik toprakların oluşumu ile toprakların bazı özellikleri bozulmakta ve normal üretim fonksiyonunu yerine getirememektedir. Toprak tuzluluğu ve asitliği doğrudan kirlilik olarak değerlendirilmemekle birlikte, toprak bozunumuna ve verim kayıplarına neden olmaktadır.

Tuzlulaşma genelde düşük yağışlı kurak ve yarı kurak iklimlerde ve yüksek taban suyu varlığında meydana gelmekte (Qadir & ark., 2014) ve drenaj sistemleri kurulmadan yapılan sulamalar tuzun kök bölgesine taşınmasını tetikleyerek toprağın birçok özelliği ve bitki verimliliğini olumsuz etkilenmektedir (Ghassemi & ark.,1995). Dünya genelinde 100 ülke toprak tuzluluğu sorunu yaşamakta (Rengasamy, 2006) ve yaklaşık 1 milyar hektar arazi tuzluluk/alkalilik probleminden etkilenirken, (FAO, 1992), 2,78 milyon hektar alanda tuzluluk ve sodiklikten (alkalilik) dolayı tarımsal üretim yapılamamaktadır (Ghosh & ark., 2021). Günümüzde dünyada sulanan alanların yaklaşık %20'si tuzluluk probleminden etkilenmektedir (Ghassemi & ark., 1995). Türkiye'deki tuzdan etkilenen alan miktarı net olarak bilinmemekle birlikte, yaklaşık 1,5 milyon hektarlık çorak arazi, mevcut sulanan arazilerin %30'unu, toplam sulanabilir arazilerin %11'ini ve ekonomik sulanabilir arazilerin %17'sini oluşturmaktadır (Çullu, 2011).

Asitlik ve bazlık toprakların dinamik bir özelliği olup, bitkilerin gelişimi ve verimini doğrudan etkilemektedir. Toprak pH değerlerinin çok yüksek veya çok düşük olması, kültür bitkilerinin ekonomik üretimini sınırlamaktadır.

¹ Prof. Dr., Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D., macullu@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-9641-3867

² Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., kadir@ksu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-5301-1350

Dünyada asidik toprakların yaygınlığı, mineral toksisitesi, besin eksikliği ve zayıf su alımı kombinasyonu ile verimliliği engelleyerek tarım için büyük bir zorluk oluşturur. Toprağı kireç, magnezyum veya kalsiyum ile düzeltme gibi geleneksel iyileştirme yöntemleri pahalı ve çevre dostu değildir. Toprak asidikliğini azaltmanın en etkili yolu, asit toleranslı bitki çeşitlerinin yetiştirilmesidir. Bitkilerin asidik topraklara dayanma yeteneği önemli ölçüde değişir ve bu toleransı etkileyen önemli bir faktör alüminyum toksitesidir.

Toprak tuzlulaşması, toprak kirliliği açısından ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Yüksek tuz konsantrasyonları bitkilerde ozmotik stresi artırarak su ve besin alımını engeller, bu da bitki büyümesini ve ürün verimini olumsuz etkiler. Özellikle tuzlu-alkali ve alkali (sodik) topraklar, toprak yapısının bozulmasına ve su geçirgenliğinin azalmasına neden olur. Bu durum, yüzey akışını ve erozyonu artırarak çevresel kirlilik riskini yükseltir.

Tuzluluk, toprak mikroorganizma kompozisyonunu ve aktivitelerini olumsuz etkileyerek toprak verimliliğini ve biyolojik aktiviteleri azaltır. Toprak tuzlulaşması, özellikle sulama ve gübreleme yönetiminde yapılan hatalar sonucunda artar ve uzun vadede tarımsal üretkenliği tehdit eder. Sulama suyunun kalitesiz olması, yetersiz drenaj sistemleri ve yanlış sulama teknikleri, tuzluluğun artmasına katkıda bulunan başlıca etkenlerdir.

Toprak tuzlulaşması, sürdürülebilir toprak yönetimi ve çevresel koruma stratejileri kapsamında ele alınması gereken önemli bir kirlilik faktörüdür. Tuzlu toprakların rehabilitasyonu, genellikle maliyetli ve zaman alıcıdır. Bu nedenle, tuzlu toprakların yönetiminde önleyici tedbirler büyük önem taşır. İyi drenaj sistemleri kurulması, kaliteli sulama suyu kullanılması ve uygun sulama tekniklerinin uygulanması, tuz birikimini önlemek için gereklidir.

Toprak tuzluluğu ve asitliği, tarım ve çevre için büyük tehditler oluşturan önemli toprak kirliliği faktörleridir. Her iki durum da bitki büyümesini ve ürün verimini olumsuz etkileyerek tarımsal üretkenliği düşürür ve çevresel bozulmayı artırır. Tuzluluk ve asitliğin etkili bir şekilde yönetimi, sürdürülebilir tarım uygulamaları ve çevresel koruma stratejileri için kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, uygun toprak yönetim stratejilerinin benimsenmesi, toprak verimliliğinin korunması ve çevresel bozulmanın minimize edilmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Ağca, N. 1990. Harran Ovası'nda Bazı Yaygın Toprak Serilerinde Değişebilir Sodyum Oranı (ESR) Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) İlişkilerinin Saptanması. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi.
- Anonim, 2024a. https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_pH (Erişim, 20.05.2024)
- Anonim, 2024b. <https://extension.oregonstate.edu/catalog/pub/pnw-601-managing-salt-affected-soils-crop-production>. Erişim, 20.05.2024).
- Anonim 2024c. <https://www.agric.wa.gov.au/soil-acidity/effects-soil-acidity> (Erişim, 20.05.2024).
- Bahtiyar, M., Bayraklı, F., Brohi, A.R., ve ark., 1996. Türkiye'deki Yağışların Kalite Analizi. TC Devlet Meteoroloji İş. Gen. Müd.
- Barrow, N.J. 2017. The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant Soil*, 410; 401–410.
- Bresler, E., Charter, D. L., 1982. Saline and Sodic Soils. Springer Verlag. Principles-Dynamics-Modelling. Berlin Heidelberg, New York. 227.
- Brown, J. G., Thorp, J., & Hope, H. (1954). The Classification of Soils. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Breker, J. 2024. Acidic Soil: Properties, Management, and Remediation Techniques. New York: Soil Science Publications.
- Brady, N.Y. 1990. The Nature and Properties of Soils. 10th ed. Macmillan Pub. Com. NY.
- Coyne, M.S., Thompson, J.A. 2006. Fundamental Soil Science. Thomson Delmar Learning. 5 Maxwell Drive P.O. Box 8007, NY.
- Çullu M. A. 2011. Toprak Tuzlulaşması. Çiftçi Bilgilendirme Kitabı. T.C. GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. Şanlıurfa.
- Dixon, J.B., Weed, S.B. 1989. Minerals in Soils Environments. Second Ed. SSSA, Madison, USA.
- FAO, 1992. The Use of Saline Water for Crop Production. Irrigation and Drainage Paper No. 48, FAO, Rome.

- Fageria, N.K., Baligar, V.C., Wright, R.J. 1988. Aluminum toxicity in crop plants. *Journal of Plant Nutrition*, 11:303-319.
- Qadir, M. E. Quill  rou, V. Nangia, G. Murtaza, et al., 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration Natural Resources Forum 38, 282–295
- Qadir, M. and Schubert, S. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation and Development*. 13:275-294
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, H.A. 1995. Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies. CABI Publishing: Wallingford.
- Ghosh, P., Islam, M., Islam, S. 2021. Effect of Salinity Stress on Growth and Yield of Forage Genotypes. *Agr. Sciences*, 12, 949-959.
- G   demir,  .H. 2006. Türkiye G  bre ve Gübreleme Rehberi. Geni  letilmi   5. Baskı.TK  B Tar. Ara   Gen M  d. Toprak ve G  bre Ara   Ens. M  d. Yayınları. Genel Yayın NO:231.Ankara
- Haktanır, K., Arcak, S. 1997. Toprak Biyolojisi: Toprak Ekosistemine Giriş. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:126.
- Jiang Y., Li Y., Zeng Q., Wei J., Yu H. 2017. The effect of soil pH on plant growth, leaf chlorophyll fluorescence and mineral element content of two blueberries. *Acta Horticulture*, 1180, 269–276.
- Kamhorts, A., Bolt, G.H. 1978. Saline and Sodic soils. (Eds:G.H. Bolt ve M.G.M. Bruggenwert) Soil Chemistry. A Basic Elements. Elsevier Scientific Pub. Com. Oxford-New York. Sh;155
- Kochian L. V. , M.A. Pineros, J.P. Liu, J.V. Magalhaes. 2015. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. *Annu. Rev. Plant Biology*, 66; 571-598
- Kutlu, E., Demird  gen, R.E. 2023. Investigation of Heavy Metal Content of Turkish Teas and Tea Infusions. Karatekin Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, Cilt:02, Sayı:1;13-21
- Lon  ari   Z., Karali   K., Popovi   B., Rastija D., Vukobratovi   M. 2008. Total and plant available micronutrients in acidic and calcareous soils in Croatia. *Cereal Research. Communication*, 36,
- Maas, E. V., Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance: Current assessment. *Journal Irrigation Drainage Division ASCE*, 103, 115–134.
- McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. *Journal of Soil Science*, 10 (3), 123-135.
- Mohamed N.A and Amer, F. 1972. Sodium carbonate formation in Ferhash area and possibility of biological dealkalization. Proc. Internant Symp. on New Developments in the Field of Salt Affected Soils. 4-9 Desember 1972, Cairo.
- Oru  , N. 1970.   đir Ovası   orak Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal   zellikleri. A  , Ziraat Fakültesi Yayınları, No:80.
-   zbek.H., Kaya.Z., G  k.M., Kaptan,H. 1993. Toprak Bilimi (  viri: Schachtchabel, P., Blume, H.P., Brümmer,G., Hartge, K.H., Schvertman,U.S).   .  Zir. Fak. Genel Yayın No: 73, Adana
- Price, G. 2006. Australian Soil Fertility Manual; Fertilizer Industry Federation of Australia, Inc. & CSIRO: Collingwood, Australia.
- Rengasamy, P. 2006. World Salinization with Emphasis on Australia. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1017-1023.
- Richards L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils . U.S. Department Agriculture Handbook.
- Saltalı, K. 2015.   orak Toprakların Oluşumu, Islahı ve Yönetimi. Eds; Erşahin S.,   zta  , T., Namlı, A., Karahan, G. Toprak Amenajmanı. Sayfa; 507-532. Gazi Kitabevi. Ankara
- Saltalı, K. 2015. Toprak Asitliği ve Yönetimi. Eds; Erşahin S.,   zta  , T., Namlı, A., Karahan, G. Toprak Amenajmanı. Sayfa; 302-3026. Gazi Kitabevi. Ankara
- Saltalı, K., Derici, M.R.1999. Tokat-Kazova Topraklarının Alkalile  me Durumunun Belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23, Ek Sayı 3, 657-663
- Saltalı, K., Nedirli, A.2021.Phosphorus sorption by gyttja and its effect on the pH value and phosphorus in acidic soils. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*: Vol. 45;402-410.
- Sađlam, M.T. 2008. Toprak Kimyası. Namık Kemal   ni. Zir. Fak. Yayın No: 1. Tekirdağ.
- Sathyaseelan, N., & Karthika, K. S. (2019). Aluminum toxicity in soil and plants. *Soil Health/Fertility Management: Knowledge*, 2, 1-19.
- Sezen, Y. 1991. Toprak Kimyası. A.  . Zir. Fak Yay. No: 127. Erzurum.
- Smith, J. 2020. Effects of Precipitation Regimes on Soil pH: A Meta-Analysis of Global Studies. *Environmental Research Letters*, 35(4), 567-580.
- Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. In Agricultural Salinity Assessment and Management, Tanji KK (ed.). Manuals and Reports on Engineering Practices No. 71. American Society of Civil Engineers: New York; 1-17.
- Ueno, K. 2004. A mechanism of soil acidification in acid sulfate soils. *Annual Report of Res. Ins. for Biological Function*,4:25-33.
- Usta, 1995. Toprak Kimyası. A.  . Ziraat Fak. Yayınları. Yayın No:1387, Ankara.
- Van Genuchten, M. T., Hoffman, G. J. 1984. Analysis of crop salt tolerance data in Soil salinity under irrigation: Processes and management: *Ecology studies* 51, I. Shainberg
- Vonueks  ll H. R., E. Mutert. 1995. Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil*, 171; 1-15
- Zhao X.Q., R.F. Chen, R.F. Shen. 2014. Coadaptation of plants to multiple stresses in acidic soils. *Soil Science*, 179;503-513
- Zhu X.F., ve R.F. 2023. Shen, Towards sustainable use of acidic soils: Deciphering aluminum-resistant mechanisms in plants, *Fundamental Research*,

RADYONÜKLİTLER VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Sultan ŞAHİN BAL¹, Kenan BULCAR², Mustafa TOPAKSU³

GİRİŞ

Radyoizotopların büyük bir kısmının keşfi, Becquerel ile Pierre ve Marie Curie'nin öncülük ettiği çalışmalar sayesinde mümkün olmuştur. Bu çalışmaların ardından, radyoaktiflik alanında kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Doğal radyoaktif çekirdekler, kendilerine özgü bozunma şekilleri ve kimyasal davranışları sayesinde tanımlanabilir. Rutherford ve Soddy, radyoaktif atomların farklı türde radyasyon yayarak daha hafif atomlara dönüştüğünü öne sürmüşlerdir.

Uzaydan gelen iyonlaştırıcı radyasyon (kozmetik radyasyon), yeryüzünü sürekli olarak etkiler. Kozmik radyasyon ve doğal kaynaklardan yayılan benzer radyasyon türleri, arka plan radyasyonu (background radyasyonu) olarak adlandırılır. Radyasyon, yüksek hızlı parçacıklar ya da farklı enerji seviyelerine sahip elektromanyetik dalgalar yoluyla enerjinin ortama aktarılmasıdır. Doğal radyoaktif maddeler; toprak, kaya, bina duvarları ve zeminleri gibi alanların yanı sıra içtiğimiz su ve tükettiğimiz gıdalarda da bulunur.

Doğada kendiliğinden bulunan ya da başka atomların bozunması sonucu ortaya çıkan doğal radyoaktivitenin önemli bir bölümü, toprak ve kayalardaki radyoaktif cevherlerden kaynaklanır. Genellikle magmatik kayalar, sedimanter kayalara göre daha fazla radyoaktif element içerir. Başlıca radyoaktif elementler arasında ⁴⁰K, ⁸⁷Rb, ²³⁵Th, ²³⁵U ve ²³⁸U yer alır. İnsanların maruz kaldığı arka plan radyasyon düzeyleri, bölgenin jeolojik ve coğrafi özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Topraktaki radyoizotoplar, sürekli temas halinde oldukları sulara geçebilir ve böylece sulara doğal arka plan radyasyonu seviyeleri oluşur.

Radyoaktivite, bir atom çekirdeğinin parçacıklar veya elektromanyetik dalgalar yayarak kendiliğinden bozunmasıdır. Bu süreçte alfa (α) ve beta (β) parçacıkları ile gama (γ) ışınları açığa çıkar.

¹ Prof. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik A.D., ssahin@beu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-7896-0771

² Dr. Öğr. Üyesi, Iğdır Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, kenan.bulcar@igdir.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-6298-4223

³ Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nükleer Fizik A.D., mats@cu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0231-6813

Çizelge 2. Topraktaki Radyo-Çekirdeklerin Aktivite Konsantrasyonları ve Havadaki Absorplanmış Doz Hızı (Canbazoglu, 2004).

Radyo-çekirdek	Konsantrasyon (Bq/kg)		Doz hızı (nGy/saat)	
	Ortalama	Dağılım	Ortalama	Dağılım
Potasyum-40 (40K)	400	100-700	15	4-29
Toryum-232 (232Th) Serisi	45	4-130	22	2-81
Uranyum-238 (238U) Serisi	35	4-140	-	-
Radyum-226 (226Ra) Alt Serisi	35	8-160	18	4-74

TOPRAKTAKİ RADYOLOJİK KİRLİLİĞİN ÖNLENMESİ/TEMİZLENMESİ

Toprakta doğal olarak var olan radyolojik kirliliğe limit değerler altında ya da limit değerlerde ise kirlilik demek doğru bir ifade olmayabilir. Toprakta bulunan radyoizotoplar ya da radyoaktivite konsantrasyon seviyesini meydana getiren elementler Dünyanın oluşumundan itibaren var olmuştur. Kirlilik genellikle sonradan veya herhangi bir etki sonucunda ortaya çıkmaktadır. Toprak oluşumunun en başından itibaren içinde yer alan bu elementleri, limit değerlerini aşmadığı sürece, normal ve var olması gereken elementler olarak değerlendirmenin daha doğru olduğu düşünülebilir.

Herhangi bir etki sonucunda oluşan ve kirlenme olarak adlandırılacak durumlarda ise, önlemek ya da temizlemek mümkün olmayabilir. Radyoizotopların sebep olduğu kirlenme miktarının azaltılması beklemek yapılabilecek en makul seçenektir. Gübre vs. gibi kimyasal etkenlerin kullanılmaması veya kullanımının azaltılması da olumlu bir etkiye neden olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abate, T. (2022). The activity concentrations of radionuclides 226Ra, 232Th and 40K of soil samples in the case of Metekel Zone, Ethiopia. *EPJ-Nuclear Sciences & Technologies*. Vol. 8.
- Abdelouas, A. (2006). Uranium Mill Tailings: Geochemistry, Mineralogy, and Environmental Impact. *Elements*, 2(6), 335-341.
- AFAD. (2023). Radyasyon Nedir. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/kbrn/radyasyon-nedir>
- Ajayi O.S., Balogun K.O., Dike C.G. (2017). Spatial distributions and dose assessment of natural radionuclides in rocks and soils of some selected sites in southwestern Nigeria. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 23(6), 1373-1388.
- Akkaya, G. (2011). *Bursa ili Toprak Numunelerinde Radyonüklid Dağılımının incelenmesi*, Bursa: Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Aközcan, S. (2020). Toprak örneklerinde doğal radyoaktivite (²²⁶Ra, ²³²Th ve ⁴⁰K) ve radyasyon tehlikelerinin değerlendirilmesi. *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(1), 12-20.
- Aleksakhin R.M. (2009). Radioactive contamination as a type of soil degradation. *Eurasian Soil Science*, 42, 1386-1396.
- Allisy, A., Becquerel, H., (1896). The discovery of radioactivity. 68(1):3-10. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a031848>.
- ATSDR (1999). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological Profile for Ionizing Radiation*. Atlanta: ATSDR.
- Bateman, J.E., Sore, J., Knight, S.C., Bedford, P., (1994). A new gas counter for radioimmunoassay. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A* 348, 288-292.
- Becquerel, A.H., (1896a). On the rays emitted by phosphorescence. *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris* 122, 420.
- Becquerel, A.H., (1896b). On the invisible rays emitted by phosphorescent bodies. *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris* 122, 501.
- Becquerel, A.H., (1903). On radioactivity, a new property of matter. Nobel lecture, december 11, 1903.
- Becquerel, H., (1896). On the invisible radiations emitted by phosphorescent bodies. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 501
- Becquerel, H., (1896). On the invisible radiations emitted by phosphorescent bodies. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 501.
- Becquerel, H., (1896). On the invisible radiations emitted by uranium salts. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 689
- Becquerel, H., (1896). On various properties of uranium rays. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 123, 855

- Becquerel, H., (1896a). Emission of new radiations by metallic uranium. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 1086
- Becquerel, H., (1896b). On some new properties of invisible radiations emitted by various phosphorescent bodies. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 559.
- Becquerel, H., (1896c). On the different properties of invisible radiations emitted by uranium salts, and of the radiation of the anticathodic wall of a Crookes tube. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 762
- Becquerel, H., (1897). On the law of discharge in air of electrified uranium. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 124, 800
- Becquerel, H., (1897). Research on uranium rays. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 124, 438
- Becquerel, H., (1899). Note on some properties of the radiation of uranium and radioactive bodies. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 128, 771
- Becquerel, H., (1896). On radiation emitted by phosphorescence. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 122, 420
- Botezatu E., Iacob O. (2004). Radiological impact of TENORM on the environment in Romania. In: *Proceedings of the 11th International Congress of IRPA*; 23–28 May, Madrid. Madrid: IRPA; 2004. p. 1–10.
- Canbazoglu C. (2004). *Elazığ yöresinde doğal radyoaktivite tayini*, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Carvalho F.P., Oliveira J.M., Malta M. (2014). Radioactivity in soils and vegetables from uranium mining regions. *Procedia Earth and Planetary Science*, 8, 38–42.
- Cember H., Johnson T.E., Alaei P. (2008). Introduction to Health Physics. *MedPh*, 35(12), 5959.
- Chase, G., Rabinowitz, J., (1967). *Principles of Radioisotope Methodology*. Burgess Publishing Company, Minneapolis.
- Christa, E.P., Jojo, P.J., Vaidyan, V.K., Anilkumar, S., Eappen, K.P., (2011). Radiation dose in the high background radiation area in Kerala, India. *Radiat. Prot. Dosimetry*. 148 (4): p. 482–486. doi:10.1093/rpd/ncr198.
- Cizdziel J.V., Ketterer M.E., Farmer D., Faller S.H., Hodge V.F. (2008). ^{239, 240, 241}Pu fingerprinting of plutonium in western US soils using ICPMS: Solution and laser ablation measurements. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 390, 521–530.
- Cullen, T.L., Penna Franca, E. (Eds.), (1977). *Proceedings of the International Symposium on areas of high natural radioactivity: Pocos de Caldas, Brazil, June 16–20, 1975*. Academia Brasileira de Ciencias, Rio de Janeiro.
- Curie, P., Curie, M., Bemont, G., (1898). On a new, highly radioactive substance contained in pitchblende. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 127, 1215.
- Curie, P., Curie, S., (1898). On a new radioactive substance contained in pitchblende. *Compt. Rend. Acad. Sc. Paris* 127, 175.
- Dindaroglu T. (2014). The use of the GIS Kriging technique to determine the spatial changes of natural radionuclide concentrations in soil and forest cover. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 130.
- Dutreix, J., Dutreix, A., (1995). Henri Becquerel (1852–1908). *Med Phys.*, 22(11): 1869–75. <https://doi.org/10.1118/1.597442>.
- EPA (2024). *United States Environmental Protection Agency*. (12/07/2024 tarihinde <https://www.epa.gov> adresinden ulaşılmıştır).
- Flores-McLaughlin, J., Runnells, J., Gaza, R. (2017). Overview of non-ionizing radiation safety operations on the International Space Station, *J. Space Safety Eng.* 4, 61.
- Gabrieli, J., Cozzi, G., Vallenga, P., Schwikowski, M., Sigl, M., Eickenberg, J., et al. (2011). Contamination of Alpine snow and ice at Colle Gnifetti, Swiss/Italian Alps, from nuclear weapons tests. *Atmospheric Environment*, 45, 587–593.
- Gascoyne, M. (1982). *Geochemistry of the actinides and their daughters*. In: M. Ivanovich and R.S. Harmon (ed.) *Uranium Series Disequilibrium: Applications to Environmental Problems*. Oxford University Press, Oxford.
- Geller, J.E., Weil, J., Blumel, D., Rappaport, A., Wagner, C., Taylor, R. (2004) *The Concise Encyclopedia of Chemistry. Encyclopaedia of Science and Technology*. Columbus: The McGraw-Hill Companies, McGraw-Hill Professional.
- Genet M., (1995). The Discovery of Uranic Rays: A Short Step for Henri Becquerel but a Giant Step for Science, *Radiochim Acta*, 70–71:3–12. <https://doi.org/10.1524/ract.1995.7071.s1.3>.
- Gosse, J.C., Phillips, F.M., (2001). Terrestrial in situ cosmogenic nuclides: Theory and application. *Quaternary Science Reviews* 20, 1475–1560.
- Gruppen, C., Rodgers, M., (2016). *Radioactivity and Radiation*. ISBN 978-3-319-42330-2 (e-Book), DOI 10.1007/978-3-319-42330-2, 1-233, Springer.
- H. Geiger, W. Müller, Electron counting tube for the measurement of the weakest radioactivities, *Sciences* 16 (1928) 617-618.
- Holm, E., Samuelson, C., Peterson, R.B.R. (1981). *Natural radioactivity around a prospected uranium mining site in a Subarctic environment, in natural radiation environment*, K.G. Vohra et al., eds., New Delhi: Wiley Eastern.
- Hu, Q.-H., Weng, J.-Q., Wang, J.-S., (2010). Sources of anthropogenic radionuclide in the environment: a review, *J. Environ. Radioact.* 426–437, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.004>.
- IAEA (1974). *Fission Product on Nuclear Data (FPND), Vol. III, In: Proceedings of a Panel on Fission Product Nuclear Data*, 26–30 November 1973, Bologna. Vienna: IAEA.
- IAEA (1998). *Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*, Technical Reports Series No. 389. Vienna: IAEA.
- IAEA (2007). *International Atomic Energy Agency. IAEA Safety Glossary – Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*. Vienna: IAEA.
- IAEA (2024). *International Atomic Energy Agency*. (10/07/2024 tarihinde <https://www.iaea.org> adresinden ulaşılmıştır).
- ICRP (2024). *International Commission on Radiological Protection*. (15/07/2024 tarihinde <https://www.icrp.org> adresinden ulaşılmıştır).

- International Atomic Energy Association. (2022). Radioisotopes. Retrieved 07 12, 2022, from, <https://www.iaea.org/topics/nuclear-science/isotopes/radioisotopes>.
- Iurian, A.-R., Phaneuf, M.O., Mabit, L. (2015). *Mobility and bioavailability of radionuclides in soils*. In: Walther C, Gupta KD, editors. *Radionuclides in the Environment: Influence of Chemical Speciation and Plant Uptake on Radionuclide Migration*. Cham: Springer International Publishing.
- Jibiri, N., Okeyode, I. (2011). Activity concentrations of natural radionuclides in the sediments of Ogun River, Southwestern Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry*, 147(4), 555-564.
- Kamiya, K., et al. (2015). Long-term effects of radiation exposure on health. *The lancet*, 386(9992), 469-478.
- Karam, P. A., & Stein, B. P. (2009). *Radioactivity*. Infobase Publishing.
- Krivitskiy, P. Ye., Larionova, N. V., Baklanova, Yu. V., Aidarkhanov, A. O., Lukashenko, S. N. (2022). Characterization of area radioactive contamination of near-surface soil at the Sary-Uzen site in the Semipalatinsk test site. *Journal of Environmental Radioactivity*. 249, 106893.
- Landa, E.R., (2007). Naturally occurring radionuclides from industrial sources: characteristics and fate in the environment. *Radioactivity in the Environment*, Volume,10, ISSN 1569-4860, /DOI: 10.1016/S1569-4860(06)10010-8
- L'Annunziata, M. F. (Ed.). (2020). *Handbook of radioactivity analysis*. Academic press.
- Liden, K., Holm, E. (1985). *Measurement and dosimetry of radioactivity in the environment, in the dosimetry of ionizing radiation*, Vol. 1, K.R. Kase, B.E. Bjarnagard and F.H. Attix, eds., Orlando: Academic Press.
- Linnik, V.G., et al. (2020). Spatial Distribution of Heavy Metals in Soils of the Flood Plain of the Seversky Donets River (Russia) based on Geostatistical Methods. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-15.
- Lottermoser, B., Ashley, P. (2005). Tailings dam seepage at the rehabilitated Mary Kathleen uranium mine, Australia. *Journal of Geochemical Exploration*, 85(3), 119-137.
- Martin, A., Mead, S., Wade, B.O. (1997). European Commission Report EUR 17625 – *Materials Containing Natural Radionuclides in Enhanced Concentrations*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Mavi, B., Akkurt, I. (2010). Natural radioactivity and radiation hazards in some building materials used in Isparta, Turkey. *Radiat. Phys. Chem.*, 79, 933-937.
- Mould, R.F., (1998). The discovery of radium in 1898 by Maria Sklodowska-Curie (1867-1934) and Pierre Curie (1859-1906) with commentary on their life and times. *Br J Radiol.*, 71(852):1229-54. <https://doi.org/10.1259/bjr.71.852.10318996>.
- Mould, R.F., (1993). *A Century of X-rays and Radioactivity in Medicine: With Emphasis on Photographic Records of the Early Years* 1 ed. 1993 CRC Press Boca Raton 10.1201/9781315136271.
- Nair, M.K., Nambi, K.S., Amma, N.S., Gangadharan, P., Jayalekshmi, P., Jayadevan, S., et al., (1999). Population study in the high natural background radiation area in Kerala, India. *Radiat. Res.* 152 (Suppl. 6), S145-S148.
- Navas, A., Soto, J., Machín, J. (2002). Edaphic and Physiographic Factors Affecting the Distribution of Natural Gamma-emitting Radionuclides in the Soils of the Arnás Catchment in the Central Spanish Pyrenees. *European Journal of Soil Science*, 53(4), 629-638.
- Norris, R.S., Arkin, W.M. (1995). Known nuclear tests worldwide, 1945-1994. *Bulletin of the Atomic Sciences*, 51, 70-71.
- NRC (2012). National Research Council. *Uranium mining, processing, and reclamation*. In: *Uranium Mining in Virginia: Scientific, Technical, Environmental, Human Health and Safety, and Regulatory Aspects of Uranium Mining and Processing in Virginia*. Washington: National Academies Press, 96-123.
- OECD (2024). Nuclear Energy Agency. *Uranium 2014: Resources, production and demand*, 2014. (15/06/2024 tarihinde <http://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2012/7059-uranium-2011.pdf> adresinden ulaşılmıştır).
- Oluwadamilare Olagbaju, P., Bola Wojuola, O., Tshivhase, V. (2021). Radionuclides Contamination in Soil: Effects, Sources and Spatial Distribution, *EPJ Web of Conferences*, 253, 09006.
- OMÜ (2024). *Ondokuz Mayıs Üniversitesi (OMÜ) Çevre Bilimi ders notları*. (19/06/2024 tarihinde <https://avys.omu.edu.tr> adresinden ulaşılmıştır)
- PCCN (2024). Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear Test-Ban-Treaty. *General overview of the effects of nuclear testing*, 2015. (20/05/2024 tarihinde <http://www.ctbto.org/nuclear-testing/the-effects-of-nuclear-testing/general-overview-of-the-effects-of-nuclear-testing/> adresinden ulaşılmıştır).
- Pfeiffer, W.C., Penna-Franca, E., Ribeiro, C.C., Nogueira, A.R., Londres, H., Oliveira, A.E., (1981). Measurements of environmental radiation exposure dose rates at selected sites in Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.* 53 (4), 683-691.
- Právělie R. (2014). Nuclear weapons tests and environmental consequences: A global perspective. *Ambio.*, 43, 729-744.
- Radvanyi, P., Villain, J., (2017). The discovery of radioactivity. *CR Phys.*, 18(9-10): 544-50. <https://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.10.008>.
- Ramasamy, V., Senthil, S., Meenakshisundaram, V. (2009). Distribution of Natural Radionuclides and Minerals in Beach Sediments from North East Coast of Tamilnadu, India. *African Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(1-2), 15-20.
- Ramola, R., et al. (2011). Radionuclide Analysis in the Soil of Kumaun Himalaya, India, using Gamma ray spectrometry. *Current Science*, 906-914.
- Reichert-Brushett, A. (Ed.). (2023). *Marine pollution-monitoring, management and mitigation*. Springer Nature.
- Robertson, D.S. (1974). *Basal Proterozoic units as fossil time markers and their use in uranium prospecting in formation of uranium ore deposits*, pp. 495-512. Proceedings of a Symposium, Athens, Intl. Atom. Energy Agency, Vienna.

- Rogers, J.J.W. & Adams, J.A.S. (1969). *Uranium*, p. 92-A-1–92-G-7. In: K.H. Wedepohl (ed.) *Handbook of Geochemistry*. Springer-Verlag, New York.
- Rosenbusch, G., & de Knecht-van Eekelen, A. (2019). A New Kind of Rays. *Wilhelm Conrad Röntgen: The Birth of Radiology*, 79-113.
- Ruedig, E., Johnson, T.E. (2015). An evaluation of health risk to the public as a consequence of in situ uranium mining in Wyoming, USA. *Journal of Environmental Radioactivity*, 150, 170–178.
- Rutherford, E., (1903). The magnetic and electric deviation of the easily absorbed rays from radium. *Philos. Mag. Ser. 6*, 177e187.
- Sekiya, M., & Yamasaki, M. (2015). Antoine Henri Becquerel (1852–1908): a scientist who endeavored to discover natural radioactivity. *Radiological physics and technology*, 8, 1-3.
- Smičiklas, I., Jović, M., Šljivić-Ivanović, M., Mrvić, V., Čakmak, D., Dimović, S. (2015). Correlation of Sr²⁺ retention and distribution with properties of different soil types. *Geoderma*, 253–254, 21–29.
- Smičiklas, I., Šljivić-Ivanović, M. (2016). *Soil Contamination - Current Consequences and Further Solutions Radioactive Contamination of the Soil: Assessments of Pollutants Mobility with Implication to Remediation Strategies*. London: Intech Press.
- Steinhauser, G., Brandl, A., Johnson, T.E. (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 470–471, 800–817.
- Şahin, S. (2009). *Sivrice fay zonundaki radon değişimi ve doğal radyoaktivite*, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi.
- Şahin Bal, S., Doğru, M. (2013). Su ve toprak örneklerinde radon gazı yayılımının mevsimsel değişiminin incelenmesi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 192-196.
- Şahin Bal, S., Kuşat, M., Yılmaz, E., Kuluöztürk, M. F., Karatepe, Ş. (2016). *Bitlis yöresinde yetişen bazı tıbbi ve aromatik bitkilerde doğal radyasyonun ve ağır metallerin tespiti*. Bitlis: Çok Disiplinli Araştırma Projesi, BEBAP 2014.06.
- TENMAK (2024). *Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu*. (24/07/2024 tarihinde <https://www.tenmak.gov.tr> adresinden ulaşılmıştır).
- Tonnessen, B.H., Pounds, L., (2011). Radiation physics, *J. Vasc. Surg.* 53, 6S.
- Turner, M., Rudin, M., Cizdziel, J., Hodge, V. (2003). Excess plutonium in soil near the Nevada Test Site, USA. *Environmental Pollution*, 125, 1 93–203.
- UNSCEAR (1993). *Exposure from Natural Sources of Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to General Assembly*. New York: UNSCEAR.
- UNSCEAR (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation – Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly*. New York: United Nations.
- UNSCEAR (2024). *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*. (10/07/2024 tarihinde <https://www.unscear.org> adresinden ulaşılmıştır).
- USEPA (2008). Environmental Protection Agency. *Technical Report on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining. Volume 1: Mining and Reclamation Background*. Washington: USEPA.
- Valković V. (2000). *Radioactivity in the Environment*, Elsevier.
- Waltar, A. (2024). *The medical, agricultural, and industrial applications of nuclear technology*, 2003. (13/05/2024 tarihinde <http://www.laradioactive.com/site/pages/RadioPDF/Waltar.pdf> adresinden ulaşılmıştır).
- Wang, O., Song, J., Li, X., Yuan, H., Li, N., Cao, L. (2015). Environmental radionuclides in a coastal wetland of the Southern Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 97, 506-511.
- WHO (2024). *World Health Organization*. (17/07/2024 tarihinde <https://www.who.int> adresinden ulaşılmıştır).

BÖLÜM 8

PETROL VE PETROL TÜREVLERİ VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Hatice KARA¹

GİRİŞ

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi, sanayi ve endüstri çalışmalarının büyümesine pozitif ivme kazandırmıştır, böylelikle enerji ihtiyacı da artış göstermiştir. Enerji ihtiyacının artması, petrol ve petrol ürünlerinin kullanımını arttırmıştır. Petrol ve petrol ürünlerine artan talebin karşılanması için yer altından daha fazla miktarda petrolün çıkarılması, işlenmesi, ulusal ve uluslararası taşıma faaliyetlerini gerektirmiştir. Böylece petrolün çıkarılması, işlenmesi ve nakliyesi önemli bir gündem konusu ve bu faaliyetler esnasında meydana gelen kazalar, yer altına sızıntılar, oluşan atıklar büyük bir çevre sorunu haline gelmiştir (Ambaye & ark., 2023; Khan & ark. 2018; Zhuang & ark. 2023).

Türkiye'nin jeopolitik konumu nedeniyle, petrol boru hatlarının sayısı her geçen gün artmakta ve boru hatları ağ gibi yayılmaktadır. Türkiye, çok büyük petrol rezervine sahip olmasa da ham petrolün işlenmesi ve taşınması açısından gittikçe artan bir grafik çizmektedir. Bu nedenle petrol faaliyetlerinin yoğun olduğu Doğu ve Güney Doğu Anadolu bölgesi petrolün yeraltından çıkarılması, üretilmesi ve taşınması süresince oluşabilecek kaza, dökülme, sızıntılar nedeniyle toprak kirliliği riski ile karşı karşıyadır (Kara, 2015).

Petrol, yapısında karmaşık organik gruplar içerir ve bu organik gruplar çevre ile temas ettiği zaman oldukça zararlı olabilecek niteliktedir. Petrol kirliliği; yer altı ve yer üstü kaynakların kirlenmesine, ortamda bulunan canlıların hayati tehlike yaşamasına, hatta bazı türlerin yok olmasına neden olmaktadır. Petrolün kimyasal yapısında mevcut olan uçucu maddelerin buharlaşması ile yangın tehlikesi oluşabilmektedir. Bütün bu etkilerin sonucunda doğanın ekolojik dengesi bozulmaktadır. Petrol dökülmüş, petrol kirliliği olan toprakların temizlenmesi çok maliyetli ve zor bir süreç olup, uzun bir zaman almaktadır. Petrol, toprak gözeneklerine dolarak toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını etkilemektedir. Bu nedenle toprağın hava ve su dengesi bozulmaktadır. Toprak yüzeyini bir tabaka şeklinde kaplayarak,

¹ GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Laboratuvar Bölümü Başkanlığı, hatice.kara@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0002-9999-939X

suda çözünmezler. Böylece toprağa su girişini ve suyun hareketini etkilerler. Buna bağlı olarak; topraktaki yaşamın devamı ve bitkilerin beslenmesi için çok önemli olan besin maddelerinin hareketini engelleyerek toprağın kimyasal özelliklerinde de kayıplara neden olur. Ayrıca petrol ve petrol ürünleri PAH'lar, alifatik ve aromatik yapılar, benzen ve türevleri gibi yüksek konsantrasyonlarda toksik ve tehlikeli birçok bileşik içerir. Bu nedenle petrol ve petrol ürünlerinin toprak, su ve doğal kaynaklara bulaştığı durumlar her zaman kritik çevre ve sağlık sorunlarına neden olur.

Petrol ile kirlenmiş toprakların arıtılıp temizlenmesi hem ekonomik açıdan pahalı hem de zor ve uzun zaman alan bir süreçtir. Petrollü toprakların temizlenmesi için köpük flotasyonu, absorpsiyon yöntemi, bakteriler kullanılarak biyolojik arıtım gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Ancak biyolojik arıtım ucuz, pratik ve çevre açısından güvenilir olması nedeniyle halen en yaygın kullanılan arıtma tekniğidir.

Sonuç itibarıyla, Dünya'da çeşitli çevre direktiflerinin, kanunların, yönetmeliklerin gündeme gelmesi ve çevre bilincinin oluşması ile birlikte petrol üretim sahaları, taşıma tankları ve depolama sahaları denetlenmeye başlamış, bununla birlikte kirlenen toprakların arıtılması için yeni temizleme yöntem ve teknolojileri geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Aba, T., Kavak, O. (2019). Environmental effects of petroleum leaks around Diyarbakir City (SE Anatolia of Turkey) and its environment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 221, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- Abu-Khasan, M. (2021). Analysis of soil contamination with oil and petroleum products. In International Scientific Siberian Transport Forum (pp. 1514-1522). Cham: Springer International Publishing.
- Ahmad, A. A., Muhammad, I., Shah, T., Kalwar, Q., Zhang, J., Liang, Z., ... & Rui-Jun, L. (2020). Remediation methods of crude oil contaminated soil. *World Journal of Agriculture and Soil Science*, 4(3), 8.
- Akyıldız, G. (2012). <https://petrolcu.wordpress.com/2012/06/04/petrolun-olusumu-2/> erişim tarihi 25.08.2024
- Ali, N., Dashti, N., Khanafer, M., Al-Awadhi, H., & Radwan, S. (2020). Bioremediation of soils saturated with spilled crude oil. *Scientific reports*, 10(1), 1116.
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., Franzetti, A., Prasad, S., Formicola, F., Rosatelli, A., Rtimi, S. (2023). Microbial electrochemical bioremediation of petroleum hydrocarbons (PHCs) pollution: Recent advances and outlook. *Chemical Engineering Journal*, 452, 139372.
- Beşergil, B. (2009). Petrol ve Petrol Kimyası, ISBN 978-975-483-795-7, İzmir. <https://bilsenbesergil.blogspot.com/p/2-ham-petrol.html>
- Borand, M.N. (2012). Açık ve Kapalı Maden İşletmeciliğinde Çevresel Etki. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 69.
- https://www.botas.gov.tr/uploads/dosyaYoneticisi/305323-botas-19.01.2022-tarihli_2.basinac%CC%A7iklamasi.pdf (Erişim Tarihi: 22.4.2022)
- Brahene, S., Chude, V. (2018). Regional Soil Partnerships reports on soil pollution. Regional status of soil pollution: Nigeria, West Africa. GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL POLLUTION | FAO HQ | Rome, Italy, 2-4 May 2018, TION, 1.
- Bulanova, A.V., Gretsikova, I.V., Muratova, O.V. (2005). Sorption properties of sorbents used for cleaning up soils from oil pollution. *Vestn. Samara Univ. Nat. Sci. Ser.*, 3, 150–158.
- Camenzuli, D., Freidman, B. L. (2015). On-site and in situ remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic. *Polar Research*, 34(1), 24492.
- Ceyhan, N., Esmeray, E. (2012). Petrol kirliliği ve biyoremediasyon. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 95-101.
- Chengzao, J. I. A. (2017). Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geology theory. *Petroleum Exploration and Development*, 44(1), 1-10.
- Czarny J, Staninska-Pięta J, Piotrowska-Cyplik A, Juzwa W, Wolniewicz A, Marecik R (2020) *Acinetobacter* sp. as the key player in diesel oil degrading community exposed to PAHs and heavy metals. *J Hazard Mater* 383:1168. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121168>
- ÇED (2017). Ham Petrol Rafinerilerinin Çevresel Etkileri, Kitapçık B01 (Ek I – 1a)
- Daâssi, D., & Qabil Almaghribi, F. (2022). Petroleum-contaminated soil: environmental occurrence and remediation strategies. *3 Biotech*, 12(6), 139.
- Demirbaş, A., & Al-Ghamdi, K. (2015). Relationships between specific gravities and higher heating values of petroleum components. *Petroleum science and technology*, 33(6), 732-740.

- Dindar, E. (2014). Petrol ve Petrol Ürünleriyle Kirlenmiş Toprakların Islahı. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana bilim dalı, Doktora Tezi, 112 s.
- Doherty, R., Rezaee, S., Enayat, S., Tavakkoli, M., & Vargas, F. M. (2018). 2 Crude Oil. Asphaltene Deposition: Fundamentals, Prediction, Prevention, and Remediation, 15.
- Ezeji, U., Anyadoh, S. O., & Ibekwe, V. I. (2007). Clean up of crude oil-contaminated soil. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*, 1(2), 54-59.
- Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., & Abidin, Z. Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of hazardous materials*, 170(2-3), 530-551.
- Fink, J. (2015). Water-based chemicals and technology for drilling, completion, and workover fluids. Gulf Professional Publishing.
- Guliyev, A., Islamzade, R., Suleymanova, P., Babayeva, T., Aliyeva, A., & Hacıyeva, X. (2024). Impact of petroleum contamination on soil properties in Absheron Peninsula, Azerbaijan. *Eurasian Journal of Soil Science*, 13(4), 358-365.
- Herndon, J. M. (2017). New concept on the origin of petroleum and natural gas deposits. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 7(2), 341-352.
- Honda M, Suzuki N (2020). Toxicities of polycyclic aromatic hydrocarbons for aquatic animals. *Int J Environ Res Public Health* 17(4):1363. <https://doi.org/10.3390/ijerp17041363>
- Kadafa, A. A. (2012). Oil exploration and spillage in the Niger Delta of Nigeria. *Civil and Environmental Research*, 2(3), 38-51.
- Kara, H., Tunay, Z., Temel, H., Kavak, O. (2013). Metal Content Determination of Water Sources Around Oil Production Areas in Diyarbakir. 44th World Chemistry Congress, 11 - 16 August, abstract book p:1278, İstanbul/Türkiye.
- Kara, H (2015). Diyarbakır ili petrol üretim sahalarının çevre sularına olası etkisi ve elektrokoagülasyon yöntemi kullanılarak artırılabilirliğinin araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 221 s.
- Kara, H., Demir Yetiş, A., Temel, H. (2021). Assessment of heavy metal contamination in groundwater of Diyarbakir Oil Production Area, (Turkey) using pollution indices and chemometric analysis. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-15.
- Khan, M. A. I., Biswas, B., Smith, E., Naidu, R., & Megharaj, M. (2018). Toxicity assessment of fresh and weathered petroleum hydrocarbons in contaminated soil-a review. *Chemosphere*, 212, 755-767.
- Khamehchiyan, M., Charkhabi, A. H., & Tajik, M. (2007). Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering geology*, 89(3-4), 220-229.
- Kwan, W. P., & Voelker, B. M. (2003). Rates of hydroxyl radical generation and organic compound oxidation in mineral-catalyzed Fenton-like systems. *Environmental science & technology*, 37(6), 1150-1158.
- Lim, M. W., Von Lau, E., & Poh, P. E. (2016). A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil—present works and future directions. *Marine pollution bulletin*, 109(1), 14-45.
- Long, R. B., & Speight, J. G. (1998). The composition of petroleum (No. 2). Washington, DC: Taylor & Francis.
- Macaulay, B. M., & Rees, D. (2014). Bioremediation of oil spills: a review of challenges for research advancement. *Annals of environmental Science*, 8, 9-37.
- Marinescu, M., Toti, M., Tanase, V., Carabulea, V., Ploeanu, G., & Calciu, I. (2010). An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties. *Ann. Food Sci. Technol*, 11, 94-99.
- Meriçboyu, A., Yavuz, N., 2011. Enerji Çevre Hukuku Ders Notları, İTÜ Enerji Enstitüsü, İstanbul
- Michael-Igolima, U., Abbey, S. J., & Ifealebuegu, A. O. 2022. A systematic review on the effectiveness of remediation methods for oil contaminated soils. *Environmental Advances*, 9, 100319.
- Mojiri, A., Zhou, J.L., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T. (2019). Comprehensive review of polycyclic aromatic hydrocarbons in water sources, their effects, and treatments. *Sci Total Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.scitoenv.2019.133971>
- Muratova, A. Y., Turkovskaya, O. V., Antonyuk, L. P., Makarov, O. E., Pozdnyakova, L. I., & Ignatov, V. V. (2005). Oil-oxidizing potential of associative rhizobacteria of the genus *Azospirillum*. *Microbiology*, 74, 210-215.
- Onojake, M. C., & Osuji, L. C. (2012). Assessment of the physico-chemical properties of hydrocarbon contaminated soil. *Arch. Appl. Sci. Res*, 4(1), 48-58.
- Ottom, J. K. (2006). Environmental aspects of produced-water salt releases in onshore and coastal petroleum-producing areas of the conterminous US-a bibliography (p. 223). Reston, VA, USA: US Geological Survey.
- Polidoro, BA., Comerros-Raynal, MT., Cahill, T., Clement, C. (2017). Landbased sources of marine pollution: pesticides, PAHs and phthalates in coastal stream water, and heavy metals in coastal stream sediments in American Samoa. *Mar Pollut Bull* 116:501–507. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.058>
- Rabus, R., Boll, M., Heider, J., Meckenstock, R. U., Buckel, W., Einsle, O., ... & Wilkes, H. (2016). Anaerobic microbial degradation of hydrocarbons: from enzymatic reactions to the environment. *Journal of molecular microbiology and biotechnology*, 26(1-3), 5-28.
- Reddy, K. J., Wang, L., Gloss, S. P., Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J. S., ... & Bogdanov, B., (2018) 1.2. 6. Technogenically contaminated soils of Ukraine. *TION*, 12(4), 219. GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL POLLUTION | FAO HQ | Rome, Italy, 2-4 May 2018, TION, 1.
- Safdari, M. S., Kariminia, H. R., Rahmati, M., Fazlollahi, F., Polasko, A., Mahendra, S., ... & Fletcher, T. H. (2018). Development of bioreactors for comparative study of natural attenuation, biostimulation, and bioaugmentation of petroleum-hydrocarbon contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 270-278.

- Saharan, Y., Singh, J., Goyat, R., Umar, A., Ibrahim, A. A., Akbar, S., & Baskoutas, S. (2023). Recent advances in soil cleanup technologies for oil spills: a systematic review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(8), 503.
- Salimnezhad, A., Soltani-Jigheh, H., & Soorki, A. A. (2021). Effects of oil contamination and bioremediation on geotechnical properties of highly plastic clayey soil. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(3), 653-670.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirilenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, 27605 sayılı Resmi Gazete, Haziran 8, 2010
- Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, (2022). Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu. <https://www.tpao.gov.tr/file/2305/2022-petrol-ve-dogal-gaz-sektor-raporu>. (Erişim tarihi:25.08.2024)
- Urum, K., & Pekdemir, T. (2004). Evaluation of biosurfactants for crude oil contaminated soil washing. *Chemosphere*, 57(9), 1139-1150.
- Wang, J., Zhang, X., & Li, G. (2013). Compositional changes of hydrocarbons of residual oil in contaminated soil during ozonation. *Ozone: science & engineering*, 35(5), 366-374.
- Wang, L., Cheng, Y., Naidu, R., & Bowman, M. (2021). The key factors for the fate and transport of petroleum hydrocarbons in soil with related in/ex situ measurement methods: an overview. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 756404.
- Xenia, M. E., & Refugio, R. V. (2016). Microorganisms metabolism during bioremediation of oil contaminated soils. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 7(2), 20-25.
- Zahermand, S., Vafaeian, M., & Hosein Bazayr, M. (2020). Analysis of the physical and chemical properties of soil contaminated with oil (petroleum) hydrocarbons. *Earth sciences research journal*, 24(2), 163-168.
- Zhang, W., Zhuo, Z., Lu, P., Sun, T., Sun, W., & Lu, J. (2021). Determination of vanadium, iron, and nickel in petroleum coke by laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 177, 106076.
- Zhuang, J., Zhang, R., Zeng, Y., Dai, T., Ye, Z., Gao, Q., ... & Zhou, J. (2023). Petroleum pollution changes microbial diversity and network complexity of soil profile in an oil refinery. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1193189.

AĞIR METALLER VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Nur OKUR¹

GİRİŞ

Yoğunluğu 5 gr cm⁻³, atomik kütlesi ise 20'nin üzerinde olan ve çevre ve/veya insan sağlığı açısından risk oluşturan tüm metaller genellikle ağır metal olarak kabul edilmektedir (Tchounwou & ark., 2012; Sönmez & Kılıç, 2021). Düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkilere sahip oldukları için ağır metaller, kimyasal toprak kirliliği açısından özel bir öneme sahiptirler. Birçok organik kirleticinin aksine, bu metaller doğal olarak kayalarda ve topraklarda bulunabilir ve mikrobiyolojik veya kimyasal yollarla ayrışmazlar. Ağır metaller topraklarda uzun yıllar boyunca birikim gösterdiklerinde doğal ekosistemler ve insan sağlığı açısından ciddi tehdit içerirler. Çoğunlukla endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan toksik ağır metal kirliliği, toprak ve su ekosistemlerinde önemli ve yaygın bir sorundur. Ağır metaller, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, doğrudan veya dolaylı olarak çevresel sulara deşarj edilmektedir. Dünyada ve ülkemizde çok sayıda yapılan çalışmalar, toprak ve su ekosistemlerinde ağır metal izlerinin varlığını ve bu metallerin canlılar üzerindeki etkilerini göstermiştir (Tchounwou & ark., 2012; Ekramul Mahmud & ark., 2016; Kumar & ark., 2017; Fakhri & ark., 2018; Aktop & Çağatay, 2020; Yerli & ark., 2020; Derin & et al., 2020; Dilbilir & Gülser, 2024;). Ağır metal kirliliği en ciddi çevre sorunlarından birisidir.

Potansiyel olarak toksik elementler de dahil olmak üzere metaller, ağır ve hafif metaller ile yarı-metaller olarak iki ana gruba ayrıldıktan sonra fiziksel, kimyasal ve fizyolojik özellikleri temel alınarak çeşitli alt sınıflara ayrılırlar. Şekil 1, tarım topraklarında sıklıkla ortaya çıkan metalik ve metalik olmayan elementleri göstermektedir. Tarımsal toprakları kirlettiği ve yüksek konsantrasyonlarda bulunduklarında bitkiler üzerinde toksik etkilere neden olduğu saptanan elementler arasında Cd, Pb, Cr, As, Hg, Ni, Cu ve Zn bulunmaktadır (Wuana, & Okieimen, 2011; Toth & ark., 2016). Bu elementlerden Cd, Pb, As, Hg ve Cr neredeyse tüm kirlilik seviyelerinde bitki sağlığı için oldukça toksik ve zararlıdır.

Şekil 1'de yer alan bazı elementler, bitki gelişimi için gerekli mineral besin maddeleridir (Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, Ni, Mg, Ca ve B). Nispeten düşük konsantrasyonlarda bu elementler, bitkilerde iyon homeostazi, pigment biyosentezi, fotosentez, solunum, enzim aktiviteleri, gen düzenlemesi, şeker metabolizması ve azot fiksasyonu gibi spesifik hücresel fonksiyonları artırabilirler (Shahid & ark., 2015; Tiwari

¹ Prof. Dr, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., nur.okur@ege.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7796-1227

bileşikler tarafından adsorbe edilir. En yaygın bileşiklerinden bazıları çinko klorür (ZnCl_2), çinko oksit (ZnO), çinko sülfat (ZnSO_4) ve çinko sülfürdür (ZnS). Çoğu Zn minerali %50'den fazla saf metal içerir. Çinko topraklarda ise homojen bir şekilde dağılmamıştır. Topraklardaki konsantrasyonu 10 ila 300 mg kg^{-1} arasında değişir (ortalama yaklaşık 50 mg kg^{-1}) (Malle, 1992).

Topraklardaki çinkonun antropojenik kaynakları, demir dışı metal endüstrisi ve tarımsal uygulamalar ile ilişkilidir. Japonya'daki tarım topraklarında 59-99 mg kg^{-1} (Takeda & ark., 2004), İsveç'te 6-152 mg kg^{-1} (Eriksson, 2001) ve ABD'de <3-264 mg kg^{-1} aralığında Zn bulunduğu bildirilmiştir (Holmgren & ark., 1993). Topraklarda endüstriyel faaliyetler nedeni ile meydana gelen Zn-kirliliğinin ise 680-1120 mg kg^{-1} arasında değiştiği belirlenmiştir (Haghighizadeh & ark., 2024).

KAYNAKLAR

- Aaseth, J. & Norseth, T. (1986) *Copper*. In: Friberg L, Nordberg, GF, Vouk VB (eds) Handbook on the toxicology of metals. 2nd ed., vol 2: Specific metals. Elsevier, New York: 233–254
- Aktop, Y. & Çağatay, İ. T. (2020). Ağır metallerin balıklarda birikimi ve etkileri. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 6(1), 37-44.
- Alloway, B.J. (1995) *Heavy metals in soils*. (Second edit). Blackie Acad, London.
- Anonim (2010). 27605 sayılı 08.06.2010 tarihli Toprak Kirliliği Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKY 2010/27605).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (1990). *Toxicological profile for copper*. U.S.Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA
- Bank, M.S. (2020) The mercury science-policy interface: History, evolution and progress of the Minamata Convention. *Sci. Total Environ.* 722,137832.
- Bashir, K., Rasheed, S., Kobayashi, T., Seki, M. & Nishizawa, N.K. (2016). Regulating subcellular metal homeostasis: The key to crop improvement. *Front. Plant Sci.* 7, 1192.
- Belon, E. Boisson, M., Deportes, I.Z., Eglin, T.K., Feix, I., Bispo, A.O., Galsomies, L., Leblond, S. & Guellier, C.R. (2012). An inventory of trace elements inputs to French agricultural soils. *Sci. Total Environ.* 439, 87–95.
- Blume, H.P., Brümmer, G.W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.M. (2016). *Scheffer/Schachtschabel Soil Science*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-30941-0.
- Bodur, B., Kılıç, M. D., Yayla, M., & Mercan, S. (2023). İstanbul'daki otoyol kenarı toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarının ve jeo-birikim indeksinin değerlendirmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 11(1), 1-13.
- Chaney, R., Mielke, H. & Sterrett, S. (1989). Speciation, mobility, and bioavailability of soil lead. In Proceedings of the Lead in Soils: Issues and Guidelines. *Environ. Geochem. Health*, 11, 105–129.
- Chen, M., Zhang, Y., Ji, E., Chen, Q., Li, Y., Long, T. & Wang, L. (2024). Source identification and exposure risk management for soil arsenic in urban reclamation areas with high background levels: a case study in a coastal reclamation site from the Pearl River Delta, China. *J. Hazard Mater.* 465, 133294.
- Chen, Y., Li, S., Zhang, Y. & Zhang, Q. (2011). Assessing soil heavy metal pollution in the water-level-fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China. *J. Hazard Mater.* 191 (1), 366–372.
- Clarkson, T.W. & Marsh, D.O. (1982). *Mercury toxicity in man*. In: Prasad AS (ed) Clinical, biochemical, and nutritional aspects of trace elements. Vol 6. AR Liss, New York, pp 549–568.
- Collin, M.S., Venkatraman, S.K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S.M., Stacey, R.G.S., Anusha, J., Choudhary, R., Lvov, V. & Tovar, G.I. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A Review. *J. Hazard. Mater. Adv.* 7, 100094.
- Dash, B., Jena, S. K., & Rath, S. S. (2022). Adsorption of Cr (III) and Cr (VI) ions on muscovite mica: Experimental and molecular modeling studies. *Journal of Molecular Liquids*, 357, 119116.
- Derin, P., Yetiş, A. D., Yeşilnacar, M. İ., & Yapıcıoğlu, P. (2020). GAP'ın en büyük sulama sahasında jeotermal sulardan kaynaklanan potansiyel ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 63(1), 125-136.
- Dilbirlir, G., & Gülser, F. (2024). Van Organize Sanayi Bölgesi çevresindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 12(1), 46-58.
- Dong, W., Zhang, Y., & Quan, X. (2020). Health risk assessment of heavy metals and pesticides: a case study in the main drinking water source in Dalian. *China Chemosphere*, 242.
- Drasch, G., Horvart, M. & Stoeppeler, M. (2004). Mercury. In: Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppeler, M. (eds) *Elements and their compounds in the environment*. 2nd ed., Wiley-VCH, Weinheim, pp 931–1005.
- Ekramul Mahmud, H.N.M., Obidul Huq, A.K. & Yahya, R.B. (2016). The removal of heavy metal ions from wastewater/aqueous solution using polypyrrole-based adsorbents: A review. *RSC Adv*, 14778–14791.
- Eriksson, J.E. (2001). Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertilizers, precipitation

- and in oil and crops. *Swedish EPA Rep* 5159, Stockholm.
- Ermolin, M.S., Fedotov, P.S., Malik, N.A. & Karandashev, V.K. (2018). Nanoparticles of volcanic ash as a carrier for toxic elements on the global scale. *Chemosphere*, 200, 16–22.
- Fakhri, Y., Saha, N., Miri, A., Baghaei, M., Roomiani, L., Ghaderpoori, M., Taghavi, M., Keramati, H., Bahmani, Z., Moradi, B., Bay, A. & Pouya, R.H. (2018). Metal concentrations in fillet and gill of parrotfish (*Scarus ghobban*) from the Persian Gulf and implications for human health. *Food Chem. Toxicol.*, 118, 348–354.
- Fayiga, A.O., Ma, L.Q. & Zhou, Q. (2007). Effects of plant arsenic uptake and heavy metals on arsenic distribution in an arsenic-contaminated soil. *Environ Pollut*, 147(3), 737–742.
- Gardner, M., Comber, S., Scrimshaw, M. D., Cartmell, E., Lester, J., & Ellor, B. (2012). The significance of hazardous chemicals in wastewater treatment works effluents. *Science of the Total Environment*, 437, 363–372.
- Ghanem, S., Ferrini, S. & Di Maria, C. (2023). Air pollution and willingness to pay for health risk reductions in Egypt: A contingent valuation survey of Greater Cairo and Alexandria households. *World Dev.* 172, 106373.
- Gimeno-García, E., Andreua, V. & Boluda, R. (1996). Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. *Environ. Pollut.*, 92, 19–25.
- Haghighizadeh, A., Rajabi, O., Nezarat, A., Hajyani, Z., Haghmohammadi, M., Hedayatikhah, S. & Beni, A. A. (2024). Comprehensive analysis of heavy metal soil contamination in mining Environments: Impacts, monitoring Techniques, and remediation strategies. *Arabian Journal of Chemistry*, 105777.
- Heikens, A. (2006). Arsenic contamination of irrigation water, soil and crops in Bangladesh: Risk implications for sustainable agriculture and food safety in Asia. *Rap Publication* (FAO)
- Holmgren, G.G.S., Meyer, M.W., Chaney, R.L. & Danies, R.B. (1993). Cadmium, lead, zinc, copper and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual.*, 22, 335–348.
- Hu, Y., Zhang, W., Chen, G., Cheng, H. & Tao, S. (2018). Public health risk of trace metals in fresh chicken meat products on the food markets of a major production region in southern China. *Environ. Pollut.*, 234, 667–676.
- Isak, R. S., Parveen, R. S., Rafique, A. S., & Alamgir, A. S. (2013). Phytotoxic effects of heavy metals (Cr, Cd, Mn and Zn) on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth in black cotton soil of nanded, India. *Res. J. Chem. Sci.* 3, 14–23.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *Br. Med. Bull.*, 68, 167–182.
- Jensen, J., Larsen, M.M. & Bak, J. (2016). National monitoring study in Denmark finds increased and critical levels of copper and zinc in arable soils fertilized with pig slurry. *Environ. Pollut.*, 214, 334–340.
- Jiang, Z., Yang, S. & Luo, S. (2023). Source analysis and health risk assessment of heavy metals in agricultural land of multi-mineral mining and smelting area in the Karst region– a case study of Jichangpo Town, Southwest China. *Heliyon* 9 (7).
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (1999). *Biogeochemistry of trace elements*, 2nd ed., Wyd Nauk PWN, Warszawa.
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press. ISBN 0-8493-1575-1
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee, Arun B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. ISBN-10 3-540-32713-4. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Kachenko, A. G., Singh, B., & Bhatia, N. P. (2007). Heavy metal tolerance in common fern species. *Australian journal of botany*, 55(1), 63–73.
- Khan, N. A., Singh, S., Anjum, N. A., & Nazar, R. (2008). Cadmium effects on carbonic anhydrase, photosynthesis, dry mass and antioxidative enzymes in wheat (*Triticum aestivum*) under low and sufficient zinc. *Journal of Plant Interactions*, 3(1), 31–37.
- Kim, B. M., Kim, B., Nam, S. E., Eom, H. J., Lee, S., Kim, K., & Rhee, J. S. (2022). Reductive transformation of hexavalent chromium in ice decreases chromium toxicity in aquatic animals. *Environmental Science & Technology*, 56, 3503–3513.
- Kumar, K., Singh, D.P., Barman, S.C. & Kumar, N. (2016). *Heavy Metal and Their Regulation in Plant System: An Overview*. In *Plant Responses to Xenobiotics*; Singh, A., Prasad, S.M., Singh, R.P., Eds.; Chapter 2; Springer Nature Singapore Pte Ltd.: Singapore; pp. 19–38.
- Kumar, M., Gogoi, A., Kumari, D. & Borah, R. (2017). Review of perspective, problems, challenges, and future scenario of metal contamination in the urban environment. *J Hazard Toxic Radioact Waste* 21(4), 1–16.
- Kumar, S., Islam, R., Akash, P.B., Khan, M.H.R., Proshad, R., Karmoker, J. & MacFarlane, G.R. (2022). Lead (Pb) contamination in agricultural products and human health risk assessment in Bangladesh. *Water Air Soil. Pollut.*, 233, 257.
- Kushwaha, A., Hans, N., Kumar, S. & Rani, R. (2018). A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbeplant system and bioremediation strategies. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 147, 1035–1045.
- Li, S. & Jia, Z. (2018) Heavy metals in soils from a representative rapidly developing megacity (SW China): Levels, source identification and apportionment. *Catena*, 163, 414–423.
- Liu, W.R., Zenga, D., She, L., Su, W.X., He, D.C., Wua, G.Y., Ma, X.R., Jiang, S., Jiang, C.J. & Ying, G.G. (2020). Comparisons of pollution characteristics, emission situations, and mass loads for heavy metals in the manures of different livestock and poultry in China. *Sci. Total Environ.*, 734, 139023.
- Lopes, C., Herva, M., Franco-Uría, A. & Roca, E. (2011). Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture: Evaluating the risk of transfer into the food chain. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 18, 918–939.
- Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D. & Zhu, Y. (2009). An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *J. En-*

- viron. Manag., 90, 2524–2530.
- Madeira, C.L., Acayaba, R.D., Santos, V.S., Villa, J.E.L., Jacinto-Hernandez, C., Azevedo, J.A.T., Elias, V.O. & Montagner, C.C. (2023). Uncovering the impact of agricultural activities and urbanization on rivers from the Piracicaba, Capivari, and Jundiaí basin in Sao Paulo, Brazil: a survey of pesticides, hormones, pharmaceuticals, industrial chemicals, and PFAS, *Chemosphere*, 341, 139954.
- Maksymiec, W. (2007). Signaling responses in plants to heavy metal stress. *Acta Physiol. Plant.*, 29, 177–187.
- Malle, K.G. (1992). Zink in der Umwelt. *Acta Hydrochim Hydrobiol* 20, 196–204.
- Mar, S.S., Okazaki, M. & Motobayashi, T. (2012). The influence of phosphate fertilizer application levels and cultivars on cadmium uptake by Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *perviridis*). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 58, 492–502.
- Mason, R.P., Choi, A.L., Fitzgerald, W.F., Hammerschmidt, C.R., Lamborg, C.H. & Soerensen, A.L. (2012). Mercury biogeochemical cycling in the ocean and policy implications. *Environ Res*, 119, 101–117.
- Munoz, A. & Costa, M. (2012). Elucidating the mechanisms of nickel compound uptake: A review of particulate and nano-nickel endocytosis and toxicity. *Toxicol. Appl. Pharm.*, 260, 1–16.
- Namlı, A., Okur, N., Kızılkaya, R., Turgay, O.C., Göçmez, S., Kalınbacak, K., Kayıkçıoğlu, H.H., Özden, N. & Balcıoğlu, I. (2020). *Toprak Kirliliğinin Nedenleri, Etkileri Ve Giderilme Yöntemleri*. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi. 13-17 Ocak 2020. Ankara.
- NAS (National Academy of Science). (1977). *Arsenic: Medical and Biologic Effects of Environmental Pollutants*. 5. Biologic Effects of Arsenic on Plants and Animals; National Academies Press: Washington, DC, USA, Vol. 5, pp. 1–332.
- Ni, R.X. & Ma, Y.B. (2018). Current inventory and changes of the input/output balance of trace elements in farmland across China. *PLoS ONE*, 13, e0199460.
- Nriagu, J.O. (1998). *History, production and uses of thallium*. In: Nriagu, J.O. (ed) Thallium in the environment. Advances in Environmental Science and Technology, Vol 29, Wiley, New York, pp 1–14.
- OECD. (1994). *Risk reduction monograph* No 5. Cadmium Environmental Directorate OECD, Paris.
- Öztürk, Z. B., & Dal, S. (2022). Characterization of industrial ceramic glazes containing chromite-processing waste: Experimental factorial design effects on color parameters. *Materials Chemistry and Physics*, 282, 125928.
- Pacyna, J.M. (2020). Recent advances in mercury research. *Sci. Total Environ.*, 738, 139955.
- Park, S.A. (2023). Shifted paradigm in technonationalism in the 21st century: The influence of global value chain (GVC) and US-China competition on international politics and global commerce —A case study of Japan's semiconductor industry. *Asia Glob. Econ.* 3, 100063.
- Parlak, M., Taş, İ., & Görgişen, C. (2022). Determination of heavy metal content of soils around thermal power plants: the case of Çanakkale province. *COMU Journal of Agriculture Faculty*, 10(2): 367-380.
- PPDB (Pesticides Properties Data Base). International Union of Pure and Applied Chemistry, UPAC. (2024). Available online: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm> (accessed on 14 Eylül 2024).
- Prabhakar, A., Mishra, S. & Das, A.P. (2019). Isolation and identification of lead (Pb) solubilizing bacteria from automobile waste and its potential for recovery of lead from end of life waste batteries. *Geomicrobiol J.* 36(10), 894–903.
- Rajak, P.K., Prabhakar, N., Banerjee, S., Dev, J.A., George, B.G. & Tomson, J.K. (2024). Provenance of mesozoic sandstones in the Saurashtra Basin using heavy minerals geochemistry and geochronology: implications for paleogeographic reconstruction in Western India, *Mar. Petrol. Geol.* 162, 106732,
- Rashid, A., Schutte, B.J., Ulery, A., Deyholos, M.K., Sanogo, S., Lehnhoff, E.A. & Beck, L. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: Environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13, 1521.
- Richter, C. & Paasch-Colberg, S. (2023). Media representations of Islam in Germany. A comparative content analysis of German newspapers over time. *Soc. Sci. Humanit. Open* 8, 100619.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Shahid, M., Khalid, S., Abbas, G., Shahid, N., Nadeem, M., Sabir, M., Aslam, M. & Dumat, C. (2015). *Heavy Metal Stress and Crop Productivity*. In *Crop Production and Global Environmental Issues*. Hakeem, H.R., Ed.; Springer International Publishing: Chem, Switzerland.
- Sharma, V.K. & Sohn, M. (2009). Aquatic arsenic: Toxicity, speciation, transformations, and remediation. *Environment International*, 35, 743 – 759.
- Silveira, M.L.A., Alleoni, L.R.F. & Guilherme, L.R.G. (2003). Biosolids and heavy metals in soils. *Sci. Agric.*, 60, 64–111.
- Soman, S., Christiansen, A., Florinski, R., Bharat, G., Steindal, E.H., Nizzetto, L. & Chakraborty, P. (2024). An updated status of currently used pesticides in India: human dietary exposure from an Indian food basket. *Environ. Res.* 242, 117543.
- Song, X., Kenston, S.S.F., Kong, L. & Zhao, J. (2017). Molecular mechanisms of nickel induced neurotoxicity and chemoprevention. *Toxicology*, 392, 47–54.
- Sönmez, O., & Kılıç, F. N. (2021). Toprakta ağır metal kirliliği ve giderim yöntemleri. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 2(2), 493-507.
- Streets, D.G., Horowitz, H.M., Lu, Z., Levin, L., Thackray, C.P. & Sunderland, E.M. (2019). Global and regional trends in mercury emissions and concentrations 2010–2015. *Atmos. Environ.* 201, 417–427.
- Takeda, A., Kimura, K. & Yamasaki, S-I. (2004). Analysis of 57 elements in Japanese soils, with special reference to soil group

- and agricultural use. *Geoderma*, 119, 291–307.
- Taylor, R.D., Morgan, L.E., Jourdan, F., Monecke, T., Marsh, E.E., Goldfarb, R.J. (2022). Late Jurassic-Early Cretaceous orogenic gold mineralization in the Klamath Mountains, California: constraints from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of hydrothermal muscovite. *Ore Geol. Rev.* 141, 104661.
- Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K. & Sutton, D.J. (2012). *Heavy metal toxicity and the environment*. Molecular, Clinical and Environmental Toxicology. Springer, Basel, pp 133–164.
- Tiwari, S. & Lata, C. (2018). *Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview*, CSIR-National Botanical Research Institute: Lucknow, India.
- Toth, G., Hermann, T., Da Silva, M.R. & Montanarella, C. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environ. Intern.*, 88, 299–309.
- Vareda, J.P., Valente, A.J. & Duraes, L. (2019). Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: a review. *J Environ Manage*, 246, 101–118.
- Wan, Y., Liu, J., Zhuang, Z., Wang, Q. & Li, H. (2024). Heavy metals in agricultural soils: Sources, influencing factors, and remediation strategies. *Toxics*, 12, 63.
- Wang, H., Dong, Y., Yang, Y., Toor, G.S. & Zhang, X. (2013). Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. *J. Environ. Sci.*, 25, 2435–2442.
- Wang, J., Feng, X., Anderson, C.W., Xing, Y. & Shang, L. (2012). Remediation of mercury contaminated sites—A review. *J Hazard Mater*, 221, 1–18.
- Wei, B., Yu, J., Cao, Z., Meng, M., Yang, L. & Chen, Q. (2020). The availability and accumulation of heavy metals in greenhouse soils associated with intensive fertilizer application. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 5359.
- Wuana, R.A. & Okieimen, F.E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *Intern. Sch. Res. Net. Ecol.*, 2011, 402647.
- Xu, T., Nan, F., Jiang, X., Tang, Y., Zeng, Y., Zhang, W., & Shi, B. (2020). Effect of soil pH on the transport, fractionation, and oxidation of chromium (III). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 195, 110459.
- Yang, J., Guo, Q., Li, L., Wang, R., Chen, Y., & Wang, X. (2023). Insights into the evolution of Cr (VI) species in long-term hexavalent chromium contaminated soil. *Science of the Total Environment*, 858, 160149.
- Yerli, C., Çakmakçı, T., Sahin, U., & Tüfenkçi, Ş. (2020). Ağır metallerin toprak, bitki, su ve insan sağlığına etkileri. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(Özel Sayı), 103-114.
- Yi, X., Liu, S., Luo, M., Li, Q., & Wang, Y. (2022). An outer membrane photosensitized *Geobacter sulfur reducens* CdS biohybrid for redox transformation of Cr (VI) and tetracycline. *Journal of Hazardous Materials*, 431, 128633.
- Zarcinas, B.A., Ishak, C.E., McLaughlin, M.J. & Cozens, G. (2004). Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. 1. Peninsular Malaysia. *Environ. Geochem. Health*, 26, 343–357.
- Zhang, C., Cai, X., Xia, Z., Jin, X., & Wu, H. (2020). Contamination characteristics of heavy metals in a small-scale tanning area of southern China and their source analysis. *Environmental Geochemistry and Health*, 1-14.
- Zhang, F., Yanxia Li Yang, M. & Wei, L. (2012). Content of heavy metals in animal feeds and manures from farms of different scales in Northeast China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 9, 2658–2668.
- Zhang, K., Yang, Y., Chi, W., Chen, G., Du, Y., Hu, S., & Liu, T. (2023). Chromium transformation driven by iron redox cycling in basalt-derived paddy soil with high geological background values. *Journal of Environmental Sciences*, 125, 470–479.
- Zhang, Q., & Wang, C. (2020). Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: a review. *Water, Air, & Soil pollution*, 231, 1-13.
- Zhuang, Z., Mu, H., Fu, P., Wan, Y., Yu, Y., Wang, Q. & Li, H. (2020). Accumulation of potentially toxic elements in agricultural soil and scenario analysis of Cd inputs by fertilization: A case study in Quzhou county. *J. Environ. Manag.*, 269, 110797.

BÖLÜM 10

POLİSİKLIK AROMATİK HİDROKARBON (PAH)'LAR VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Rıdvan KIZILKAYA¹

GİRİŞ

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) Nedir?

Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar), birden fazla benzen halkasına sahip, hidrofobik yapılı organik bileşiklerdir. Hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleri sonucu çevreye yayılan kirleticiler olarak bilinirler. Fosil yakıtların eksik yanması gibi süreçler sonucunda oluşan bu bileşikler, çevrede geniş bir alana yayılır ve yüksek toksisiteleri ile kanserojenik özellikleri nedeniyle ciddi tehditler oluştururlar. Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH'lar), hava, su ve toprak ekosistemleri arasında kolayca taşınarak kalıcı hale gelir. Toprakta birikmeleri, tarım ürünleri yoluyla besin zincirine girmelerine ve insan sağlığına olumsuz etkilerde bulunmalarına neden olabilir. Yüksek moleküler ağırlığa sahip PAH'lar toprakta daha uzun süre kalıcıdır ve bu nedenle daha büyük riskler taşır. Ayrıca, düşük çözünürlükleri ve yüksek yapışkanlık özellikleri nedeniyle toprakta biriktiklerinde biyolojik olarak parçalanmaları oldukça yavaştır.

Doğada 100'den fazla PAH bileşiği bulunur ve bunlardan 16 tanesi öncelikli kirleticiler olarak değerlendirilir. Bu 16 bileşiğin isimleri ve sembolleri Tablo 10.1'de, kimyasal yapıları ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Öncelikli Kirletici Olarak Değerlendirilen 16 PAH Bileşiği

Naftalin (Np)	Asenaftelen (Anp)
Asenaften (Ane)	Floren (Flr)
Fenantren (Phe)	Antrasen (An)

¹ Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D., ridvank@omu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-7475-9851

çökeltme yoluyla toprak ve suya geçmekte ve buralarda uzun süre kalmaktadır. Toprak yapısına bağlı olarak PAH'lar farklı hızlarda taşınmakta; organik madde içeriği yüksek olan topraklar PAH'ları daha fazla bağlayarak biyoyararlanabilirliklerini azaltmakta, kumlu topraklar ise taşınımı hızlandırmaktadır.

İnsan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça ciddi olup, PAH'lar solunum, deri teması ve besin zinciri yoluyla insan vücuduna girmekte, bu da çeşitli kanser türleri ve mutasyonlarla sonuçlanmaktadır. Özellikle tarımsal alanlarda biriken PAH'ların, tarımsal ürünler yoluyla insanlara ulaşma riski, gıda güvenliği açısından da büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

PAH kirliliği ile mücadelede, sanayi emisyonlarının ve fosil yakıt kullanımının azaltılması, sürdürülebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve düzenli çevresel izleme sistemlerinin kurulması gerekmektedir. Ayrıca, tarımsal alanlarda PAH birikiminin kontrol edilmesi ve gıda güvenliğinin sağlanması için daha fazla araştırma yapılması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Abdel-Shafy, H.I. & Mansour, M.S.M. (2016) A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 25(1), 107-123. Doi: 10.1016/j.ejpe.2015.03.011
- Balcioğlu, E.B., Çevik, F.E. & Aksu, A. (2019) İstanbul'un kent topraklarında polisiklik aromatik hidrokarbonların (PAHs) birikimi ve kökenleri üzerine bir ön araştırma. *GÜFBED* 9 (1): 173-179. Doi: 10.17714/gumusfenbil.408740
- Barakhov, A., Chernikova, N., Dudnikova, T., Barbashev, A., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Rajput, V., Kızılkaya, R., Konsantinova, E., Bren, D. & Minkina, T. (2023) Role of sorbents in early growth of barley under copper and benzo(a)pyrene contaminated soils. *Eurasian Journal of Soil Science*, 12(1), 1-9. Doi: 10.18393/ejss.1177672
- Berset, J.D. & Holzer, R. (1995) Organic micropollutants in Swiss agriculture: distribution of polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) and polychlorinated biphenyls (PCB) in soil, liquid manure, sewage sludge, and compost samples; a comparative study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 59 (2-4), 145±165. Doi: 10.1080/03067319508041324
- Bozlaker, A., Muezzinoglu, A., & Odabasi, M. (2008) Atmospheric concentrations, dry deposition and air-soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial region in Turkey. *Journal of Hazardous Material*, 153, 1093–1102. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.09.064
- Butler, J.D., Butterworth, V., Kellow, S.C. & Robinson, H.G. (1984) Some observations on the polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) content of surface soils in urban areas. *Science of The Total Environment*, 33(1-4), 75-85. Doi: 10.1016/0048-9697(84)90382-6
- Connell, D.W., Miller, G.J., Mortimer, M.R., Shaw, G.R. & Anderson, S.M. (1999) Persistent lipophilic contaminants and other chemical residues in the southern hemisphere. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(1), 47-82. Doi: 10.1080/10643389991259173
- Dai, C., Han, Y., Duan, Y., Lai, X., Fu, R., Liu, S., Leong, K.H., Tu, Y. & Zhou, Y. (2022) Review on the contamination and remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal soil and sediments. *Environmental Research*, 205, 112423. Doi: 10.1016/j.envres.2021.112423
- Davani, B., Lindley, K. & Eiceman, G.A. (1986) Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil at groundwater level near an earthen pit for produced water in the Duncan oil field. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 25(4), 299-311. Doi: 10.1080/03067318608077097
- Derafshi, M., Matin, N.H. & Hassani, A. (2022) A short review on polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, 23(2), 174-180. Doi: 10.2478/ahr-2022-0021
- Dindar, E. (2014) Petrol ve petrol ürünleriyle kirlenmiş toprakların ıslahı. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Dudnikova, T., Minkina, T., Sushkova, S., Barbashev, A., Antonenko, E., Shuvaev, E., Nemtseva, A., Maksimov, A., Litvinov, Y., Nevidomskaya, D., Mandzhieva, S., Gülser, C. & Kızılkaya, R. (2024) Profile distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in coastal soils of the Lower Don and Taganrog Bay, Russia. *Eurasian Journal of Soil Science*, 13(2): 111-124. Doi: 10.18393/ejss.1403723
- Gennadiyev, A.N., Kozin, I.S. & Shurubor, Y.I. (1991) Dynamics of soil contamination by polycyclic aromatic-hydrocarbons and evaluation of the status of soil ecosystems. *Soviet Soil Science*, 23(5), 13-23
- Johnston, W.R. & Harrison, R.M. (1984) Deposition of metallic and organic pollutants alongside the M6 motorway. *Science of The Total Environment*, 33(1-4), 119-127. Doi: 10.1016/0048-9697(84)90386-3
- Jones, K.C., Grimmer, G. & Johnston A.E. (1989a) Changes in the polynuclear aromatic hydrocarbon content of wheat grain and pasture grassland over the last century from one site in the U.K. *Science of The Total Environment*, 78, 117-130. Doi: 10.1016/0048-9697(89)90026-0

- Jones, K.C., Stratford, J.A., Waterhouse, K.S. & Vogt, N.B. (1989b) Organic contaminants in Welsh soils: polynuclear aromatic hydrocarbons. *Environmental Science & Technology*, 23(5), 540-550. Doi: 10.1021/es00063a005
- Kasperowski, E. & Frank, E. (1989) Boden- und Vegetationsuntersuchungen im Bereich der Scheitelstrecke der Tauernautobahn. Verlag: Umweltbundesamt, Monographien Band 15, 126 p.
- Köseler, M.D. (2008) Büyükçekmece gölü'nde polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) konsantrasyonunun belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Krauss, M., Wilcke, W. & Zech, W. (2000) Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in forest soils: depth distribution as indicator of different fate. *Environmental Pollution*, 110(1), 79-88. Doi: 10.1016/S0269-7491(99)00280-8
- Matzner, E. (1984) Annual rates of deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons in different forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 21, 425-234. Doi: 10.1007/BF00163642
- Minkina, T.M., Pinskii, D.L., Zamulina, I.V., Nevidomskaya, D.G., Gülser, C., Mandzhieva, S.S., Bauer, T.V., Morozov, I.V., Sushkova, S.S. & Kızılkaya, R. (2018). Chemical contamination in upper horizon of Haplic Chernozem as a transformation factor of its physicochemical properties. *Journal of Soil and Sediments*, 18(6), 2418-2430. Doi: 10.1007/s11368-017-1713-5
- Münch, D. (1993) Concentration profiles of arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, zinc, vanadium, and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) in forest soil beside an urban road. *Science of The Total Environment* 138(1-3), 47-55.
- Ramdahl, T., Alfheim, I., Rustad, S. & Olsen, T. (1982) Chemical and biological characterization of emissions from small residential stoves burning wood and charcoal. *Chemosphere*, 11(6), 601-611. Doi: 10.1016/0045-6535(82)90205-3
- Roy, D., Jung, W., Kim, J., Lee, M. & Park, J. (2022) Polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and human health risk levels for various land use areas in Ulsan, South Korea. *Frontiers in Environmental Science* 9, 744387. Doi: 10.3389/fenvs.2021.744387
- Sanders, G., Jones, K. C. Hamilton-Taylor, J. & Dörr, H. (1995) PCB and PAH fluxes to a dated UK peat core. *Environmental Pollution*, 89(1), 17-25. Doi: 10.1016/0269-7491(94)00048-I
- Schulte, G. (1996) Stadtböden: Schadstoffbelastung und -mobilität. Umweltforschungszentrum Halle/Leipzig, UFZ-Bericht Nr. 11, 96 p.
- Smith, D.J.T., Edelhofer, E.C. & Harrison R.M. (1995) Polynuclear aromatic hydrocarbon concentrations in road dust and soil samples collected in the United Kingdom and Pakistan. *Environmental Technology*, 16(1), 35±53. Doi: 10.1080/09593331608616244
- Sullivan, T.J. & Mix, M.C. (1985) Persistence and fate of polynuclear aromatic hydrocarbons deposited on slash burn sites in the cascade mountains and coast range of Oregon. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 14, 187-192. Doi: 10.1007/BF01055610
- Sushkova, S., Deryabkina, I., Antonenko, E., Kızılkaya, R., Rajput, V. & Vasilyeva, G. (2018a) Benzo[a]pyrene degradation and bioaccumulation in soil-plant system under artificial contamination. *Science of The Total Environment* 633: 1386-1391. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.287
- Sushkova, S., Minkina, T., Dudnikova, T., Barbashev, A., Popov, Y., Rajput, V., Bauer, T., Nazarenko, O. & Kızılkaya, R. (2021) Reduced plant uptake of PAHs from soil amended with sunflower husk biochar. *Eurasian Journal of Soil Science*, 10(4), 236-242. Doi: 10.18393/ejss.935397
- Sushkova, S., Minkina, T., Batukaev, A., Turina, I., Mandzhieva, S., Vasilyeva, G., Kızılkaya, R., Zamulina, I. & Akca, I. (2016a) Analysis of benzo[a]pyrene contamination from an long term contaminated soil. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 12(1), 1-11. Doi: 10.3844/ajbbsp.2016.1.11
- Sushkova, S., Minkina, T., Deryabkina (Turina), I., Mandzhieva, S., Zamulina, I., Bauer, T., Vasilyeva, G., Antonenko, E., Rajput, V. & Kızılkaya, R. (2018b). Features of accumulation, migration, and transformation of benzo[a]pyrene in soil-plant system in a model condition of soil contamination. *Journal of Soil and Sediments*, 18(6), 2361-2367. Doi: 10.1007/s11368-016-1634-8
- Sushkova, S., Minkina, T., Dudnikova, T., Barbashev, A., Mazarji, M., Chernikova, N., Lobzenko, I., Deryabkina, I. & Kızılkaya, R. (2022) Influence of carbon-containing and mineral sorbents on the toxicity of soil contaminated with benzo[a]pyrene during phytotesting. *Environmental Geochemistry and Health* 44, 179-193. Doi: 10.1007/s10653-021-00899-x
- Sushkova, S., Minkina, T., Mandzhieva, S., Borisenko, N., Vasilyeva, G., Kızılkaya, R. & Aşkın, T. (2015) Approbation of express-method for benzo[a]pyrene extraction from soils in the technogenic emission zone territories. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(1), 15-21. Doi: 10.18393/ejss.48158
- Sushkova, S., Minkina, T., Mandzhieva, S., Tjurina, I., Bolotova, O., Vasilyeva, G., Orlović-Leko, P., Varduni, T., Kızılkaya, R. & Akça, İ. (2015) Solubility of benzo[a]pyrene and organic matter of soil in subcritical water. *Croatia Chemica Acta*, 88(3), 247-253. Doi: 10.5562/cca2640
- 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), 242-253. Doi: 10.18393/ejss.734607
- Sushkova, S., Minkina, T., Turina, I., Mandzhieva, S., Batuer, T., Zamulina, I. & Kızılkaya, R. (2016b) Benzo[a]pyrene contamination in Rostov Region of Russian Federation: A 10-year retrospective of soil monitoring under the effect of long-term technogenic pollution. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(2), 155-165. Doi: 10.18393/ejss.2016.2.155-165
- Sushkova, S., Minkina, T., Turina, I., Mandzhieva, S.S., Bauer, T., Kızılkaya, R., Zamulina, I. & (2017b) Monitoring of benzo[a]pyrene content in soils under the effect of long-term technogenic pollution. *Journal of Geochemical Exploration* 174, 100-106. Doi: 10.1016/j.gexplo.2016.02.009

- Sushkova, S.N., Minkina, T.M., Mandzhieva, S.S., Tyurina, I.G., Vasil'eva, G.K. & Kizilkaya, R. (2017a) Monitoring of benzo[a]pyrene content in soils affected by the long-term technogenic contamination. *Eurasian Soil Science*, 50(1), 95-105. DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S1064229317010148>
- Sushkova, S.N., Minkina, T.M., Mandzhieva, S.S., Vasilyeva, G.K., Borisenko, N.I., Turina, I.G., Bolotova, O.V., Varduni, T.V. & Kizilkaya, R. (2016). New alternative method of benzo[a]pyrene extraction from soils and its approbation in soil under technogenic pressure. *Journal of Soil and Sediments*, 16(4), 1323-1328. Doi: 10.1007/s11368-015-1104-8
- Sushkova, S.N., Vasilyeva, G.K., Minkina, T.M., Mandzhieva, S.S., Tjurina, I.G., Kolesnikov, S.I., Kizilkaya, R. & Askin, T. (2014) New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 267-272. Doi: 10.1016/j.gexplo.2014.02.018
- Tebaay, R.H., Welp, G. & Brümmer, G.W. (1993) Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilungsmuster in unterschiedlich belasteten Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 156(1), 1-10. Doi: 10.1002/jpln.19931560102
- Van Brummelen, T.C., Verweij, R.A. Wedzinga, S.A. & Van Gestel, C.A.M. (1996) Enrichment of polycyclic aromatic hydrocarbons in forest soils near a blast furnace plant. *Chemosphere*, 32(2), 293-314. Doi: 10.1016/0045-6535(95)00339-8
- Wickström, K. & Tolonen, K. (1987) The history of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and perylene as recorded in dated lake sediments. *Water, Air, and Soil Pollution* 32, 155-175. Doi: 10.1007/BF00227691
- Wilcke, W. (2000) SYNOPSIS Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Soil — a Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(3), 229-248. Doi: 10.1002/1522-2624(200006)163:3%3C229::AID-JPLN229%3E3.0.CO;2-6
- Wilcke, W., & Zech, W. (1997) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in forest floors of the northern Czech mountains. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 160(5), 369-378. Doi: 10.1002/jpln.19971600508
- Wilcke, W., Amelung, W. & Zech W. (1997) Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a rural community leewards of a waste incineration plant. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 160(3), 369-378. Doi: 10.1002/jpln.19971600305
- Wilcke, W., Amelung, W., Martius, C., Garcia, M.V.B. & Zech, W. (2000) Biological sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Amazonian rain forest. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(1), 27±30. Doi: 10.1002/(SICI)1522-2624(200002)163:1%3C27::AID-JPLN27%3E3.0.CO;2-E
- Wilcke, W., Bäumler, R., Deschauer, H., Kaupenjohan, M. & Zech W. (1996a) Small-scale distribution of Al, heavy metals, and PAHs in an aggregated Alpine Podzol. *Geoderma*, 71, 19-30. Doi: 10.1016/0016-7061(95)00088-7
- Wilcke, W., Lilienfein, J., Lima, S.C., & Zech, W. (1999a) Contamination of highly weathered urban soils in Uberlândia, Brazil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 162(5), 539-548. Doi: 10.1002/(SICI)1522-2624(199910)162:5%3C539::AID-JPLN539%3E3.0.CO;2-O
- Wilcke, W., Müller, S., Kanchanakool, N., Niamskul, C. & Zech, W. (1999b) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in hydromorphic soils of the tropical metropolis Bangkok. *Geoderma*, 91(3-4), 297-309. Doi: 10.1016/S0016-7061(99)00012-9
- Wilcke, W., Zech, W. & Kobza J. (1996b) PAH-pools in soils along a PAH-deposition gradient. *Environmental Pollution*, 92(3), 307±313. Doi: 10.1016/0269-7491(95)00110-7
- Wild, S.R. & Jones, K.C. (1995) Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget. *Environmental Pollution*, 88(1), 91-108. Doi: 10.1016/0269-7491(95)91052-M
- Wilson, S.C. & Jones, K.C. (1993) Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs): a review. *Environmental Pollution*, 81(3), 229-249. Doi: 10.1016/0269-7491(93)90206-4
- Yalçinkaya, N. & Bilgin, M. (2021). Polyaromatic hydrocarbons (PAH) pollution in soils around industrial establishments in Dilovası region (Kocaeli, Turkey). *Acta Biologica Turcica*, 34(3): 157-160.
- Yu, X., Wang, X. Bartha, R. & Rosen, J.D. (1990) Supercritical fluid extraction of coal tar contaminated soil. *Environmental Science & Technology*, 24(11), 1732-1738. Doi: 10.1021/es00081a017

BÖLÜM 11

YENİ NESİL TOPRAK KİRLETİCİLER: KAPSAM, ETKİ VE MÜDAHALE

Muhittin Onur AKÇA¹, Ezgi KÜÇÜKEL², Oğuz Can TURGAY³, Ayten NAMLI⁴

GİRİŞ

Toprak kirleticileri, insan faaliyetlerinin tarihsel gelişimi doğrultusunda, geleneksel (eski) ve yeni nesil kirleticiler olarak da sınıflandırılabilir. Eski nesil kirleticiler, modern tarım ve sanayi devrimlerinin başlangıcı olan 1800'lü yıllardan günümüze kadar iki asrı aşkın süredir toprağa karışan ağır metaller, tarımsal ilaç ve gübre kalıntıları ile çeşitli endüstriyel atıklar şeklinde sıralanabilir. Yeni nesil kirleticiler ise, özellikle 2000'li yılların başından itibaren teknoloji ve sanayi alanlarındaki gelişmeler ile ortaya çıkan, karmaşık kimyasal yapıya sahip maddelerdir. Çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri ancak son yıllarda fark edilmeye başlanmış ve uzun vadeli sonuçları henüz tam olarak anlaşılmamış olan bu kirleticilere, ambalaj atıkları, sentetik tekstil lifleri, poşetler, plastik şişe ve kapaklar, polistiren köpük, naylon malçlar, sulama boruları gibi hammadde plastik olan materyallerin parçalanmasıyla oluşan kirleticiler (mikroplastikler), farmasötik kalıntılar (antibiyotikler, hormonlar ve diğer çeşitli ilaçlar), endokrin bozucular (per- ve polifloroalkil maddeler) ve pestisitler (neonikotinoidler) örnek olarak verilebilir.

Geleneksel/eski nesil kirleticiler, ülkelerin bilimsel çevreleri ve kamu birimleri tarafından uzun süredir bilinen, izlenen ve kaynakları kontrol altına alınmaya çalışılan maddelerdir. Öte yandan, yeni nesil kirleticiler daha yakın zamanda fark edilmiş olan, karmaşık yapılı ve çevresel etkileşimleri henüz tam olarak anlaşılmamış maddelerdir. Bu nedenle, yeni nesil kirleticilere yönelik daha fazla araştırma yapılması ve bu kirleticilerle başa çıkabilmek için etkili çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Yeni nesil kirleticiler, doğada homojen olmayan ve düşük düzeylerdeki

¹ Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., moakca@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4540-9371

² Arş. Gör., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., ezgikucukel@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0009-0005-8859-6498

³ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., turgay@agri.ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-6715-2805

⁴ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., namli@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-1913-2751

ça toksiktir ve genellikle arıtılmış atık suyun toprağa ve yüzey ile yeraltı su kaynaklarına deşarj edilmesinden kaynaklanır (Bolong & ark., 2009; Loos & ark., 2013; Petrie & ark., 2015). Atık su, geleneksel atık su arıtma yöntemlerinin yetersiz kalması ve yeni nesil kirleticileri tamamen bertaraf etmenin yüksek maliyeti nedeniyle, yeni nesil kirleticiler için bir kaynaktır (Divyapriya & ark., 2021).

Toprak, kimyasal atıkların nihai varış noktalarından biridir. Kimyasal atıkların sebep olduğu uzun süreli toprak kirliliği, besin zincirindeki canlı organizmalara zarar verebilir (Jaishankar & ark., 2014). İnsanların topraktaki yeni nesil kirleticilere maruz kalmasının üç yolu vardır; yutma, soluma ve deriden emilim. Toprakta kaynaklanan tozun solunması sonucu koksidiyomikozis, akut bronşit, kronik bronşit, amfizem gibi sağlık sorunları ortaya çıkabilir (Bultman & ark., 2005; Stockamp & Thompson, 2016). Cilt emilimi ise insanların kirlenmiş toprakla teması sonucu patojenlere ve kimyasallara maruz kalarak çeşitli hastalıkların ve alerjik reaksiyonlara neden olabilir. İnsanlar ve diğer hayvanlar için yeni nesil kirleticilere maruz kalmanın başlıca yolu, bitkisel gıdalar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Köklerden alınan yeni nesil kirleticiler sürgün, meyve ve tahıllar kısımlarına kolayca taşınabilir (Maddela & ark., 2022).

Toprak Kirleticileri ve Kalıcılıkları

Toprak birçok organizma için habitat sunarken bitkiler için de temel yaşam ortamıdır. Tarımın temelidir, insan gıdasının ve hayvan yemlerinin tüm bitkisel kaynağı toprağa dayanır. Ancak yeni nesil kirleticilerin toprakta birikimi uzun vadede toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek ekosistem hizmetlerini bozabilir (Maddela & ark., 2022). Toprak ekosistemleri son derece karmaşık olduğundan kirleticilerin etkileri de son derece çeşitlidir; doğrudan akut toksisite etkisi gösterebildikleri gibi dinamik toprak süreçlerini etkileyebilirler veya dolaylı olarak iklim üzerinde çeşitli etkilere sebep olabilirler (Edwards, 2002).

Birçok kimyasal kirleticisi belirli taksonlar, toprakta yaşayan omurgasızlar, toprak mikroorganizmaları ve bitkiler üzerinde doğrudan toksiktir. Bu durum, toprak organizmalarının popülasyonları üzerinde büyük etkilere neden olabileceği gibi, toprak ekosistemlerindeki işlevsel rolleri üzerinde de etki gösterir. Kirleticiler, geçici ve düşük toksisiteye sahip olup hafif etkilere neden olabileceği gibi, kalıcı ve geniş spektrumlu biyositler olarak biyobirikim potansiyeline de sahip olabilirler. Ayrıca av/avcı ilişkilerini bozarak karmaşık toprak besin ağları üzerinde dolaylı etkiler yaratabilirler (Edwards, 2002).

KAYNAKLAR

- Abou-Khalil C, Sarkar D, Braykaa P, et al. Mobilization of per-and polyfluoroalkyl substances (pfas) in soils: a review. *Current Pollution Reports*, 2022, 8(4), 422-444.
- Adhikari K, Pearce CI, Sanguinet KA, et al. Accumulation of microplastics in soil after long-term application of biosolids and atmospheric deposition. *Science of the Total Environment*, 2024, 912, 168883.
- Ahsan WA, Hussain A, Lin C, et al. Biodegradation of different types of bioplastics through composting—a recent trend in green recycling. *Catalysts*, 2023, 13(2), 294.
- Akça MO, Gündoğdu S, Akça H, et al. An evaluation on microplastic accumulations in Turkish soils under different land uses. *Science of the Total Environment*, 2024, 911, 168609.
- Allen S, Allen D, Phoenix VR, et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 2019, 12(5), 339-344.
- Bai L, Cao C, Wang C, et al. Roles of phytoplankton-and macrophyte-derived dissolved organic matter in sulfamethazine adsorption on goethite. *Environmental Pollution*, 2017, 230, 87-95.
- Bal R, Türk G, Tuzcu M, et al. Assessment of imidacloprid toxicity on reproductive organ system of adult male rats. *J. Environ. Sci. Health Part B Pestic. Food Contam. Agric. Wastes*, 2012, 47, 434e444.
- Barzen-Hanson KA, Davis SE, Kleber M, et al. Sorption of fluorotelomer sulfonates, fluorotelomer sulfonamido betaines, and a fluorotelomer sulfonamido amine in national foam aqueous film-forming foam to soil. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(21), 12394-12404.

- Becker AM, Gerstmann S & Frank H. Perfluorooctanoic acid and perfluorooctane sulfonate in the sediment of the Roter Main river, Bayreuth, Germany. *Environmental Pollution*, 2008, 156(3), 818-820.
- Bergmann M, Almroth BC, Brander SM, et al. A global plastic treaty must cap production. *Science*, 2022, 376(6592), 469-470.
- Białk-Bielińska, A., Maszkowska, J., Mroziak, W., Bielawska, A., Kołodziejewska, M., Palavinskis, R., ... & Kumirska, J. (2012). Sulfadimethoxine and sulfaguanidine: their sorption potential on natural soils. *Chemosphere*, 86(10), 1059-1065.
- Bläsing M & Amelung W. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources. *Science of the Total Environment*, 2018, 612, 422-435.
- Bolan NS, Kirkham MB, Halsband C, et al. (2020). *Particulate Plastics in Terrestrial and Aquatic Environments*. CRC Press.
- Bollag JM, Myers CJ & Minard RD. Biological and chemical interactions of pesticides with soil organic matter. *Science of the Total Environment*, 1992, 123, 205e217.
- Bolong N, Ismail AF, Salim MR, et al. A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 2009, 239, 229-246.
- Boots B, Russell CW & Green DS. Effects of microplastics in soil ecosystems: Above and below ground. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(19), 11496-11506.
- Borthakur A, Leonard J, Koutnik VS, et al. Inhalation risks of wind-blown dust from biosolid-applied agricultural lands: are they enriched with microplastics and PFAS? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2022, 25, 100309.
- Bosker T, Bouwman LJ, Brun NR, et al. Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere*, 2019, 226, 774-781.
- Boxall AB, Blackwell P, Cavallo R, et al. The sorption and transport of a sulphonamide antibiotic in soil systems. *Toxicology Letters*, 2002, 131(1-2), 19-28.
- Braun M, Mail M, Krupp AE, et al. Microplastic contamination of soil: Are input pathways by compost overridden by littering?. *Science of The Total Environment*, 2023, 855, 158889.
- Bultman MW, Fisher ES & Pappagianis D. (2005). The ecology of soil-borne human pathogens. Selinus, B. Alloway, J.A. Cennano, R.B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh et al. (Eds.), In: *Essentials of Medical Geology* (pp. 481-511), Elsevier, Amsterdam.
- Cai W, Navarro DA Du J, et al. Increasing ionic strength and valency of cations enhance sorption through hydrophobic interactions of PFAS with soil surfaces. *Science of the Total Environment*, 2022, 817, 152975.
- Carrington D. (2014). *Neonicotinoids Linked to Recent Fall in Farmland Bird Numbers*. The Guardian.
- Celik I, Turker M & Tuluze Y. Absciscic acid and gibberellic acid cause increased lipid peroxidation and fluctuated antioxidant defense systems of various tissues in rats. *J Hazard Mater*, 2007, 148, 623-629.
- Chang PH, Jiang WT, Li Z, et al. Interaction of siprofloksasin and probe compounds with palygorskite PFl-1. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 303, 55-63.
- Chaturvedi P, Shukla P, Giri BS, et al. Prevalence and hazardous impact of pharmaceutical and personal care products and antibiotics in environment: A review on emerging contaminants. *Environmental Research*, 2021, 194, 110664.
- Chen H, Zhang C, Yu Y, et al. Sorption of perfluorooctane sulfonate (PFOS) on marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(5), 902-906.
- Chen H, Zhang L, Li M, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in precipitation from mainland China: Contributions of unknown precursors and short-chain (C₂C₃) perfluoroalkyl carboxylic acids. *Water Research*, 2019, 153, 169-177.
- Chen YC, Lo SL, Li NH, et al. Sorption of perfluoroalkyl substances (PFASs) onto wetland soils. *Desalination and Water Treatment*, 2013, 51(40-42), 7469-7475.
- Chinh PC, Hung NT, Ky NM, et al. Willingness to Pay for improving household solid waste management in Vietnam. *Applied Environmental Research*, 2021, 43(2), 1-14.
- Christian A E & Köper I. Microplastics in biosolids: a review of ecological implications and methods for identification, enumeration, and characterization. *Science of The Total Environment*, 864, 2023, 161083.
- Corradini F, Meza P, Eguiluz R, et al. Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal. *Science of the total environment*, 2019, 671, 411-420.
- Cusworth SJ, Davies WJ, McAinsh MR, et al. Agricultural fertilisers contribute substantially to microplastic concentrations in UK soils. *Communications Earth & Environment*, 2024, 5(1), 7.
- D'Ambro EL, Pye HO, Bash JO, et al. Characterizing the air emissions, transport, and deposition of per- and polyfluoroalkyl substances from a fluoropolymer manufacturing facility. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(2), 862-870.
- Daughton CG & Ternes TA. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?. *Environmental Health Perspectives*, 1999, 107(suppl 6), 907-938.
- de Souza Machado AA, Lau CW, Till J, et al. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental science & technology*, 2018, 52(17), 9656-9665.
- Divyapriya G, Singh S, Martínez-Huitle CA, et al. Treatment of real wastewater by photoelectrochemical methods: an overview. *Chemosphere*, 2021, 276, 130-188.
- Duan W, Wang N, Xiao W, et al. Ciprofloxacin adsorption onto different micro-structured tourmaline, halloysite and biotite. *Journal of Molecular Liquids*, 2018, 269, 874-881.
- Edwards CA. Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 2002, 38(3-4), 225-231.

- El Arfaoui A, Sayen S, Paris M, et al. Is organic matter alone sufficient to predict isoproturon sorption in calcareous soils? *Science of the Total Environment*, 2012, 432, 251e256.
- Feng Y, Li Z & Hao X. Impacts of soil organic matter, iron-aluminium oxides and pH on adsorption-desorption behaviors of oxytetracycline. *Res. J. Biotechnol*, 2016, 11, 121-131.
- Finlay-Moore O, Hartel PG & Cabrera ML. 17 β -Estradiol and testosterone in soil and run from grasslands amended with broiler litter. *J. Environ. Qual.* 2000, 29, 1604–1611.
- Gewurtz SB, Bradley LE, Backus S, et al. Perfluoroalkyl acids in Great Lakes precipitation and surface water (2006–2018) indicate response to phase-outs, regulatory action, and variability in fate and transport processes. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(15), 8543-8552.
- Gies EA, LeNoble JL, Noël M, et al. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, 133, 553-561.
- Goeppert N, Dror I & Berkowitz B. Detection, fate and transport of estrogen family hormones in soil. *Chemosphere*, 2014, 95, 336-345.
- Gong J & Xie P. Research progress in sources, analytical methods, eco-environmental effects, and control measures of microplastics. *Chemosphere*, 2020, 254, 126790.
- Goulson D. Review: an overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 2013; 50, 977–987.
- Graber ER, Singh B, Hanley K, et al. Determination of cation exchange capacity in biochar. *Biochar: A Guide to Analytical Methods*, 2017, 1, 74-107.
- Guo X, Ge J, Yang C, et al. Sorption behavior of tylosin and sulfamethazine on humic acid: kinetic and thermodynamic studies. *RSC Advances*, 2015, 5(72), 58865-58872.
- Guo X, Tu B, Ge J, et al. Sorption of tylosin and sulfamethazine on solid humic acid. *Journal of Environmental Sciences*, 2016, 43, 208-215.
- Guo X, Yang C, Wu Y, et al. The influences of pH and ionic strength on the sorption of tylosin on goethite. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21, 2572-2580.
- Gündoğdu S, Mihai FC, Fischer EK, et al. Micro and nano plastics in groundwater systems: A review of current knowledge and future perspectives. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2023, 165, 117119.
- Han W, Tian Y & Shen X. Human exposure to neonicotinoid insecticides and the evaluation of their potential toxicity: an overview. *Chemosphere*, 2018, 192, 59e65.
- Hanselman TA, Graetz DA & Wilkie AC. Manure-borne estrogens as potential environmental contaminants: a review. *Environmental Science & Technology*, 2003, 37(24), 5471-5478.
- Hassan F, Prasetya KD, Hanun JN, et al. Microplastic contamination in sewage sludge: Abundance, characteristics, and impacts on the environment and human health. *Environmental Technology & Innovation*, 2023, 31, 103176.
- Hayes WJ (1982). Herbicides. In "Pesticides Studied in Man," p.536 Williams & Wilkins, Baltimore.
- Higgins CP & Luthy RG. Sorption of perfluorinated surfactants on sediments. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(23), 7251-7256.
- Hoang VH, Nguyen MK, Hoang TD, et al. Sources, environmental fate, and impacts of microplastic contamination in agricultural soils: A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 2024, 175276.
- Hoffmann B, Depinho TG & Schuler, G. (1997). Determination of free and conjugated oestrogens in peripheral blood plasma, feces and urine of cattle throughout pregnancy. *Exp. Clin. Endocrin. Diabetes* 105, 296–303.
- Hofmann T, Ghoshal S, Tufenkji N, et al. Plastics can be used more sustainably in agriculture. *Communications Earth & Environment*, 2023, 4(1), 332.
- Hu S, Zhang Y, Shen G, Zhang H, et al. Adsorption/desorption behavior and mechanisms of sulfadiazine and sulfamethoxazole in agricultural soil systems. *Soil and Tillage Research*, 2019, 186, 233-241.
- Huang X, Wu C, Hu H, et al. Sorption and degradation of triclosan in sediments and its effect on microbes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, 1126, 76-83.
- Huang Y, Liu Q, Jia W, et al. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 2020, 260, 114096.
- Huerta Lwanga E, Gertsen H, Gooren H, et al. Microplastics in the terrestrial ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science & Technology*, 2016, 50(5), 2685–2691.
- Iqbal B, Zhao T, Yin W, et al. Impacts of soil microplastics on crops: A review. *Applied Soil Ecology*, 2023, 181, 104680.
- Isik I & Celik I. Investigation of neurotoxic and immunotoxic effects of some plant growth regulators at subacute and subchronic applications on rats. *Toxicol Ind Health*, 2015, 31, 1095–1105.
- Ismail C, Yasin T, Ismail I. Evaluation of toxicity of abscisic acid and gibberellic acid in rats: 50 days drinking water study. *J Enzyme Inhib Med Chem*, 2007, 22, 219–226.
- Iwasa T, Motoyama N, Ambrose JT, et al. Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection*, 2004, 23(5), 371-378.
- Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol.* 2014, 7, 60–72.

- Juliano C & Magrini GA. Cosmetic ingredients as emerging pollutants of environmental and health concern. A mini-review. *Cosmetics*, 2017, 4(2), 11.
- Keerthanam S, Jayasinghe C, Biswas JK, et al. Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs) in the environment: Plant uptake, translocation, bioaccumulation, and human health risks. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2021, 51(12), 1221-1258.
- Khalid N, Aqeel M, Noman A, et al. Impact of plastic mulching as a major source of microplastics in agroecosystems. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, 445, 130455.
- Kimura-Kuroda J, Komuta Y, Kuroda Y, et al. Nicotine- like effects of the neonicotinoid insecticides acetamiprid and imidacloprid on cerebellar neurons from neonatal rats. *PloS One*, 2012, 7(2), e32432.
- Klement A, Kodešová R, Bauerová M, et al. Sorption of citalopram, irbesartan and fexofenadine in soils: Estimation of sorption coefficients from soil properties. *Chemosphere*, 195, 615-623.
- Kocaman AY & Guven B. In vitro genotoxicity assessment of the synthetic plant growth regulator, 1-naphthaleneacetamide. *Cytotechnology*, 2016, 68, 947-956.
- Kočárek M, Kodešová R, Vondráčková L, et al. Simultaneous sorption of four ionizable pharmaceuticals in different horizons of three soil types. *Environmental Pollution*, 2016, 218, 563-573.
- Kolodziej EP, Harter T & Sedlak DL. Dairy wastewater, aquaculture, and spawning fish as sources of steroid hormones in the aquatic environment. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 6377-6384.
- Krischik VA, Landmark A, Heimpel G. Soil-applied imidacloprid is translocated to nectar and kills nectar-feeding *Anagyrus pseudococci* (Girault) (Hymenoptera: Encyrtidae). *Environ Entomol* 2007, 36, 1238-45.
- Kulshrestha P, Giese RF & Aga DS. Investigating the molecular interactions of oxytetracycline in clay and organic matter: insights on factors affecting its mobility in soil. *Environmental Science & Technology*, 2014, 38(15), 4097-4105.
- Lange IG, Daxenberger A & Meyer HHD. Hormone contents in peripheral tissues after correct and off-label use of growth promoting hormones in cattle: Effect of the implant preparations Finaplix-H , Ralgro , Synovex-H and Synovex Plus . *APMIS* 2001, 109, 373-385.
- Lange IG, Daxenberger A, Schiffer B, et al. Sex hormones originating from different livestock production systems: Fate and potential disrupting activity in the environment. *Anal. Chim. Acta*, 2002, 473, 27-37.
- Le VG, Nguyen HL, Nguyen MK, et al. Marine macro-litter sources and ecological impact: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2024, 22(3), 1257-1273.
- Le VG, Nguyen MK, Nguyen HL, et al. A comprehensive review of micro-and nano-plastics in the atmosphere: Occurrence, fate, toxicity, and strategies for risk reduction. *Science of The Total Environment*, 2023a, 166649.
- Le VR, Nguyen MK, Nguyen HL, et al. Organic composts as A vehicle for the entry of microplastics into the environment: a comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 892, 2023b, 164758.
- Lee LS, Carmosini N, Sassman SA, et al. Agricultural contributions of antimicrobials and hormones on soil and water quality. *Advances in Agronomy*, 2007, 93, 1-68.
- Li F, Fang X, Zhou Z, et al. Adsorption of perfluorinated acids onto soils: Kinetics, isotherms, and influences of soil properties. *Science of the Total Environment*, 2019, 649, 504-514.
- Li L, Luo Y, Li R, et al. Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature Sustainability*, 2020, 3(11), 929-937.
- Li Y, Oliver DP & Kookana RS. A critical analysis of published data to discern the role of soil and sediment properties in determining sorption of per and polyfluoroalkyl substances (PFASs). *Science of the Total Environment*, 2018, 628, 110-120.
- Liu S, Huang X, He H, et al. Evaluation of selected plant growth regulators and fungicide residues in fruits for dietary risk assessment. *Hum Ecol Risk Assess Int J*, 2016, 22, 1386-1395.
- Liu F, Ying GG, Tao R, et al. Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. *Environent Pollution*, 2009, 157, 1636-1642.
- Liu H, Yang X, Liu G, et al. Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil. *Chemosphere*, 2017, 185, 907-917.
- Liu W, Zheng W, Ma Y, et al. Sorption and degradation of imidacloprid in soil and water. *J. Environ. Sci. Health B*, 2006, 41, 623-634.
- Liu X, Wu H, Hu T, et al. Adsorption and leaching of novel fungicide pyraoxystrobinon soils by 14 C tracing method. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190, 1-10.
- Loganathan N & Wilson AK. Adsorption, structure, and dynamics of short-and long-chain PFAS molecules in kaolinite: molecular-level insights. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56(12), 8043-8052.
- Loos R, Carvalho R, António DC, et al. EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Water Res.* 2013, 47, 6475-6487.
- Luft CM, Schutt TC & Shukla MK. Properties and mechanisms for PFAS adsorption to aqueous clay and humic soil components. *Environmental Science & Technology*, 2022, 56(14), 10053-10061.
- Ma LY, Zhang HY, Xu WT, et al. Simultaneous determination of 15 plant growth regulators in bean sprout and tomato with liquid chromatography triple quadrupole tandem mass spectrometry. *Food and Methods*, 2013, 6, 941-951
- Ma X, Yang C, Jiang Y, et al. Desorption of heavy metals and tetracycline from goethite-coated sands: The role of complexation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, 573, 88-94.

- Maddela NR, Ramakrishnan B, Kakarla D, et al. Major contaminants of emerging concern in soils: a perspective on potential health risks. *RSC Advances*, 2022, 12(20), 12396-12415.
- Martín J, del Mar Orta M, Medina-Carrasco S, et al. Evaluation of a modified mica and montmorillonite for the adsorption of ibuprofen from aqueous media. *Applied Clay Science*, 2019, 171, 29-37.
- Milinic J, Lacorte S, Vidal M, et al. Sorption behaviour of perfluoroalkyl substances in soils. *Science of the Total Environment*, 2015, 511, 63-71.
- Mineau P & Palmer C. (2013). *The Impact of the Nation's Most Widely Used Insecticides on Birds*. American Bird Conservancy.
- Morrissey CA, Mineau P, Devries JH, et al. Neonicotinoid contamination of global surface waters and associated risk to aquatic invertebrates: a review. *Environ. Int.* 2015, 74, 291-303.
- Mueller R & Yingling V. Naming conventions and physical and chemical properties of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). *Interstate Technology Regulatory Council*, 2017, 1-15.
- Napper IE & Thompson RC. Plastic debris in the marine environment: history and future challenges. *Global Challenges*, 200, 4(6), 1900081.
- Nguyen MK, Lin C, Hoang HG, et al. Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. *Chemosphere*, 2022b, 299, 134488.
- Nguyen MK, Lin C, Hung NTQ, et al. Occurrence and distribution of microplastics in peatland areas: A case study in Long An province of the Mekong Delta, Vietnam. *Science of The Total Environment*, 2022a, 844, 157066.
- Nguyen MK, Rakib MRJ, Lin C, et al. Is micro (nano) plastic contamination in wet atmospheric deposition a prominent issue requiring heightened attention? *Journal of Hazardous Materials*, 2024, 476, 135027.
- Nicole W. Breaking it down: estimating short-chain PFAS half-lives in a human population. *Environmental Health Perspectives*, 2020, 128(11), 114002.
- Novo M, Verdú I, Trigo D, et al. Endocrine disruptors in soil: effects of bisphenol A on gene expression of the earthworm *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 150, 159-167.
- O'Connor J, Bolan NS, Kumar M, et al. Distribution, transformation and remediation of poly- and per-fluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater sources. *Process Safety and Environmental Protection*, 2022, 164, 91-108.
- Okeke ES, Okoye CO, Atakpa EO, et al. Microplastics in agroecosystems-impacts on ecosystem functions and food chain. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 177, 105961.
- Oluwole AO, Omotola EO & Olatunji OS. Pharmaceuticals and personal care products in water and wastewater: a review of treatment processes and use of photocatalyst immobilized on functionalized carbon in AOP degradation. *BMC Chemistry*, 2020, 14, 1-29.
- Pan G & You C. Sediment-water distribution of perfluorooctane sulfonate (PFOS) in Yangtze River Estuary. *Environmental Pollution*, 2010, 158(5), 1363-1367.
- Park JY & Huwe B. Sulfadimethoxine transport in soil columns in relation to sorbable and non-sorbable tracers. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23, 12456-12466.
- Parolo ME, Savini MC & Loewy RM. Characterization of soil organic matter by FT-IR spectroscopy and its relationship with chlorpyrifos sorption. *Journal of Environment Management*, 2017, 196, 316-322.
- Patel M, Kumar R, Kishor K, et al. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: chemistry, occurrence, effects, and removal methods. *Chemical Reviews*, 2019, 119(6), 3510-3673.
- Pavlovic DM, Curkovic L, Grcic I, et al. Isotherm, kinetic, and thermodynamic study of ciprofloxacin sorption on sediments. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24(11), 10107-10107.
- Pepper IL, Brusseau ML, Prevatt FJ, et al. Incidence of Pfas in soil following long-term application of class B biosolids. *Science of The Total Environment*, 2021, 793, 148449.
- Pérez-Reverón R, González-Sálamo J, Hernández-Sánchez C, et al. Recycled wastewater as a potential source of microplastics in irrigated soils from an arid-insular territory (Fuerteventura, Spain). *Science of The Total Environment*, 2022, 817, 152830.
- Petrie B, Barden R & Kasprzyk-Hordern B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Res.*, 2015, 72, 3-27.
- Pietrzak D, Kania J, Kmiecik E, et al. Fate of selected neonicotinoid insecticides in soil-water systems: Current state of the art and knowledge gaps. *Chemosphere*, 2020, 255, 126981.
- Pisa LW, Amaral-Rogers V & Belzunces LP. Effects of neonicotinoids and fipronil on non-target invertebrates. *Environment Science Pollution Research*, 2015, 22, 68-102.
- Qaiser Z, Aqeel M, Sarfraz W, et al. Microplastics in wastewaters and their potential effects on aquatic and terrestrial biota. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2023, 8, 100536.
- Qian H, Zhang M, Liu G, et al. Effects of soil residual plastic film on soil microbial community structure and fertility. *Water, Air & Soil Pollution*, 2018, 229, 1-11.
- Qiao W, Xie Z, Zhang Y, et al. Perfluoroalkyl substances (PFASs) influence the structure and function of soil bacterial community: Greenhouse experiment. *Science of the Total Environment*, 2018, 642, 1118-1126.
- Qin X, Liu F, Zhao L, et al. Adsorption of levofloxacin to goethite: batch and column studies. *Environmental Engineering Science*, 2016, 33(4), 235-241.

- Rafa N, Ahmed B, Zohora F, et al. Microplastics as carriers of toxic pollutants: Source, transport, and toxicological effects. *Environmental Pollution*, 2023, 123190.
- Rakshit S, Sarkar D, Punamiya P, et al. Kinetics of oxytetracycline sorption on magnetite nanoparticles. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2014, 11, 1207-1214.
- Reyes NJD, Geronimo FKF, Yano KAV, et al. Pharmaceutical and personal care products in different matrices: occurrence, pathways, and treatment processes. *Water*, 2021, 13(9), 1159.
- Richard H, Carpenter EJ, Komada T, et al. Biofilm facilitates metal accumulation onto microplastics in estuarine waters. *Science of the Total Environment*, 2019, 683, 600-608.
- Rodriguez-Seijo A, Lourenço J, Rocha-Santos T, et al. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environmental Pollution*, 2017, 220, 495-503.
- Rojas R, Morillo J, Usero J, Delgado-Moreno L, et al. Enhancing soil sorption capacity of an agricultural soil by addition of three different organic wastes. *Science of Total Environment*, 2013, 458e460, 614e623.
- Scheidegger AM & Sparks DL. A critical assessment of sorption-desorption mechanisms at the soil mineral/water interface. *Soil Science*, 1996, 161(12), 813-831.
- Scopetani C, Chelazzi D, Cincinelli A, et al. Hazardous contaminants in plastics contained in compost and agricultural soil. *Chemosphere*, 2022, 293, 133645.
- Selim HM, Jeong CY & Elbana TA. Transport of imidacloprid in soils: miscible displacement experiments. *Soil Science*, 2010, 175:375-381.
- Selvam V & Srinivasan S (2019). Neonicotinoid poisoning and management. *Indian Journal of critical care medicine: peer-reviewed, official publication of Indian Society of Critical Care Medicine*, 23(Suppl 4), 260.
- Shimizu MS, Mott R, Potter A, et al. Atmospheric deposition and annual flux of legacy perfluoroalkyl substances and replacement perfluoroalkyl ether carboxylic acids in Wilmington, NC, USA. *Environmental Science & Technology Letters*, 2021, 8(5), 366-372.
- Singh N, Abdullah MM, Ma X, et al. Microplastics and nanoplastics in the soil-plant nexus: Sources, uptake, and toxicity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2023, 53(18), 1613-1642.
- Smalling, K.L., Hladik, M.L., Sanders, C.J., Kuivila, K.M., 2018. Leaching and sorption of neonicotinoid insecticides and fungicides from seed coatings. *J. Environ. Sci. Health Part B Pestic. Food Contam. Agric. Wastes* 53, 176-183.
- Song DX, Ma L & Wang QJ. Occurrence characteristics and environmental effects of microplastics in typical farmland soils in Baoji area. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(2), 170-175.
- Soto AM, Calabro JM, Prechtl NV, et al. Androgenic and estrogenic activity in water bodies receiving cattle feedlot effluent in eastern Nebraska, USA. *Environ. Health Perspect*, 2004, 112, 346-352.
- Spark KM & Swift RS. Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. *Science of the Total Environment*, 2002, 298, 147-161.
- Srinivasan P, Sarmah AK & Manley-Harris M. Co-contaminants and factors affecting the sorption behaviour of two sulfonamides in pasture soils. *Environmental Pollution*, 2013, 180, 165-172.
- Steinmetz Z, Wollmann C, Schaefer M, et al. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment*, 2016, 550, 690-705.
- Stockamp NW & Thompson GR. Coccidioidomycosis. *Infectious Disease Clinics of North America*, 2016, 30, 229-246.
- Stromer BS, Woodbury B & Williams CF. Tylosin sorption to diatomaceous earth described by Langmuir isotherm and Freundlich isotherm models. *Chemosphere*, 2018, 193, 912-920.
- Tan Y, Guo Y, Gu X, et al. Effects of metal cations and fulvic acid on the adsorption of ciprofloxacin onto goethite. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22, 609-617.
- Tang T, Yang C, Wang L, et al. Complexation of sulfamethazine with Cd (II) and Pb (II): implication for co-adsorption of SMT and Cd (II) on goethite. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25, 11576-11583.
- Taniyasu S, Yamashita N, Moon HB, et al. Does wet precipitation represent local and regional atmospheric transportation by perfluorinated alkyl substances?. *Environment International*, 2013, 55, 25-32.
- Ten Hulscher TEM & Cornelissen G. Effect of temperature on sorption equilibrium and sorption kinetics of organic micropollutants - a review. *Chemosphere*, 1996, 32, 609-626.
- Thomas G, Claire K, Claude P, et al. Plant hormones and plant growth regulators in plant tissue culture. *Vitro Cell Dev Biol Plant*, 1996, 32(4), 272-289.
- Thompson HM, Fryday SL & Harkin S. Potential impacts of synergism in honeybees (*Apis mellifera*) of exposure to neonicotinoids and sprayed fungicides in crops. *Apidologie*, 2014, 45:545-53.
- Tian L, Jinjin C, Ji R, et al. Microplastics in agricultural soils: sources, effects, and their fate. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2022, 25, 100311.
- Tran HT, Lesage G, Lin C, et al. Activated sludge processes and recent advances. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, 2022, 49-79.
- Tseng WJ & Tsai SW. Assessment of dermal exposures for synthetic musks from personal care products in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 2019, 669, 160-167.
- Veras TB, de Paiva ALR, Duarte MMB, et al. Analysis of the presence of anti-inflammatories drugs in surface water: A case study in Beberibe river-PE, Brazil. *Chemosphere*, 2019, 222, 961-969.

- Vithanage M, Rajapaksha AU, Tang X, et al. Sorption and transport of sulfamethazine in agricultural soils amended with invasive-plant-derived biochar. *Journal of Environmental Management*, 2014, 141, 95-103.
- Walker TR & Fequet L. Current trends of unsustainable plastic production and micro (nano) plastic pollution. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2023, 160, 116984.
- Wan Y, Wu C, Xue Q, et al. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. *Science of the Total Environment*, 2019, 654, 576-582..
- Wang F, Zhang X, Zhang S. Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*, 2020, 254, 126791.
- Wang J, Liu X, Li Y, et al. Microplastics as contaminants in the soil environment: A mini-review. *Science of the Total Environment*, 2019, 691, 848-857.
- Wang W, Yuan W, Xu EG, et al. Li, L. Uptake, translocation, and biological impacts of micro (nano) plastics in terrestrial plants: Progress and prospects. *Environmental Research*, 2022a, 203, 111867.
- Wang X, Wang L, Zhang Q, et al. Integrated assessment of the impact of land use types on soil pollution by potentially toxic elements and the associated ecological and human health risk. *Environmental Pollution*, 2022b, 299, 118911.
- Wang Y, Munir U & Huang Q. Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil: Sources, fate, and remediation. *Soil & Environmental Health*, 2023, 1(1), 100004.
- Wei X, Wu SC, Nie XP, et al. The effects of residual tetracycline on soil enzymatic activities and plant growth. *Journal of Environmental Science Health, Part B*, 2009, 44(5), 461-471.
- Wilhelm R. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. *J Plant Growth Regul*, 2015, 34, 845-872.
- Wood TJ & Goulson D. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: a review of the evidence post 2013. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24, 17285-17325.
- Worrall F, Fernandez-Perez M, Johnson AC, et al. Limitations on the role of incorporated organic matter in reducing pesticide leaching. *J. Contam. Hydrol.* 2001,49, 241-262.
- Wright SL, Ulke J, Font A, et al. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environment International*, 2020, 136, 105411.
- Wu JY, Gao JM, Pei YZ, et al. Microplastics in agricultural soils: A comprehensive perspective on occurrence, environmental behaviors and effects. *Chemical Engineering Journal*, 2024, 151328.
- Wu X, Lu J, Du M, et al. Particulate plastics-plant interaction in soil and its implications: A review. *Science of the Total Environment*, 2021, 792, 148337.
- Xu B, Yang G, Lehmann A, et al. Effects of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) on soil structure and function. *Soil Ecology Letters*, 2023, 5(1), 108-117.
- Xu J, Yu HQ & Sheng GP. Kinetics and thermodynamics of interaction between sulfonamide antibiotics and humic acids: Surface plasmon resonance and isothermal titration microcalorimetry analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 302, 262-266.
- Xu Y, Yu X, Xu B, et al. Sorption of pharmaceuticals and personal care products on soil and soil components: Influencing factors and mechanisms. *Science of the Total Environment*, 2021, 753, 141891.
- Yan W, Hu S & Jing C. Enrofloxacin sorption on smectite clays: effects of pH, cations, and humic acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2012, 372(1), 141-147.
- You C, Jia C & Pan G. Effect of salinity and sediment characteristics on the sorption and desorption of perfluorooctane sulfonate at sediment-water interface. *Environmental Pollution*, 2010, 158(5), 1343-1347.
- Yu H, Shao J, Jia H, et al. Characteristics and influencing factors of microplastics in snow in the inner mongolia plateau, china. *Engineering*, 2023, 37, 69-77.
- Zhang B, Song X, Zhang Y, et al. The interaction between surface water and groundwater and its effect on water quality in the Second Songhua River basin, northeast China. *Journal of Earth System Science*, 2016, 125, 1495-1507.
- Zhang P, Ren C, Sun H, et al. Sorption, desorption and degradation of neonicotinoids in four agricultural soils and their effects on soil microorganisms. *Sci. Total Environ.*, 2018, 615, 59e69.
- Zhang Q, Zhao L, Dong YH & Huang GY. Sorption of norfloxacin onto humic acid extracted from weathered coal. *Journal of Environmental Management*, 2012, 102, 165-172.
- Zhang S, Li Y, Jiang L, et al. From organic fertilizer to the soils: What happens to the microplastics? A critical review. *Science of The Total Environment*, 2024a, 170217.
- Zhang Z, Lan H, Liu H, et al. Removal of tetracycline antibiotics from aqueous solution by amino-Fe (III) functionalized SBA15. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2015, 471, 133-138.
- Zhang Z, Shao S, Pan D et al. Role, residues and microbial degradation of plant growth regulators (PGRs): A scoping review. *Advanced Agrochem.* 2024b, 3(1), 43-46.
- Zhao H, Zhou Y, Lu Z, Ren X, et al. Microplastic pollution in organic farming development cannot be ignored in China: Perspective of commercial organic fertilizer. *Journal of Hazardous Materials*, 2023, 460, 132478.
- Zhao L, Bian J, Zhang Y, et al. Comparison of the sorption behaviors and mechanisms of perfluorosulfonates and perfluorocarboxylic acids on three kinds of clay minerals. *Chemosphere*, 2014, 114, 51-58.

- Zhao Z, Zhao K, Zhang T, et al. Irrigation-facilitated low-density polyethylene microplastic vertical transport along soil profile: An empirical model developed by column experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, 247, 114232.
- Zhou CQ, Lu CH, Mai L, et al. Response of rice (*Oryza sativa* L.) roots to nanoplastic treatment at seedling stage. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 401, 123412.
- Zhu D, Chen QL, An XL, et al. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, 116, 302–310.
- Ziegler TE, Wittwer DJ. Fecal steroid research in the field and laboratory: improved methods for storage, transport, processing and analysis. *Am. J. Primatol.* 2005, 67, 159–174.

TARLA TARIMI VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Gökhan BÜYÜK¹, K. Mesut ÇİMRİN²

GİRİŞ

Ülkemizde ve diğer ülkelerde tarımsal araziler birçok çevre problemlerinin etkisi altındadır. Tarımsal üretim yapılan araziler giderek artan şehirleşme, sanayileşme, erozyon ve ulaşım faaliyetlerinden kaynaklı verimli arazilerimiz azalmakta; bunların dışında kalan kullanılabilen tarımsal arazilerde bilinçsiz gübreleme, tarımsal mücadele ilaçları, evsel ve endüstriyel atıkların yarattığı sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır (Ceritli,1997). FAO verileri analiz edildiğinde, erozyon, tuzluluk, ürün kaybı, kirlilik gibi nedenlerden dolayı tarım arazilerinin %30'dan fazlasının kaybolduğu veya verimsiz hale geldiği belirlenmiştir (TMMO, 2018). Türkiye'deki durum ise erozyondan etkilenmeyen alanların %13.9 olmasına karşılık, arazilerin %58.7'ünde erozyon etkisi şiddetli (orta veya yüksek) olarak belirlenmiştir (Anonim, 2024). Dünyada tarımsal arazilerin 1/3'ü uygun olmayan toprak yönetimi nedeniyle farklı derecelerde (orta veya yüksek) zarara uğradığı belirlenmiştir (FAO, 2019, FAO ve ITPS, 2015).

Konvansiyonel tarım sisteminde üretim yarışında harcanan güç minimuma ineilmekte ve gelişen tohum teknolojisiyle birim alandan daha fazla ürün alınabilmektedir. Ancak daha fazla ürün alınırken bilimsel uygulamalara başvurulmadan doğru zaman, karar, yöntem ve dozda yapılmayan kimyasal gübre, pestisit uygulamaları, aşırı sulama ve tarımsal aletlerin yarattığı zararlar **tarımsal kirliliği** yaratmaktadır.

Toprak kirliliğine neden olan etmenleri kentsel atıklar, egzoz gazları, sanayi atıkları, pestisit, herbisitler ve kimyasal gübreler olarak tanımlanabilir. Tarımsal faaliyetler ve çevre birbiriyle ilişkili olup yapılan araştırmalara göre, sanayileşme ve şehirleşmenin artması nedeniyle tarım topraklarındaki kirlilik, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çoğunda giderek artan soruna dönüşmüştür (Proshad & ark., 2018.).

¹ Prof. Dr., Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bitki Koruma A.D., gbuyuk@adiyaman.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0522-3188

² Prof. Dr., Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bitki Besleme A.D., mcimrin@hotmail.com, ORCID iD: 0000-0001-5158-8412

peroksidazlar (POD), katalazlar (CAT) ve askorbat peroksidazlar (APX) ve enzimatik olmayan antioksidanlar, yani indirgenmiş glutatyon (GSH) miktarını olumsuz yönde etkiler. Bitkilerde kurşun toksisitesi morfo-fizyolojik ve biyokimyasal değişikliklere uğrar ve bitkilerin hücreden organa kadar normal işleyişini bozar (Ashraf & ark., 2017).

Mangan (Mn): Hem manganeksizliği hem de fazlalığı redoks homeostazisine müdahale eder ve hücrelerde oksidatif stresi aktive ettiğinden, bitki hücrelerinde mangan yönetimi, hücrelere uygun gelişim koşullarının sağlanması açısından önemlidir. Aşırı miktarda Mn morfolojik ve anatomik parametreleri etkiler ancak mangan toksisitesinin kesin mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Verim ve kalite için Mn toksisitesi birincil sınırlayıcıdır (Carvalho & ark., 2015). Mn toksisitesi sorunu genellikle toprağın pH'ı 5.5 veya daha düşük olduğunda ortaya çıkar. Bu nedenle asitli topraklar dünyada tarımsal üretimin azalmasının ana nedenleri arasında sıklıkla sayılmaktadır. Bu koşullar altında Mn, Al ve Fe gibi bazı elementlerin alımının artması besin eksikliğine neden olur. Toplam arazi alanının yaklaşık %30'u, %50'si potansiyel olarak ekilebilir topraklar dahil olmak üzere bu tür topraklarla kaplıdır (Kochian & ark., 2004).

Nikel (Ni): Havadaki Ni parçacıkları tarafından tarım topraklarında biriken Ni konsantrasyonunun artması özellikle endişe vericidir. Ortam havasına Ni emisyonlarının ana kaynakları, ısı veya enerji üretimi için kömür ve petrolün yakılması, Ni madenciliği, çelik üretimi ve çimento üretimi gibi diğer çeşitli kaynaklardır. Ni, yüksek konsantrasyonda güçlü bir şekilde fitotoksiktir. Bazı bitkilerde Ni aktivitesinde değişikliğe neden olur. süperoksit dismutaz (SOD), Askorbat peroksitler (APX) ve Katalaz gibi antioksidan enzimler (KEDİ). Bitkilerde nikel toksisitesinin en yaygın belirtileri büyümenin engellenmesi, kloroz, nekroz ve solgunluk. Nikel bitkilerde metabolik reaksiyonu güçlü bir şekilde etkiler ve oksidatif strese neden olabilecek Reaktif Oksijen Türlerini (ROS) üretme yeteneği yüksek Ni alımı, dikotil ve monokotil bitki türlerinin su içeriğinde bir düşüşe neden olur. Aterdeki azalma bitkilerde Ni toksisitesinin bir göstergesi olarak görev yapabilir. Ni, proteinlerin çimlenmesini ve klorofil sentezini engellemesiyle ilişkilidir (Bhalerao & ark., 2015).

KAYNAKLAR

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egyptian journal of petroleum*, 25(1), 107-123.
- Agrawal, M. Effects of air pollution on agriculture: an issue of national concern. *Natl.Acad. Sci. Lett.*2005:28(3/4), 93-106.
- Agrawal, M., Singh, B., Rajput, M., Marshall, F., & Bell, J. N. B. (2003). Effect of air pollution on peri-urban agriculture: a case study. *Environmental Pollution*, 126(3), 323-329.
- Aktar, M. W., Sengupta, D., & Chowdhury, A. (2009). Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. *Interdisciplinary toxicology*, 2(1), 1.
- Altıkat, A., Turan, T., Torun, F. E., & Bingöl, Z. (2009). Türkiye'de pestisit kullanımı ve çevreye olan etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(2), 87-92.
- Anonim. Tema Diyor ki; Toprağı Koruyun, Küresel Isınmaya El Koyun. www.panel.org/tema, erişim: 07.04.2015.
- Abedin, M. J., Cotter-Howells, J., & Meharg, A. A. (2002). Arsenic uptake and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) irrigated with contaminated water. *Plant and soil*, 240(2), 311-319.
- Ali, S., Rizwan, M., Ullah, N., Bharwana, S. A., Waseem, M., Farooq, M. A., ... & Farid, M. (2016). Physiological and biochemical mechanisms of silicon-induced copper stress tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Acta Physiologiae Plantarum*, 38(11), 262.
- Anonim. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/havzaamenajmani_6500a.pdf. 2024:10.05.2024
- Ashraf, U., Kanu, A. S., Deng, Q., Mo, Z., Pan, S., Tian, H., & Tang, X. (2017). Lead (Pb) toxicity; physio-biochemical mechanisms, grain yield, quality, and Pb distribution proportions in scented rice. *Frontiers in plant science*, 8, 259.
- Atılğan, A. (2007). *Seralarda Aşırı Gübre Kullanımı Çevreyi Tehdit Ediyor. Ekoloji Dergisi*.
- Bart, S., Pelosi, C., & Pery, A. R. (2019). Towards a better understanding of the life cycle of the earthworm *Aporrectodea caliginosa*: new data and energy-based modelling. *Pedobiologia*, 77, 150592.

- Bayram, C. A., & Büyük, G. (2021). Toprak işleme ve gübreleme yapılmayan meyve ağaçlarında bitki besin elementi düzeylerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 1-8.
- Bayram, C. A. (2024). The effects of Mycorrhiza and Seaweed applications on Seedling Growth parameters: Tomato and Pepper. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 55(10), 1375-1389.
- Bayram, C. A., Büyük, G., & Kaya, A. (2021). Effects of farm manure, vermicompost and plant growth regulators on yield and fruit quality in watermelon. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24(1), 64-69.
- Bazihizina, N., Taiti, C., Marti, L., Rodrigo-Moreno, A., Spinelli, F., Giordano, C., ... & Mancuso, S. (2014). Zn²⁺-induced changes at the root level account for the increased tolerance of acclimated tobacco plants. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 4931-4942.
- Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B., & Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(27), 11039-11043.
- Bell, J. N. B., Power, S. A., Jarraud, N., Agrawal, M., & Davies, C. (2011). The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(3), 226-235.
- Bernhardt, E. S., Rosi, E. J., & Gessner, M. O. (2017). Synthetic chemicals as agents of global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2), 84-90.
- Bhalerao, S. A., Sharma, A. S., & Poojari, A. C. (2015). Toxicity of nickel in plants. *Int. J. Pure Appl. Biosci*, 3(2), 345-355.
- Bouwman, A. F., Boumans, L. J. M., & Batjes, N. H. (2002). Modeling global annual N₂O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochemical Cycles*, 16(4), 28-1.
- Burger, M., & Tigre, M. A. (2023). Global climate litigation report: 2023 status review.
- Burgess, L. C. (2013). Organic pollutants in soil. *Soils and human health*, 83-106.
- Büyük, G., Bayram, C. A., İnan, M., & Kırpık, M. (2022). The effect of organic and inorganic fertilizers on plant nutrient content and agronomic performance of stevia. *Journal of Plant Nutrition*, 45(15), 2303-2314.
- Büyük, G., Akça, E., Kume, T., & Nagano, T. (2016). Investigation of nitrate pollution in groundwater used for irrigation in Konya Karapınar region, central Anatolia. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 168-173.
- Carvalho, M., Goss, M., & Teixeira, D. (2015). Manganese toxicity in Portuguese Cambisols derived from granite: causes, limitations of soil analyses and possible solutions. *Revista de Ciências Agrárias*, 38, 518-527.
- CED. Bursa İli 2016 yılı çevre durum raporu, Bursa Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Hazırlayan: ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü-Bursa. 2017:s: 21-44.
- Ceritli, İ. (1997). Türkiye'nin toprak sorunu. *Ekoloji*, 22, 4-8.
- Chang, K. H., Wu, R. Y., Chuang, K. C., Hsieh, T. F., & Chung, R. S. (2010). Effects of chemical and organic fertilizers on the growth, flower quality and nutrient uptake of *Anthurium andreanum*, cultivated for cut flower production. *Scientia Horticulturae*, 125(3), 434-441.
- Chiaia-Hernandez, A. C., Keller, A., Wächter, D., Steinlin, C., Camenzuli, L., Hollender, J., & Krauss, M. (2017). Long-term persistence of pesticides and TPs in archived agricultural soil samples and comparison with pesticide application. *Environmental Science & Technology*, 51(18), 10642-10651.
- Cordell, D., Drangert, J. O., & White, S. (2009). The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global environmental change*, 19(2), 292-305.
- Cüre, B. (2022). Kimyasal ve organik gübrelerin çevre üzerine etkisi. *Uluslararası Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, 3(2), 98-107.
- Çağlarırnak, N. (2008). Endüstrileşmenin Gıda Üretimleri ve Gıda güvenliğine Etkileri.
- Çağlarırnak, N., & Hepçimen, A. Z. (2010). Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi. *Akademik Gıda*, 8(2), 31-35.
- Çevre Mühendisleri Odası (ÇMO). Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu (pdf dosyası). 2018. 21.02.2021 tarihinde https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/0d4a5b926c005a6_ek.pdf adresinden erişilmiştir.
- Davis, F. R. (2014). *Banned: a history of pesticides and the science of toxicology*. Yale University Press.
- Demirtaş, A. (2005). Bitkide bor ve etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(2), 217-225.
- Devine, G. J., & Furlong, M. J. (2007). Insecticide use: Contexts and ecological consequences. *Agriculture and Human values*, 24(3), 281-306.
- Druart C, Millet M, Scheifler R, Delhomme O, Raeppl C, de Vauflery A. Snails as indicators of pesticide drift, deposit, transfer and effects in the vineyard. *Sci. Total Environ*. 2011;409, 4280-4288. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.07.006>.
- Druart C, Scheifler R, Millet M, de Vauflery, A. Lands nail eggs bioassays: a new tool to assess embryo toxicity of contaminants in the solid, liquid or gaseous phase of soil. *Appl. Soil Ecol*. 2012;53, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011a.11.006>.
- Druart C, Gimbert F, Scheifler R, de Vauflery A. A full life-cycle bioassay with *Cantareus aspersus* shows reproductive effects of a glyphosate-based herbicide suggesting potential endocrine disruption. *Environ. Pollut*. 2017;226, 240-249. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.061>.
- Dişbudak, K., & Saklıdır, H. H. (2008). Avrupa Birliği'nde Tarım-Çevre İlişkisi Ve Türkiye'nin Uyumu.
- Dorak, S., Aşık, B. B., & Özsoy, G. (2019). Tarımda su kalitesi ve su kirliliğinin önemi: Bursa Nilüfer çayı örneği. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(1), 155-166.
- Doran, J. W., Sarrantonio, M., & Liebig, M. A. (1996). Soil health and sustainability. *Advances in agronomy*, 56, 2-55.

- Dursun, A., Aslantaş, R., & Pırlak, L. (1998). Hava kirliliğinin bahçe bitkileri yetiştiriciliği üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, 7(27), 11-14.
- Ekoloji Birliği. Gediz Nehri'ndeki Kirlilik Türkiye'nin En Önemli Havzasının Geleceği İçin Alarm Veriyor. <https://ekolojibirligi.org>. 2020. 11.05.2024 tarihinde erişilmiştir.
- Erşahin, S., & Bilgili, B. C. (2023). Nitrates in Turkish waters: Sources, mechanisms, impacts, and mitigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(42), 95250-95271.
- Fajana, H. O., Gainer, A., Jegede, O. O., Awuah, K. F., Princz, J. I., Owojori, O. J., & Siciliano, S. D. (2019). *Oppia nitens* CL Koch, 1836 (Acari: Oribatida): current status of its bionomics and relevance as a model invertebrate in soil ecotoxicology. *Environmental toxicology and chemistry*, 38(12), 2593-2613.
- FAO. Agriculture Organization (Ed.). (2019). *World Food and Agriculture-Statistical Pocketbook 2018*. Food & Agriculture Organization of the UN.
- FAO ve ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. *Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü ve Hükümetlerarası Teknik Toprak Kurulu*. 2015. Roma.
- Fountain, M. T., & Hopkin, S. P. (2005). *Folsomia candida* (Collembola): a “standard” soil arthropod. *Annu. Rev. Entomol.*, 50(1), 201-222.
- FAO. Resource STAT-Fertilizer. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online]. Available: <http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>, 12.03.2009.
- García Gallegos, E., García Nieto, E., Juárez Santillán, L. F., Juárez Santacruz, L., Montiel González, J. M. R., & Gómez Camarillo, M. A. (2012). La respuesta de haba (*Vicia faba*, L.) cultivada en un suelo contaminado con diferentes concentraciones de cadmio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(2), 119-126.
- Garg, N., & Singh, S. (2018). Mycorrhizal inoculations and silicon fortifications improve rhizobial symbiosis, antioxidant defense, trehalose turnover in pigeon pea genotypes under cadmium and zinc stress. *Plant Growth Regulation*, 86(1), 105-119.
- Garg, N., & Singla, P. (2011). Arsenic toxicity in crop plants: physiological effects and tolerance mechanisms. *Environmental chemistry letters*, 9(3), 303-321.
- Gayakwad, V.S., Deshmukh A.N., Lade, A. H. (2023). Preventive measures being taken by farmers in controlling agricultural pollution. *The Pharma Innovation Journal*, 12(5): 1225-1227
- Gilliom, R. J. (2007). Pesticides in US streams and groundwater.
- Gopal, R., Dube, B. K., Sinha, P., & Chatterjee, C. (2003). Cobalt toxicity effects on growth and metabolism of tomato. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34(5-6), 619-628.
- Gunatilake, J., Gunatilake, S. (2004). Pollution of drinking water by application of nitrate fertilizers a case study from Kandy. Water professionals symposium, *Post Graduate Institute of Agriculture, University of Peradeniya*, Sri Lanka, pp 113–120.
- Güneş, A., Alpaslan, M., & İnal, A. (2000). Bitki besleme ve gübreleme. *Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayın*, (1514), 199.
- Haider, F. U., Coulter, J. A., Cheema, S. A., Farooq, M., Wu, J., Zhang, R., ... & Liqun, C. (2021). Co-application of biochar and microorganisms improves soybean performance and remediate cadmium-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214, 112112.
- Havugimana, E., Bhople, B.S., Kumar, A., Byiringiro, E., Mugabo, J.P., Kumar, A. (2017). Soil pollution–major source and types of soil pollutants. *Environmental science and engineering*, (11): 53-86.
- Hermans, C., Chen, J., Coppens, F., Inzé, D., & Verbruggen, N. (2011). Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure. *New phytologist*, 192(2), 428-436.
- Houghton, J. (2005). *Global Warming Rep. Prog. Phys.* 2005:68 13431403.
- Hu, Y., & Cheng, H. (2016). A method for apportionment of natural and anthropogenic contributions to heavy metal loadings in the surface soils across large-scale regions. *Environmental Pollution*, 214, 400-409.
- Hu, B., Chen, S., Hu, J., Xia, F., Xu, J., Li, Y., & Shi, Z. (2017). Application of portable XRF and VNIR sensors for rapid assessment of soil heavy metal pollution. *PloS one*, 12(2), e0172438.
- Huang, Y., Wang, L., Wang, W., Li, T., He, Z., & Yang, X. (2019). Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 651, 3034-3042.
- Ibrikçi, H., Yağbasanlar, T., Keklikçi, Z., Çakmak, İ., Büyük, G., Toklu, F., & Güzel, N. (2000). Çukurova Bölgesinde insan sağlığı ve çiftçi ekonomisi açısından buğdayda azot gübrelemesinin optimizasyonu. *DPT Kesin Sonuç Raporu. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Adana*.
- Jali, P., Pradhan, C., & Das, A. B. (2016). Effects of cadmium toxicity in plants: a review article. *Sch. Acad. J. Biosci*, 4(12), 1074-1081.
- Jayakumar, R., Nwe, N., Tokura, S., & Tamura, H. (2007). Sulfated chitin and chitosan as novel biomaterials. *International journal of biological macromolecules*, 40(3), 175-181.
- Kacar, B., Katkat, V. (2006). Bitki Besleme. Nobel Yayın No:849.
- Kadioğlu, B. (2021). Toprak kirliliği ile kimyasal gübre kullanımı arasındaki olası bağlantıların incelenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 1(2), 26-38.
- Kara, E., Taciroğlu, B., & Sak, T. (2016). Toprakta ağır metal gideriminde solucanların kullanımı. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2), 201-207.

- Karaca, A., & Turgay, O. C. (2012). Toprak kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 1(1), 13-19.
- Khadija, D., Hicham, A., Rida, A., Hicham, E., Nordine, N., & Najlaa, F. (2021). Surface water quality assessment in the semi-arid area by a combination of heavy metal pollution indices and statistical approaches for sustainable management. *Environmental Challenges*, 5, 100230.
- Kim, B. S., & Song, J. Y. (2010). Biological synthesis of gold and silver nanoparticles using plant leaf extracts and antimicrobial applications. *Biocatalysis and biomolecular engineering*, 447-457.
- Kochian, L. V., Hoekenga, O. A., & Pinerros, M. A. (2004). How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55(1), 459-493.
- Koul, B., & Taak, P. (2018). Soil pollution: causes and consequences. In *Biotechnological strategies for effective remediation of polluted soils* (pp. 1-37). Singapore: Springer Singapore.
- Kumar, S., Meena, R. S., & Chatterjee, R. (2016). Microwave absorption studies of Cr-doped Co-U type hexaferrites over 2-18 GHz frequency range. *Journal of Magnetism and Magnetic Mate*
- Kumar, R., Kumar, R., & Prakash, O. (2019). Chapter-5 the impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. *Chief Ed*, 35(69), 1173-1189.
- Küpe, M., & Köse, C. (2013). Hava kirliliğinin asmalar üzerindeki etkileri. *Meyve Bilimi*, 1(1), 27-33.
- Lewis, S. E., Silburn, D. M., Kookana, R. S., & Shaw, M. (2016). Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: an overview of the current state of knowledge. *Journal of agricultural and food chemistry*, 64(20), 3917-3924.
- Li, Z., & Jennings, A. (2018). Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water. *Journal of environmental management*, 212, 384-394.
- Li, C., Zhou, K., Qin, W., Tian, C., Qi, M., Yan, X., & Han, W. (2019). A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 28(4), 380-394.
- Li, Q., Hu, Y., Jia, Q., & Song, C. (2018, February). Establishment and application of the estimation model for pollutant concentration in agriculture drain. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 121, No. 3, p. 032046). IOP Publishing.
- Lin, W., Lin, M., Zhou, H., Wu, H., Li, Z., & Lin, W. (2019). The effects of Long, Y., & Peng, J. (2023). Interaction between boron and other elements in plants. *Genes*, 14(1), 130.
- Lu, H., & Xie, H. (2018). Impact of changes in labor resources and transfers of land use rights on agricultural non-point source pollution in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Management*, 207, 134-140.
- Ma, X. C., He, G. Q., He, D. H., Chen, C. S., & Hu, Z. F. (2008). Sliding wear behavior of copper-graphite composite material for use in maglev transportation system. *Wear*, 265(7-8), 1087-1092.
- MacCracken, M. C. (2001). Global warming: A science overview. In *Global warming and energy policy* (pp. 151-159). Boston, MA: Springer US.
- McKinlay, R., Dassyne, J., Djamgoz, M., Plant, J. A., Voulvoulis, N., Ragnarsdottir, K., & Voulvoulis, N. (2012). Agricultural pesticides and chemical fertilisers. *Pollutants, human health and the environment: a risk based approach, 1st edn.* Wiley, West Sussex, 181-206.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., & Appel, T. (2001). Soil copper. In *Principles of plant nutrition* (pp. 599-611). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Mengoni, A., Schat, H., & Vangronsveld, J. (2010). Plants as extreme environments? Ni-resistant bacteria and Ni-hyperaccumulators of serpentine flora. *Plant and Soil*, 331(1), 5-16.
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan*, 3(1), 1-14.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Nicolopoulou-Stamati P, Maipas S, Kotampas, C, Stamatis P, Hens L. Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Front. Public Health*.2016; 4, 148.
- Nazir, A., Zahra, F., Sabri, M. U., Ghaffar, A., Ather, A. Q., Khan, M. I., & Iqbal, M. (2021). Charcoal prepared from bougainvillea spectabilis leaves as low cost adsorbent: kinetic and equilibrium studies for removal of iron from aqueous solution. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 235(3), 265-279.
- Neuwirthová, N., Trojan, M., Svobodová, M., Vašíčková, J., Šimek, Z., Hofman, J., & Bielská, L. (2019). Pesticide residues remaining in soils from previous growing season (s)-Can they accumulate in non-target organisms and contaminate the food web?. *Science of the Total Environment*, 646, 1056-1062.
- Nuhoglu, Y. (2005). The harmful effects of air pollutants around the Yenikoy thermal power plant on architecture of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) needles. *Journal of Environmental Biology*, 26(2 Suppl), 315-322.
- Osma, E., Özyiğit, İ. İ., Leblebici, Z., Demir, G., & Serin, M. (2012). Determination of heavy metal concentrations in tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller) grown in different station types.
- Özay, C., & Mammadov, R. (2013). Ağır metaller ve süs bitkilerinin fitoremediasyonda kullanılabilirliği. *Bahkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15(1), 68-77.
- Özkay, F., Taş, İ., & Çelik, A. (2008). Sulama projelerinin çevresel etkileri. *TMMOB*, 2, 501-508.

- Pahalvi, H. N., Rafiya, L., Rashid, S., Nisar, B., & Kamili, A. N. (2021). Chemical fertilizers and their impact on soil health. In *Microbiota and biofertilizers, Vol 2: Ecofriendly tools for reclamation of degraded soil environs* (pp. 1-20). Cham: Springer International Publishing.
- Paoletti, M. G. (1999). Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 1-18). Elsevier.
- Pathak, H., & Wassmann, R. (2007). Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems*, 94(3), 807-825.
- Pavlidis, G., Tsihrintzis, V. A., Karasali, H., & Alexakis, D. (2018). Tree uptake of excess nutrients and herbicides in a maize-o-live tree cultivation system. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 53(1), 1-12.
- Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., & Vandenbulcke, F. (2014). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1), 199-228.
- Pelosi, C., Bertrand, C., Daniele, G., Coeurdassier, M., Benoit, P., Nélieu, S., ... & Fritsch, C. (2021). Residues of currently used pesticides in soils and earthworms: A silent threat?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 305, 107167.
- Pelosi, C., & Römbke, J. (2016). Are Enchytraeidae (Oligochaeta, Annelida) good indicators of agricultural management practices?. *Soil Biology and Biochemistry*, 100, 255-263.
- Polat, H. E., & Manavbaşı, İ. D. (2012). Arazi toplulaştırmasının kırsal alanda yakıt tüketimi ve karbondioksit salınımına etkisinin belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18(2), 157-165.
- Proshad, R., Kormoker, T., Mursheed, N., Islam, M. M., Bhuyan, M. I., Islam, M. S., & Mithu, T. N. (2018). Heavy metal toxicity in agricultural soil due to rapid industrialization in Bangladesh: a review. *International Journal of Advanced Geosciences*, 6(1), 83-88.
- Raffa, C. M., & Chiampo, F. (2021). Bioremediation of agricultural soils polluted with pesticides: A review. *Bioengineering*, 8(7), 92.
- Rao, E. P., & Puttanna, K. (2000). Nitrates, agriculture and environment. *Current Science*, 79(9), 1163-1168.
- Raven, J. A., Evans, M. C., & Korb, R. E. (1999). The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms. *Photosynthesis research*, 60(2), 111-150.
- Rehman, A., Chandio, A. A., Hussain, I., & Jingdong, L. (2019). Fertilizer consumption, water availability and credit distribution: Major factors affecting agricultural productivity in Pakistan. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 269-274.
- Rehman, S., Park, T. I., Kim, Y. J., Seo, Y. W., & Yun, S. J. (2006). Inverse relationship between boron toxicity tolerance and boron contents of barley seed and root. *Journal of Plant Nutrition*, 29(10), 1779-1789.
- Relyea, R. A. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Ecological applications*, 15(2), 618-627.
- Riffaldi, R. I. C. C. A. R. D. O., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., Palumbo, S., & Saviozzi, A. (2006). Soil biological activities in monitoring the bioremediation of diesel oil-contaminated soil. *Water, air, and soil pollution*, 170(1), 3-15.
- Saha, J. K., Selladurai, R., Coumar, M.V., Dotaniya, M.L., Kundu, S., Patra, A.K. (2017). Soil pollution and emerging threat to agriculture. 271-315. Springer Singapore.
- Savci, S. (2012). An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 73.
- Semericioğlu, T. Ş., Bayram, C. A., Büyük, G., Akca, E., & Kalkancı, N. (2023). The effect of altitude on soil organic carbon content in semi-arid mediterranean climate. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 7(1), 192-196.
- Schreinemachers P, Tipraqsa P. Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food policy*. 2012;37(6), 616-626.
- Senger, M. R., Rosemberg, D. B., Seibt, K. J., Dias, R. D., Bogo, M. R., & Bonan, C. D. (2010). Influence of mercury chloride on adenosine deaminase activity and gene expression in zebrafish (*Danio rerio*) brain. *Neurotoxicology*, 31(3), 291-296.
- Seven, P. T. (2008). The effects of dietary Turkish propolis and vitamin C on performance, digestibility, egg production and egg quality in laying hens under different environmental temperatures. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(8), 1164-1170.
- Seyyednejad, M. S., & Koochak, H. (2011). A study on air pollution effects on *Eucalyptus camaldulensis*. In *International Conference on Environmental, Biomedical and Biotechnology, IPCBEE* (Vol. 16).
- Singh, S. P., & Singh, M. K. (2020). Soil pollution and human health. In *Plant responses to soil pollution* (pp. 205-220). Singapore: Springer Singapore.
- Silva, V., Mol, H. G., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2019). Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653, 1532-1545.
- Soudek, P., Katrušáková, A., Sedláček, L., Petrová, Š., Kočí, V., Maršík, P., ... & Vaněk, T. (2010). Effect of heavy metals on inhibition of root elongation in 23 cultivars of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59(2), 194-203.
- Sosse BA, Genet P, Dunand-Vinit F, Toussaint LM, Epron D, Badot PM.(2004). Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, (166):1213-1218.

- Souza-Santos, P., Ramos, R. S., Ferreira, S. T., & Carvalho-Alves, P. C. (2001). Iron-induced oxidative damage of corn root plasma membrane H⁺-ATPase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1512(2), 357-366.
- Sonmez, I., Kaplan, M., & Sonmez, S. (2007). Investigation of seasonal changes in nitrate contents of soils and irrigation waters in greenhouses Located in Antalya-Demn region. *Asian Journal of Chemistry*, 19(7), 5639.
- Sönmez, S., Kaplan, M., Sönmez, N.K., Kaya, H. (2006). Topraktan Yapılan Bakır Uygulamalarının Toprak Ph'sı Ve Bitki Besin Maddesi İçerikleri Üzerine Etkisi. *Akdeniz University Journal of The Faculty of Agriculture*, 19(1), 151-158.
- Sumiahadi, A., & Acar, R. (2018, March). A review of phytoremediation technology: heavy metals uptake by plants. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 142, p. 012023). IOP Publishing.
- Sümer, S.K., Kocabıyık, H., Say, S.M., Çiçek, G. (2010). Traktörlerde 540 ve 540E kuyruk mili çalışma karakteristiklerinin tarla koşullarında kıyaslanması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 16: 37-45.
- Tang, F. H., Lenzen, M., McBratney, A., & Maggi, F. (2021). Risk of pesticide pollution at the global scale. *Nature geoscience*, 14(4), 206-210.
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., ... & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *science*, 292(5515), 281-284.
- Tolunay, D., Öztürk, S., Karakaş, A., Akkaş, M., Adıgüzel, U., Gürlevik, N., Taşdemir, C., Aytar, F. (2013). Türkiye'de hava kirliliğinin ormanlar üzerindeki etkilerinin izlenmesi ve değerlendirilmesi uluslararası işbirliği programı (IcpForests)'ndan Elde Edilen Sonuçlar. *Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*. 2013:6-21
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı. *Türkiye Çevre Atlası ÇED Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı*. 2004. Ankara,
- Tunc, T., & Sahin, U. (2015). The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management*, 158, 213-224.
- Turabi, M. S. (2007). Bitki koruma ürünlerinin ruhsatlandırılması. *Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 25-26.
- Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Çevre Mühendisleri Odası. *Dünya Çevre Günü Türkiye Raporu (pdf dosyası)*.2018. 21.02.2021 tarihinde https://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/0d4a5b926c005a6_ek.pdf adresinden erişilmiştir.
- Vaillant, N., Monnet, F., Hitmi, A., Sallanon, H., & Coudret, A. (2005). Comparative study of responses in four Datura species to a zinc stress. *Chemosphere*, 59(7), 1005-1013.
- Verma, J. P., Jaiswal, D. K., & Sagar, R. (2014). Pesticide relevance and their microbial degradation: a-state-of-art. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 13(4), 429-466.
- Viesturs, D., Kopiks, N., Melece, L., & Zakis, I. (2011, May). Methodological aspects for estimation of impact of modernisation of fleet of tractors upon polluting emissions in the air. In *Proceedings of The 10th International Scientific Conference-Latvian University of Agriculture Jelgava,(I)* (pp. 89-92).
- Vurarak, Y., & Bilgili, M. (2015). Tarımsal mekanizasyon, erozyon ve karbon salınımı: Bir bakış. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(3), 307-316.
- Willis, K. J., & Bhagwat, S. A. (2009). Biodiversity and climate change. *Science*, 326(5954), 806-807.
- Wolejko, E., Jabłońska-Trypuc, A., Wydro, U., Butarewicz, A., & Łozowicka, B. (2020). Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides—a review. *Applied Soil Ecology*, 147, 103356.
- Xu, J., Yang, L., Wang, Z., Dong, G., Huang, J., & Wang, Y. (2006). Toxicity of copper on rice growth and accumulation of copper in rice grain in copper contaminated soil. *Chemosphere*, 62(4), 602-607.
- Yadav, M., & Kumar, D. (2021). Parameters of Soil Chemistry. *Applied Soil Chemistry*, 197-214.
- Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., & Bi, J. (2018). A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Science of the total environment*, 642, 690-700.
- Yıldız M, Terzi H, Uruşak B. Bitkilerde krom toksisitesi ve hücresel cevaplar. Erciyes Üni. Fen Bilimleri Ens. Fen B. Dergisi. 2011;27(2):163-176.
- Yera, A. M., Nascimento, M. M., Rocha, G. O. D., Andrade, J. B. D., & Vasconcellos, P. C. (2020). Occurrence of pesticides associated to atmospheric aerosols: hazard and cancer risk assessments. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 31(6), 1317-1326.
- Yücedağ, C., & Kaya, L. G. (2016). Hava kirleticilerin bitkilere etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 67-74.
- Zhang, Q. C., Shamsi, I. H., Xu, D. T., Wang, G. H., Lin, X. Y., Jilani, G., ... & Chaudhry, A. N. (2012). Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure. *Applied Soil Ecology*, 57, 1-8.
- Zeid, I. M., Ghazi, S. M., & Nabawy, D. M. (2013). Alleviation of heavy metals toxicity in waste water used for plant irrigation.
- Zhou, Z. S., Wang, S. J., & Yang, Z. M. (2008). Biological detection and analysis of mercury toxicity to alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Chemosphere*, 70(8), 1500-1509.

TOPRAK KİRLİLİĞİ VE BAHÇE TARIMI

Ceren Ayşe BAYRAM¹, Gökhan BÜYÜK², Tuğba ŞİMŞEK³, Nilgün KALKANCI⁴

GİRİŞ

Toprak, insanlığın sahip olduğu en değerli doğal kaynaklardan biridir ve sürdürülebilir tarımsal üretimin temelini oluşturur (Özden & ark., 2022). Toprak; mineral madde (%45), organik madde (%5), hava (%25) ve su (%25) bileşenlerinden meydana gelir. Organik madde, mikroorganizmalar ve diğer canlı unsurlar açısından oldukça zengin olup toprak verimliliği için kritik öneme sahiptir.

Ancak artan nüfus, sanayileşme ve yoğun tarımsal uygulamalar nedeniyle toprak ekosisteminde ciddi bozulmalar meydana gelmektedir. Tarımsal üretimde kullanılan kimyasal girdiler ve teknolojik gelişmelerin yanlış uygulanması, zamanla toprak kirliliğinin artmasına, dolayısıyla bahçe tarımı yapılan alanlarda verim ve kalite düşüşlerine yol açmaktadır (Algan & ark., 2005; Syed, 2005).

Toprak, sadece bitkilerin dik durmasını sağlayan bir ortam değil, aynı zamanda besin elementlerinin kökler aracılığıyla alınmasını ve bitkisel üretimin devamlılığını sağlayan dinamik bir sistemdir. Buna rağmen geçmişte insan, doğal kaynakların sınırsız olduğu yanılgısıyla toprağı korumadan ve iyileştirmeden yoğun biçimde kullanmış, bu da toprak kalitesinde kalıcı bozulmalara neden olmuştur (Chan & ark., 2016).

Bahçe tarımında toprak kirliliği, çevresel ve tarımsal süreçlerden kaynaklanan kirleticilerin birikimi sonucu toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulması şeklinde tanımlanır. Bu kirlenme, doğrudan toprak verimliliğini azaltarak bitki gelişimini ve ürün kalitesini olumsuz etkiler. Toprak kirliliği; sanayi atıkları, tarımda kullanılan kimyasallar, evsel atıklar, madencilik faaliyetleri, petrol sızıntıları ve hava kirliliği gibi çok sayıda kaynaktan kaynaklanmaktadır (Mirsal, 2008; UNEP, 2020; Farrington, 2013; Singh & Agrawal, 2007).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Adıyaman Üniversitesi, Kahta Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, cerenaysenazik@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-1570-273X

² Prof. Dr., Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bitki Koruma A.D., gbuyuk@adiyaman.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0522-3188

³ Ziraat Yüksek Mühendisi, Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Toprak Su Kaynakları Lab., tuba_semerci@yahoo.com, ORCID iD: 0000-0002-9383-7621

⁴ Ziraat Yüksek Mühendisi, Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Toprak Su Kaynakları Lab., nil2733@yahoo.com, ORCID iD: 0000-0002-0509-3168

KAYNAKLAR

- Anonim 2023. <http://www.turktarim.gov.tr/haber/901/zeytin-ve-zeytinyagi-uretiminde-rekor-artis> Son Erişim:5.11.2024
- Anonim, 2021a.tepge raporu (pdf) chrome-
<http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/belgeler/pdf%20tar%c4%b1m%20%c3%9cr%c3%bcnleri%20piyasalar%c4%b1/2021-haziran%20tar%c4%b1m%20%c3%9cr%c3%bcnleri%20raporu/elma,%20haziran-2021,%20tar%C4%B1m%20%C3%9cr%C3%Bcnleri%20piyasa%20raporu,%20tepge.Pdf> Son Erişim:5.11.2024
- Anonim, 2021b.Tarım Ve Orman Bakanlığı Tarımsal Ekonomi Ve Geliştirme Enstitüsü Raporu (Pdf). <http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/belgeler/pdf%20tar%c4%b1m%20%c3%9cr%c3%bcnleri%20piyasalar%c4%b1/2021-ocak%20tar%c4%b1m%20%c3%9cr%c3%bcnleri%20raporu/%c3%9cz%c3%bcm,%20ocak-2021,%20tar%C4%B1m%20%C3%9cr%C3%Bcnleri%20piyasala%20raporu.Pdf> Son Erişim:5.11.2024
- Ataseven, Y. (2010). *Tarımsal Faaliyetlerin İçme Suyu Havzalarındaki Etkilerinin Araştırılması: Ankara İli Örneği* (Doctoral Dissertation, Ankara Üniversitesi (Turkey)).
- Aydoğdu, İ. B. (2014). Yerel ve Bölgesel Düzeyde Çevre Kirliliği Sorunları: Elazığ İli Örneği. *Fırat Üniversitesi Harput Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 133-148.
- Brussaard, L. (1997). *Biodiversity And Ecosystem Functioning In Soil. Applied Soil Ecology*, 5(1), 35-45.
- Burnett, J. (2007). Sustainability And Sustainable Buildings. *Hkie Transactions*, 14(3), 1-9.
- Carranca, C., Brunetto, G., & Tagliavini, M. (2018). Nitrogen Nutrition Of Fruit Trees To Reconcile Productivity And Environmental Concerns. *Plants*, 7(1), 4.
- Cao, X., Liang, Y., Jiang, J., Mo, A., & He, D. (2023). Organic additives in agricultural plastics and their impacts on soil ecosystems: Compared with conventional and biodegradable plastics. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 117212.
- Cataldo, E., Fucile, M., & Mattii, G. B. (2021). A Review: Soil Management, Sustainable Strategies And Approaches To Improve The Quality Of Modern Viticulture. *Agronomy*, 11(11), 2359.
- Chan, K. M., Balvanera, P., Benessaiah, K., Chapman, M., Díaz, S., Gómez-Baggethun, E., ... & Turner, N. (2016). Why Protect Nature? Rethinking Values And The Environment. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 113(6), 1462-1465.
- Chan, M. K., & King, B. (2000). Review Of The Implications Of Changes In Eu Pesticides Legislation On The Production And Export Of Fruits And Vegetables From Developing Country Suppliers.
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, And Risk Assessment Indicators. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 8(5), 1402-1419.
- Dara, S. K. (2019). The New Integrated Pest Management Paradigm For The Modern Age. *Journal of Integrated Pest Management*, 10(1), 12.
- DÖNMEZ, Ö. (2022). Organik Tarım Ürünlerinin Geri Dönüşümü ve Geri Kazanım Yöntemleri. *Journal of Social, Humanities and Administrative Sciences (Joshas)*, 7(38), 424-438.
- Farrington, J. W. (2013). Oil Pollution In The Marine Environment I: Inputs, Big Spills, Small Spills, And Dribbles. *Environment: Science And Policy For Sustainable Development*, 55(6), 3-13.
- Flower, L. (2006). Environmental pollution-especially air pollution-and public health. *AU JT*, 10(1), 29-37.
- Fuladlu, K., & Altan, H. (2021). Examining land surface temperature and relations with the major air pollutants: A remote sensing research in case of Tehran. *Urban Climate*, 39, 100958.
- Gahukar, R. T. (2014). Potential And Utilization Of Plant Products In Pest Control. In *Integrated Pest Management* (Pp. 125-139). Academic Press.
- Greathead, D. J., & Waage, J. K. (1983). *Opportunities For Biological Control Of Agricultural Pests In Developing Countries* (Vol. 11). Washington, Dc: World Bank.
- Güler, Ç., & Çobanoğlu, Z. (1997). Toprak Kirliliği. *Tc Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi*, 40.
- Güleryüz, M., Pırlak, L., Güvenç, İ., Zülkadir, A., & Eşitken, A. (2000). Bahçe Bitkileri Bölümü Ve Kuzeydoğu Anadolu Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliği. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1-4).
- Gündüzöğlü, H. A. G. (2019). *Küçük Menderes Havzası'nda Sürdürülebilir Arazi Planlaması* (Doctoral Dissertation, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Kabir, M. H., & Rainis, R. (2015). Adoption And Intensity Of Integrated Pest Management (Ipm) Vegetable Farming In Bangladesh: An Approach To Sustainable Agricultural Development. *Environment, Development And Sustainability*, 17, 1413-1429.
- Kaptan, S., Akşit, T., & Başpınar, H. (2018). Zeytin Sineği (Bactrocera Oleae (Rossi), Diptera: Tephritidae) Mücadelesinde Uygulanan Biyoteknik Mücadele Yöntemleri. *Zeytin Bilimi*, 8(1), 1-12.
- Khan, S., Et Al. (2008). *Soil Contamination With Cadmium, Lead, And Zinc In Urban And Peri-Urban Areas Of The City Of Lahore, Pakistan. Environmental Monitoring And Assessment*, 145(1-3), 93-105.
- Kızılkaya, R., Dumbadze, G., Gülser, C., & Jgenti, L. (2022). Impact Of Npk Fertilization On Hazelnut Yield And Soil Chemical-Microbiological Properties Of Hazelnut Orchards In Western Georgia. *Eurasian Journal Of Soil Science*, 11(3), 206-215.
- Lal, R. (2009). Soil Degradation As A Reason For Inadequate Human Nutrition. *Food Security*, 1, 45-57.
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's Mineral Nutrition Of Higher Plants*. Academic Press.

- Miller, R. M., & Jastrow, J. D. (2000). *Arbuscular Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure And Nutrient Cycling*. In: *Mycorrhizal Functioning: An Integrative Plant-Fungal*
- Mirsal, I. A. (2008). *Soil Pollution* (Pp. 117-136). Berlin: Springer.
- Mishra, S., Bharagava, R. N., More, N., Yadav, A., Zainith, S., Mani, S., & Chowdhary, P. (2019). Heavy metal contamination: an alarming threat to environment and human health. *Environmental biotechnology: For sustainable future*, 103-125.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy Metals, Occurrence And Toxicity For Plants: A Review. *Environmental Chemistry Letters*, 8, 199-216.
- Nosir, W. (2023). Cultivars And Agriculture Practice Of Fig (*Ficus Carica*). In *Fig (Ficus Carica): Production, Processing, And Properties* (Pp. 215-246). Cham: Springer International Publishing.
- Padhiary, M., & Kumar, R. (2024). Assessing the Environmental Impacts of Agriculture, Industrial Operations, and Mining on Agro-Ecosystems. In *Smart Internet of Things for Environment and Healthcare* (pp. 107-126). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Olowoyo, J. O., & Mugivhisa, L. L. (2019). Evidence Of Uptake Of Different Pollutants In Plants Harvested From Soil Treated And Fertilized With Organic Materials As Source Of Soil Nutrients From Developing Countries. *Chemical And Biological Technologies In Agriculture*, 6, 1-11.
- Özden, N., Sökmen, Ö., Uslu, İ., & Aras, S. (2022). Manisa İli Tarım Topraklarının Verimlilik Durumları İle Mikro Element Kapsamlarının Belirlenerek Haritalanması. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 32(2), 228-241.
- Özgüven, M. M. Bahçe Bitkileri Yetiştiriciliğinde Kullanılan Dijital Tarım Teknolojileri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 19(3), 174-193.
- Pettis, J. S., Lichtenberg, E. M., Andree, M., Stitzinger, J., Rose, R., & Vanengelsdorp, D. (2013). Crop Pollination Exposes Honey Bees To Pesticides Which Alters Their Susceptibility To The Gut Pathogen *Nosema Ceranae*. *Plos One*, 8(7), E70182.
- Provost, C., & Pedneault, K. (2016). The Organic Vineyard As A Balanced Ecosystem: Improved Organic Grape Management And Impacts On Wine Quality. *Scientia Horticulturae*, 208, 43-56.
- Saleem, S., Mushtaq, N. U., Rasool, A., Shah, W. H., Tahir, I., & Rehman, R. U. (2023). Plant Nutrition And Soil Fertility: Physiological And Molecular Avenues For Crop Improvement. In *Sustainable Plant Nutrition* (Pp. 23-49). Academic Press.
- Schmitz, A. (2018). Producers' Preference For Price Instability? *Theoretical Economics Letters*, 8(10), 1746.
- Algan, F. T. K., & Bilen, S. (2005). Toprak Kirlenmesi Ve Biyolojik Çevre *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(1), 83-88.
- Seven, T., Can, B., Darende, B. N., & Ocak, S. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Sharma, D. K., Singh, A., Sharma, P. C., Dagar, J. C., & Chaudhari, S. K. (2016). Sustainable Management Of Sodic Soils For Crop Production: Opportunities And Challenges. *Journal Of Soil Salinity And Water Quality*, 8(2), 109-130.
- Singh, A., & Agrawal, M. (2007). Acid Rain And Its Ecological Consequences. *Journal Of Environmental Biology*, 29(1), 15.
- Syed, Ibrahim B., 2005. Pollution. Islamic Research Foundation International, Inc. 7102 W. Shefford Lane Louisville, Ky 402426462, Usa Elektronik (Online) Erişim: [Http://Www.İrfi.Org/Articles/Articles_51_100/Pollution.Htm](http://www.İrfi.Org/Articles/Articles_51_100/Pollution.Htm)
- Tuik 2023. Türkiye İstatistik Kurumu. www.tuik.gov.tr. Son Erişim: 5.11.2024
- Uçgun, K., Akgül, H., Gezin, S., & Atasay, A. (2013). Meyve Ağaçlarında Beslenme Durumlarının Erken Dönemde Tespit Edilebilirliği. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 93-98.
- United Nations Environment Programme (Unep). (2020). *Soil Pollution: A Review Of The Situation*
- Usha, K., Kumar, P., & Singh, B. (2019). Pest And Disease Control Strategies In Organic Fruit Production. *Organic Farming: New Advances Towards Sustainable Agricultural Systems*, 51-70.
- Ünal, Z. (2019). Bazı Abiyotik Streslerin Prolinle Desteklenen Turuçgil Anacı Çöğürleri Üzerine Morfolojik, Fizyolojik Ve Biyokimyasal Etkileri.
- Wang, P., Chen, H., Kopittke, P. M., & Zhao, F. J. (2019). Cadmium contamination in agricultural soils of China and the impact on food safety. *Environmental pollution*, 249, 1038-1048.
- Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Notices*, 2011(1), 402647.
- Yadav, S. K. (2010). Pesticide Applications-Threat To Ecosystems. *Journal Of Human Ecology*, 32(1), 37-45.
- Zhu, F., Yan, Y., Doyle, E., Zhu, C., Jin, X., Chen, Z., ... & Gu, C. (2022). Microplastics altered soil microbiome and nitrogen cycling: the role of phthalate plasticizer. *Journal of Hazardous Materials*, 427, 127944.

TOPRAK EROZYONU VE KİRLİLİK

Günay ERPUL¹ Selen DEVİREN SAYGIN², Sema KAPLAN³

GİRİŞ

Toprak erozyonu ve kirlilik, ekosistem sağlığı ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından kritik öneme sahip iki ana çevresel sorundur. Toprak erozyonu, toprak parçacıklarının koparılması, taşınması ve başka bir yerde birikmesi süreci olup, tarım, orman tahribatı, kentleşme gibi insan faaliyetleriyle daha da artmıştır. Su ve rüzgâr erozyonu, bu sürecin temel bileşenleridir. Su erozyonu, yağış ve yüzey akışı tarafından tetiklenerek verimli üst toprak kaybına, toprak verimliliğinin azalmasına ve su rezervuarlarında sedimentasyonun artmasına yol açmaktadır. Özellikle barajlar ve göller gibi su rezervuarlarında biriken sedimentler, erozyon ve kirlilik etkileşiminden etkilenen ekosistem hizmetlerinin tehlikeye girmesine neden olmaktadır. Toprak kirliliği ise, toprağın zararlı maddelerle kirlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel faaliyetler, tarımsal uygulamalar, uygun olmayan atık bertarafı ve kentleşme gibi faktörler, toprak ve su kaynaklarının ağır metaller, pestisitler, herbisitler ve petrol hidrokarbonları gibi yaygın kirleticilerle kirlenmesine yol açar. Bu kirleticiler, toprak içinde uzun süre kalmakta, yeraltı sularına sızmakta ve nihayetinde gıda zincirine girerek insan sağlığına ve ekosistem üzerinde ciddi tehditler oluşturmaktadır.

Toprak erozyonu ve kirlilik arasındaki etkileşim, toprak kalitesi, biyolojik çeşitlilik ve ekosistem işlevi üzerinde olumsuz etkileri arttırmaktadır. Erozyon süreçleri, kirleticilerin uzun mesafelere taşınmasına neden olarak akarsu çevrelerini ve su kütlelerini kirlletme potansiyeli taşımaktadır. Öte yandan, kirli topraklar bozulmuş toprak yapısı ve bitki örtüsü nedeniyle erozyona daha duyarlı hale gelmektedir. Toprak taşınmasıyla besin elementi kaybına ve su havzası topoğrafyasına bağlı olarak aşağı havzalarda veya su toplama havzalarında kirlenmiş sediment birikimine sebep olmaktadır.

¹ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., erpul@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3797-6969

² Doç. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., selen.deviren@agri.ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4838-4720

³ Dr. Öğr. Üyesi, Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D., semakarabag@erciyes.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-0846-2053

KAYNAKLAR

- Albek, M. (2001). Seydi suyu havzasında yaygın kaynak kirliliğinin sediment bazında modellenmesi (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Ali, M. M., Rahman, S., Islam, M. S., Rakib, M. R. J., Hossen, S., Rahman, M. Z., ... & Phoungthong, K. (2022). Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: a probabilistic risk assessment. *International journal of sediment research*, 37(2), 173-187.
- Başaran M. 2010. TÜBİTAK. Field calibration of newly designed cyclone type sediment trap (Researcher) 24952 01.05.2009-01.05. 2010. TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey).
- Başaran M. 2013. Efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap BEST for wind erosion measurements (Researcher) 39820 07.12.2011-07.12. 2013. Erciyes University Scientific Research Project.
- Braskerud, B. C. 2005. Retention of soil particles and phosphorus in small constructed wetlands in agricultural watersheds. In: *Nutrient Management in Agricultural Watersheds: A Wetlands Solution*, Dunne, E. J., K. R. Reddy, and O. T. Carton (Eds). Wageningen Academic Publishers. 121-131. ISBN: 9076998612, Wageningen, The Netherlands.
- Clarke, B.; Otto, F.; Stuart-Smith, R.; Harrington, L. Extreme weather impacts of climate change: An attribution perspective. *Environ. Res. Clim.* 2022, 1, 12001.
- Cui, M., Lu, H., Etyemezian, V., & Su, Q. (2019). Quantifying the emission potentials of fugitive dust sources in Nanjing, East China. *Atmospheric Environment*, 207, 129-135.
- Çanga, M. R. ve G. Erpul. 1992. Su Erozyonu ile Toprakta Oluşan N, P, K Kayıplarının Yapay Yağmurlayıcı ile Laboratuvar Koşullarında Saptanması, Ankara Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, 92250009 ve TÜBİTAK Projesi, TOAG-906, Araştırmacı, 1992.
- Çanga, M. R. ve G. Erpul. 1996. "Su Erozyonu ile Toprakta Oluşan N, P, K Kayıplarının Yapay Yağmurlayıcı ile Laboratuvar Koşullarında Saptanması", TOAG-906 Proje Raporu, 1996.
- Das, T. K., Haldar, S. K., Gupta, I. D., & Sen, S. (2014). River bank erosion induced human displacement and its consequences. *Living Reviews in Landscape Research*, 8(3), 1-35.
- EPA (2001). Nonpoint Source Pollution Guidance for Wetlands, Riparian Areas, and Vegetated Treatment Systems. U.S. Environmental Protection Agency. Draft.
- Erpul, G., Şahin, S., İnce, K., Küçümen, A., Akdağ, M.A., Demirtaş, İ., & Çetin, E. (2018). Türkiye Su Erozyonu Atlası, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara. ISBN: 978-605-9550-23-9.
- Flanagan, DC, JCA II, AD Nicks, MA Nearing & JM Lafflen. 1995. Chapter 1: Overview of the WEPP Erosion Prediction Model, In: USDA- Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, Vol. NSERL Report No. 10, Flanagan, D. C. and M. A. Nearing (Eds). USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. West Lafayette, Indiana, USA.
- Griffin DW, Kellogg CA. 2004. Dust storms and their impact on ocean and human health: dust in Earth's atmosphere. *Ecohealth*. 1:284-95.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control, A sedimentological approach. *Water Research*, 14, 975-1001.
- Haktanır, K., S. Arcak, G. Erpul ve A. Tan, "Yol Kenarındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metallerin Birikimi", *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences*, 19, 423-431 (1995).
- Haktanır, K., S. Arcak, Erpul ve A. Tan. 1995. Yol Kenarındaki Topraklarda Trafikten Kaynaklanan Ağır Metallerin Birikimi (Traffic-associated Heavy Metal Accumulation in the Soils next to the Highways) *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences* 19: 423-431.
- Haygarth, P.M. & A.N. Sharpley 2000. Terminology for phosphorus transfer. *Journal of Environmental Quality*, Vol. (29), No. (1), pp. 10-15, ISSN: 1537-2537
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook-A guide to understanding landslides* (No. 1325). US Geological Survey.
- IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaption and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2022; Cambridge University Press: Singapore, 2022.
- Kaçar, H. (2021). Meriç-Ergene nehir havzası sedimentlerinde ağır metal kirliliğinin tespiti (Master's thesis, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi).
- Kaplan, S. (2021). Rüzgâr Erozyonunun Konumsal Dağılımı ve Toprak Yüzeyi Bağlantısallığı Arasındaki Etkileşimlerin Doğrudan Ölçümler ve Tahmin Modelleri ile Araştırılması (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi (Türkiye)).
- Lal, R. 1990. Soil erosion in tropics : Principles and management. McGrawInc., New York.
- Leitão, I. A., van Schaik, L., Goossens, D., Ferreira, A. J. D., & Geissen, V. (2025). Estimating the emission of microplastics from urban surfaces into the atmosphere using the PI-SWRL. *Journal of Hazardous Materials*, 492, 138170.
- Montgomery, D. R. (2007). Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(33), 13268-13272.
- Moore, I. D., & Nieber, J. L. (1989). Landscape assessment of soil erosion and nonpoint source pollution. *Journal of the Minnesota Academy of Science*, 55(1), 18-25.

- Muller, G. (1981). The heavy metal content of the sediments of the Neckar and its tributaries: an inventory. *Chemische Zeitung*, 105, 157-164.
- Nearing, M. A., Norton, L. D., Bulgakov, D. A., Larionov, G. A., West, L. T., & Dontsova, K. M. (1997). Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research*, 33(4), 865-876.
- Nearing, M.A., J.M. Bradford & S.C. Parker. 1991. Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science Society of America Journal*, Vol. (55), pp.339-344, ISSN: 1435-0661
- OECD. Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences; OECD Publishing: Paris, France, 2019; ISBN 9789264307445.
- Deviren Saygın, S., Ozcan, A. U., Basaran, M., Timur, O. B., Dolarslan, M., Yılman, F. E., & Erpul, G. (2014). The combined RUSLE/SDR approach integrated with GIS and geostatistics to estimate annual sediment flux rates in the semi-arid catchment, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 71, 1605-1618.
- Deviren Saygın, S. 2013. Yağmurlama denemeleri ile sıçrama ve yüzey erozyonu sedimentlerinde agregat büyüklük dağılımı ve organik karbon değişimlerinin incelenmesi (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi (Türkiye)).
- Song, H., Zhang, Y., Luo, M., Gu, J., Wu, M., Xu, D., ... & Ma, L. (2019). Seasonal variation, sources and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in different particle fractions of PM_{2.5} in Beijing, China. *Atmospheric Pollution Research*, 10(1), 105-114.
- Temur C., Osman Tiryaki, Oguzhan Uzun & Mustafa Basaran (2012): Adaptation and validation of QuEChERS method for the analysis of trifluralin in wind-eroded soil, *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 47:9, 842-850.
- UNCCD, 2017. United Nations Convention to Combat Desertification. The Global Land Outlook, first edition. Bonn, Germany. ISBN: 978-92-95110-48-9, eISBN: 978-92-95110-47-2.
- USEPA (United States Environmental Protection Agency) (1994) What is Nonpoint Source (NPS) Pollution? Questions and Answers. EPA 841-F-94-005. Washington, DC: EPA, Office of Water
- USEPA, 2005. United States Environmental Protection Agency. Protecting Water Quality from Agricultural Runoff Clean Water Is Everybody's Business. EPA 841-F-05-001. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/ag_runoff_fact_sheet.pdf
- Uzun, O., Şahan, S., Güneş, A., Kaplan, S., Başaran, Erpul G. 2015. Altın İşletme Faaliyetlerinin Taşınan Tozdeki Ağır Metal İçeriği Üzerine Etkisinin Belirlenmesi Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, Kahramanmaraş, Turkey, 1 - 04 September 2015, ss.102.
- Wang, Y., Liu, G., Zhao, Z., Wu, C., & Yu, B. (2021). Using soil erosion to locate nonpoint source pollution risks in coastal zones: A case study in the Yellow River Delta, China. *Environmental Pollution*, 283, 117117.
- Xiao, H., Shahab, A., Xi, B., Chang, Q., You, S., Li, J., ... & Li, X. (2021). Heavy metal pollution, ecological risk, spatial distribution, and source identification in sediments of the Lijiang River, China. *Environmental Pollution*, 269, 116189
- Xiao, H., Shahab, A., Xi, B., Chang, Q., You, S., Li, J., ... & Li, X. (2021). Heavy metal pollution, ecological risk, spatial distribution, and source identification in sediments of the Lijiang River, China. *Environmental Pollution*, 269, 116189.
- Zafar, M. W., Zaidi, S. A. H., Khan, N. R., Mirza, F. M., Hou, F., & Kirmani, S. A. A. (2019). The impact of natural resources, human capital, and foreign direct investment on the ecological footprint: the case of the United States. *Resources Policy*, 63, 101428

TOPRAK KİRLİLİĞİ VE BİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİK

*Noyan EKEN¹, Nur KOÇ KOYUN², Yiğiter Rahim TOPBAŞ³,
Işın NARLIOĞLU⁴, Muhammad ANAS⁵, Erdoğan Eşref HAKKI⁶*

GİRİŞ

Toprak biyolojisi, toprak ekosistemlerinde mikroorganizma çeşitliliğini ve biyolojik süreçleri incelerken, moleküler genetik yaklaşımlar bu süreçleri derinlemesine anlamamıza olanak tanır. Moleküler genetik analizler, toprak organizmalarının genetik yapısını ve fonksiyonlarını inceleyerek, toprak biyolojisinin temel unsurlarını aydınlatır. Doğal koşulların yarattığı elverişsiz toprak kombinasyonları yanında, iklim değişikliği ve antropojenik etkiler de toprak biyolojisi üzerinde önemli değişikliklere yol açar; bu etkilerin moleküler düzeyde anlaşılması, ekosistem sağlığını koruma stratejilerini geliştirir.

Toprak kirliliği, genetik ve moleküler seviyede değişikliklere neden olur. Ağır metallere, antibiyotiklere ve çeşitli kimyasallara karşı direnç mekanizmaları, halotolerans, redoks aktivitesi ve antioksidan savunma sistemleri gibi moleküler yanıtlar, toprak organizmalarının çevresel streslere karşı adaptasyonunu gösterir. Ayrıca, termofilik bakterilerin savunma mekanizmaları, ekstrem koşullarda hayatta kalma stratejilerini anlamamıza yardımcı olur. Kuşkusuz bu koşullarda yetişen bitkilerin sağlığı ve verimliliği de bu etmenlerden doğrudan etkilenmektedir. Moleküler genetik çalışmalar, bu direnç ve adaptasyon süreçlerini aydınlatarak, toprak ekosistemlerinin korunması ve iyileştirilmesi ve de bitkisel üretimin optimizasyonu için kritik bilgiler sağlar.

¹ Öğr. Gör. Dr., Ege Üniversitesi, Ödemiş Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü., noyan.eken@ege.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-6609-7106

² Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Çayır Mera ve Yem Bitkileri A.D., nurkoc@selcuk.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3053-6127

³ Yüksek Ziraat Mühendisi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme A.D., ygttbs@outlook.com, ORCID iD: 0009-0008-6071-5004

⁴ Yüksek Ziraat Mühendisi, Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, isinnarlioglu@hotmail.com, ORCID iD: 0009-0001-5485-8155

⁵ Dr., Quaid-i-Azam Üniversitesi, Biyolojik Bilimler Fakültesi, Bitki Bilimleri Bölümü, muhammadanas@bs.qau.edu.pk, ORCID iD: 0000-0001-5127-8043

⁶ Prof. Dr., Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bitki Beslenme A.D. eehakki@selcuk.edu.tr, ORCID iD: 0000-0001-7147-7875

ların aşırı kullanımına dayanmakta olduğu için modern çağın dayatmış olduğu bu yaşam tarzının çevre ve iklim üzerindeki antropojenik baskıyı görülmemiş ölçüde arttırması, canlı organizmaların adaptasyon hızlarının çok ötesindedir. Bu anlamda, araştırmaların bir yandan antropojenik etkilerin ürettiği iklim baskısının çevre üzerindeki abiyotik streslerine yoğunlaşırken, diğer yandan da aynı etkilerin toprak biotası üzerindeki beklenmedik etkilerine de odaklanması elzemdir. Türkiye gibi farklı iklim ve coğrafik koşullara sahip bölgelerde ortaya çıkabilecek çok farklı lokal etkilenmelere hazırlıklı olunmalıdır. Aşırı kuraklık şartlarının ortaya çıkabileceği bölgelerde aynı zamanda toprakta yoğunlaşan kimyasal kirlenmeler de söz konusu olabilir. Yağışın azaldığı bölgelerde devreye sokulabilecek kontrolsüz termik santraller veya endüstriyel atıklar söz konusu olabilir. Örneğin Konya'nın ilk ve tek çölleşmeye maruz kalmış Karapınar bölgesindeki kömür yataklarının kullanıma açıldığı şartlarda bu tür bir etki-leşim ortaya çıkabilir. Bölgesel olarak yaşanabilecek ekstrem şartlara bağlı toprak biotasındaki olası değişiklikler flora ve faunanın kompozisyonunu etkilemekle sınırlı kalmayabilir. Lokal veya bölgesel ölçekte yeni ve ekzotik zararlıların agresif bir artışı ve tarımsal üretime önemli düzeyde zararlar vermesi de gündeme gelebilir. Nitekim ilk defa 2017 yılında ülkemizde tespit edilmiş olan kahverengi kokarca (*Halyomorpha halys*), fındık başta olmak üzere ülkemizin stratejik ürünlerinin üretimine ve tarımsal üretimde önemli ölçüde kayıplara neden olan son derece tahripkâr ve istilacı zararlıların yayılışına bir örnektir. Bu gibi zararlılar farklı ürünlere ve bölgelere yayılım gösterebilecek dinamizmi de sergileyebilmektedirler. Mücadelede kimyasal yöntemlerin yeterli kalamayacağı bu tür durumlarda, biyolojik mücadele araçlarının geliştirilmesinde toprak üstü canlılardan olduğu kadar topraktaki mikrobiyotadan da yararlanabilmek için değişen koşullardaki mikrobiyal komünitelerden hassas ve hızlı bir şekilde bilgi edinmekte genetik araçların kullanımı önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

- Acuña-Rodríguez, I. S., Ballesteros, G. I., Atala, C., Gundel, P. E., & Molina-Montenegro, M. A. (2022). Hardening blueberry plants to face drought and cold events by the application of fungal endophytes. *Agronomy*, 12(5), 1000.
- Adamse, P., Van der Fels-Klerx, H., and de Jong, J. (2017). Cadmium, lead, mercury and arsenic in animal feed and feed materials—trend analysis of monitoring results. *Food Addit. Contam.* 34 (8), 1298–1311. doi:10.1080/19440049.2017.1300686
- Ahemad, M. (2012). Implications of bacterial resistance against heavy metals in bioremediation: a review. *Journal of Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology(IIOAB)*, 3(3).
- Ahonen-Jonnarth, U. L. L. A., Van Hees, P. A., Lundström, U. S., & Finlay, R. D. (2000). Organic acids produced by mycorrhizal *Pinus sylvestris* exposed to elevated aluminium and heavy metal concentrations. *The New Phytologist*, 146(3), 557-567.
- Aiking, H., Kok, K., van Heerikhuizen, H., & van't Riet, J. (1982). Adaptation to cadmium by *Klebsiella aerogenes* growing in continuous culture proceeds mainly via formation of cadmium sulfide. *Applied and Environmental Microbiology*, 44(4), 938-944.
- Albuquerque L, Simoes C, Nobre MF, Pino NM, Battista JR, Silva MT, de Costa MS, 2005. *Truepera radiovictrix* gen. nov., sp. nov., a new radiation resistant species and the proposal of Trueperaceae fam. nov. . *FEMS microbiology letters*, 247, 2, 161-9.
- Ali B and Gill RA (2022). Editorial: Heavy metal toxicity in plants: Recent insights on physiological and molecular aspects, volume II. *Front. Plant Sci.* 13:1016257. doi: 10.3389/fpls.2022.1016257
- Alkorta I, Amezcua I, Albizu I, Aizpurua A, Onaindia M, Buchner V, Garbisu C, 2003. Molecular microbial biodiversity assessment: a biological indicator of soil health. *Reviews on environmental health*, 18, 2, 131-51.
- Alsharif, E. A., Al-Shaikh, T. M., & AbdElgawad, H. (2022). Heavy metal effects on biodiversity and stress responses of plants inhabiting contaminated soil in Khulais, Saudi Arabia. *Biology*, 11(2), 164.
- Alvarez, A., Saez, J. M., Costa, J. S. D., Colin, V. L., Fuentes, M. S., Cuozzo, S. A., ... & Amoroso, M. J. (2017). Actinobacteria: current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. *Chemosphere*, 166, 41-62.
- Appenroth, K. J. (2010). Definition of "heavy metals" and their role in biological systems. *Soil heavy metals*, 19-29.
- Apple, M. E. (2010). Aspects of mycorrhizae in desert plants. *Desert plants: Biology and biotechnology*, 121-134.
- Ashraf U, Mahmood S, Anjum SA, Abbas RN, Rasul F, Iqbal J, Mo Z and Tang X (2022) Exogenous Gamma-Aminobutyric Acid Application Induced Modulations in the Performance of Aromatic Rice Under Lead Toxicity. *Front. Plant Sci.* 13:933694. doi: 10.3389/fpls.2022.933694

- Asker D, Awad TS, Beppu T, Ueda K, 2012. Isolation, characterization, and diversity of novel radiotolerant carotenoid-producing bacteria. *methods and protocols*, 21-60.
- Asker D, Beppu T, Ueda K, 2007. Unique diversity of carotenoid-producing bacteria isolated from Misasa, a radioactive site in Japan. *Applied microbiology and biotechnology*, 77, 383-92.
- Astaykina, A. A., Streletskii, R. A., Maslov, M. N., Belov, A. A., Gorbатов, V. S., & Stepanov, A. L. (2020). The impact of pesticides on the microbial community of agrosoddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Science*, 53, 696-706.
- Ayob, Z., Kusai, N. A., Jantan, N. M., & Ching, L. (2024). Molecular Approaches In Assessing The Soil Microbial Diversity Of Malaysian Oil Palm Plantations: A Review. 6 *Persiaran Institusi, Bandar Baru Bangi 43000 Kajang, Selangor, Malaysia* 36(1), 158-170.
- Bååth, E. (1989). Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (a review). *Water, Air, and Soil Pollution*, 47, 335-379.
- Bach E, Wall D, 2018. Trends in global biodiversity: soil biota and processes.
- Bach EM, Ramirez KS, Fraser TD, Wall DH, 2020. Soil biodiversity integrates solutions for a sustainable future. *Sustainability*, 12, 7, 2662.
- Baker, K. H., & Herson, D. S. (1994). *Microbiology and biodegradation*.
- Baldrian P (2003) Interactions of heavy metals with white-rot fungi. *Enzyme Microb Technol* 32:78–91
- Bao G, Zhou Q, Li S, Ashraf U, Huang S, Miao A, Cheng Z, Wan X and Zheng Y (2022) Transcriptome Analysis Revealed the Mechanisms Involved in Ultrasonic Seed Treatment-Induced Aluminum Tolerance in Peanut. *Front. Plant Sci.* 12:807021. doi: 10.3389/fpls.2021.807021.
- Baptista, S. J., Cammarota, M. C., & Freire, D. D. D. C. (2005). Production of CO₂ in crude oil bioremediation in clay soil. *Brazilian archives of biology and technology*, 48, 249-255.
- Barrios E, 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological economics*, 64, 2, 269-85.
- Beblo K, Douki T, Schmalz G, Rachel R, Wirth R, Huber H, Rettberg P, 2011. Survival of thermophilic and hyperthermophilic microorganisms after exposure to UV-C, ionizing radiation and desiccation. *Arch Microbiol*, 193, 797-809.
- Bellion, M., Courbot, M., Jacob, C., Blaudez, D., & Chalot, M. (2006). Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. *FEMS microbiology letters*, 254(2), 173-181.
- Belykh E, Maystrenko T, Velegzhaninov I, Tavleeva M, Rasova E, Rybak A, 2024. Taxonomic Diversity and Functional Traits of Soil Bacterial Communities under Radioactive Contamination: A Review. *Microorganisms*, 12, 4, 73.
- Berckmoes V, Scheirs J, Jordaens K, Blust R, Backeljau T, Verhagen R, 2005. Effects of environmental pollution on microsatellite DNA diversity in wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) populations. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 24, 11, 2898-907.
- Bergelson, J., Purrington, C. B., & Wichmann, G. (1998). Promiscuity in transgenic plants. *Nature*, 395(6697), 25-25.
- Bertola M, Ferrarini A, Visioli G, 2021. Improvement of soil microbial diversity through sustainable agricultural practices and its evaluation by-omics approaches: A perspective for the environment, food quality and human safety. *Microorganisms*, 9, 7, 1400.
- Bhardwaj D, Ansari MW, Sahoo RK, Tuteja N, 2014. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*, 13, 1-10.
- Bohmont, B. L. (1990). *The standard pesticide user's guide* (pp. xii+-498).
- Bombaywala S, Purohit HJ, Dafale NA, 2021. Mobility of antibiotic resistance and its co-occurrence with metal resistance in pathogens under oxidative stress. *Journal of Environmental Management*, 297, 113315.
- Bossuyt, H., Denef, K., Six, J., Frey, S. D., Merckx, R., & Paustian, K. (2001). Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. *Applied soil ecology*, 16(3), 195-208.
- Brevik EC, 2013. The potential impact of climate change on soil properties and processes and corresponding influence on food security. *Agriculture*, 3, 3, 398-417.
- Bruins, M. R., Kapil, S., & Oehme, F. W. (2000). Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and environmental safety*, 45(3), 198-207.
- Caporaso JG, Lauber CL, Walters WA, Berg-Lyons D, Huntley J, Fierer N, Owens SM, Betley J, Fraser L, Bauer M, 2012. Ultra-high-throughput microbial community analysis on the Illumina HiSeq and MiSeq platforms. *The ISME journal*, 6, 8, 1621-4.
- Casida, J. E. (2009). Pest toxicology: the primary mechanisms of pesticide action. *Chemical research in toxicology*, 22(4), 609-619.
- Cavicchioli R, Amils R, Wagner D, McGenity T, 2011. Life and applications of extremophiles., *Environmental Microbiology*, 13, 8, 1903-7.
- Chakraborty A, Kenmochi N, 2012. Ribosomes and Ribosomal Proteins: More Than Just 'Housekeeping'. *eLS*.
- Chakravarty, P., & Chatarpaul, L. (1990). Non-target effect of herbicides: I. Effect of glyphosate and hexazinone on soil microbial activity. *Microbial population, and in-vitro growth of ectomycorrhizal fungi*. *Pesticide Science*, 28(3), 233-241.
- Chen MY, Wu SH, Lin GH, Lu CP, Lin YT, Chang WC, Tsay SS, 2004. *Urobacter taiwanensis* sp. nov., a novel thermophilic, radiation-resistant species isolated from hot springs. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, , R.54, 5, 1849-55.
- Chen, W., Brühlmann, F., Richins, R. D., & Mulchandani, A. (1999). Engineering of improved microbes and enzymes for bioremediation. *Current Opinion in Biotechnology*, 10(2), 137-141.

- Choi J, Yang F, Stepanauskas R, Cardenas E, Garoutte A, Williams R, Flater J, Tiedje JM, Hofmockel KS, Gelder B, 2016. RefSoil: A reference database of soil microbial genomes. *bioRxiv*, 053397.
- Chowdhury, A., Pradhan, S., Saha, M., & Sanyal, N. (2008). Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies. *Indian Journal of microbiology*, 48, 114-127.
- Comte, S., Guibaud, G., & Baudu, M. (2008). Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) towards Cd, Cu and Pb for different pH values. *Journal of hazardous materials*, 151(1), 185-193.
- Cooksey, D. A. (1994). Molecular mechanisms of copper resistance and accumulation in bacteria. *FEMS microbiology reviews*, 14(4), 381-386.
- Courvalin, P. [1995], Gene Transfer from Bacteria to Mammalian Cells. *C. R. Acad. Sci. Ser. III Sci. Vie* 318: 1207-1212.
- Crowther, T. W., et al. 2016. Quantifying global soil carbon losses in response to warming. *Nature* 540:104-108.
- Cui, K., Zhao, Y., He, L., Ding, J., Li, B., Mu, W., & Liu, F. (2020). Comparison of transcriptome profiles of the fungus *Botrytis cinerea* and insect pest *Bradysia odoriphaga* in response to benzothiazole. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1043.
- Cummins, I., Wortley, D. J., Sabbadin, F., He, Z., Coxon, C. R., Straker, H.E., Sellars, J. D., Knight, K., Edwards, L., Hughes, D., Kaundun, S. S., Hutchings, S.-J., Steel, P. G. & Edwards, R. (2013). Key role for a glutathione transferase in multiple-herbicide resistance in grass weeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, 5812-5817
- Çetin Kılıçaslan, G. (2023). *Escherichia coli* W3110'da porin proteinlerinin (OmpA, OmpC, OmpF, OmpG, OmpT, LamB ve PhoE) metal stresindeki rollerinin belirlenmesi.
- Das, A. C., Chakravarty, A., Sukul, P., & Mukherjee, D. (1995). Insecticides: their effect on microorganisms and persistence in rice soil. *Microbiological research*, 150(2), 187-194.
- De Vargas, C., Audic, S., Henry, N., Decelle, J., Mahé, F., Logares, R., Lara, E., Berney, C., Le Bescot, N., Probert, I., Carmichael, M., Poulain, J., Romac, S., Colin, S., Aury, J.-M., Bittner, L., Chaffron, S., Dunthorn, M., Engelen, S., ... Velayoudon, D. (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, 348(6237), 1261605 <https://doi.org/10.1126/science.1261605>
- Delcour, A. H. (2009). Outer membrane permeability and antibiotic resistance. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*, 1794(5), 808-816.
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T. E., BenaventGonzález, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R. D., Maestre, F. T., Singh, B. K., & Fierer, N. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, 359(6373), 320-325. <https://doi.org/10.1126/science.aap9516>
- Docherty, K. M., and J. L. M. Gutknecht. 2019. Soil microbial restoration strategies for promoting climate-ready prairie ecosystems. *Ecological Applications* 29(3):e01858. [10.1002/eap.1858](https://doi.org/10.1002/eap.1858)
- Donegan, K. K., Palm, C. J., Fieland, V. J., Porteous, L. A., Ganio, L. M., Schaller, D. L., ... & Seidler, R. J. (1995). Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. *Applied soil ecology*, 2(2), 111-124.
- Doolittle, R. F., Feng, D. F., Anderson, K. L., & Alberro, M. R. (1990). A naturally occurring horizontal gene transfer from a eukaryote to a prokaryote. *Journal of Molecular Evolution*, 31, 383-388.
- Edbeib MF, Wahab RA, Huyop F. 2016. Halophiles: biology, adaptation, and their role in decontamination of hypersaline environments. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, 1-23.
- Ellstrand, N. C., Prentice, H. C., & Hancock, J. F. (2002). Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. In *Horizontal gene transfer* (pp. 217-236). Academic Press.
- Engelkirk, P. G., & Duben-Engelkirk, J. (2011). *Burton's microbiology for the health sciences*.
- Ershov B, 2022. Natural radioactivity and chemical evolution on the early earth: prebiotic chemistry and oxygenation. *Molecules*, 27, 23, 8584.
- Escher, N., Käch, B., & Nentwig, W. (2000). Decomposition of transgenic *Bacillus thuringiensis* maize by microorganisms and woodlice *Porcellio scaber* (Crustacea: Isopoda). *Basic and Applied Ecology*, 1(2), 161-169.
- Fan, J., Urban, M., Parker, J. E., Brewer, H. C., Kelly, S. L., Hammond-Kosack, K. E., Fraaije, B. A., Liu, X. & Cools, H. J. (2013). Characterization of the sterol 14 α -demethylases of *Fusarium graminearum* identifies a novel genus-specific CYP51 function. *New Phytologist* 198, 821-835.
- FAO (2010). 2nd Report on The State of World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome
- FAO (2015). Coping with Climate Changes- The roles of genetic resources for food and agriculture. Rome.
- Fatemi F, Rashidi A, Jahani S, 2015. Isolation and identification of native sulfuroxidizing bacterium capable of uranium extraction.
- Feng G, Xie T, Wang X, Bai J, Tang L, Zhao H, Wei W, Wang M, Zhao Y, 2018. Metagenomic analysis of microbial community and function involved in Cd-contaminated soil. *BMC microbiology*, 18, 1-13.
- Flores, S., Saxena, D., & Stotzky, G. (2005). Transgenic Bt plants decompose less in soil than non-Bt plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(6), 1073-1082.
- Forsbach, A., Schubert, D., Lechtenberg, B., Gils, M., & Schmidt, R. (2003). A comprehensive characterization of single-copy T-DNA insertions in the *Arabidopsis thaliana* genome. *Plant molecular biology*, 52, 161-176.
- Franke, S., Grass, G., Rensing, C., & Nies, D. H. (2003). Molecular analysis of the copper-transporting efflux system CusCFBA of *Escherichia coli*. *Journal of bacteriology*, 185(13), 3804-3812.

- Fritze, H., Niini, S., Mikkola, K., & Mäkinen, A. (1989). Soil microbial effects of a Cu-Ni smelter in southwestern Finland. *Biology and Fertility of Soils*, 8, 87-94.
- Furstenau TN, Schneider T, Shaffer I, Vazquez AJ, Sahl J, Fofanov V. 2022. MTSv: rapid alignment-based taxonomic classification and high-confidence metagenomic analysis. *PeerJ*, 10, e14292.
- Gałązka A, Grządziel J, Gałązka R, Ukalska-Jaruga A, Strzelecka J, Smreczak B. 2018. Genetic and functional diversity of bacterial microbiome in soils with long term impacts of petroleum hydrocarbons. *Front Microbiol*, 9, 1923.
- Galli, U., Meier, M., & Brunold, C. (1993). Effects of cadmium on non-mycorrhizal and mycorrhizal Norway spruce seedlings [*Picea abies* (L.) Karst.] and its ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata* (Scop, ex Fr.) Bk. & Br.: Sulphate reduction, thiols and distribution of the heavy metal. *New Phytologist*, 125(4), 837-843.
- Gao, Y., Miao, C., Xia, J., Mao, L., Wang, Y., & Zhou, P. (2012). Plant diversity reduces the effect of multiple heavy metal pollution on soil enzyme activities and microbial community structure. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 6, 213-223.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (1999). Utilization of genetically engineered microorganisms (GEMs) for bioremediation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 74(7), 599-606.
- Garnica, S., Liao, Z., Hamard, S., Waller, F., Parepa, M., & Bossdorf, O. (2022). Environmental stress determines the colonization and impact of an endophytic fungus on invasive knotweed. *Biological Invasions*, 24(6), 1785-1795.
- Garnica, S., Liao, Z., Hamard, S., Waller, F., Parepa, M., & Bossdorf, O. (2022). Environmental stress determines the colonization and impact of an endophytic fungus on invasive knotweed. *Biological Invasions*, 24(6), 1785-1795.
- Gbarakoro TN, Abajue MC. 2023. Implications of Agrochemical Application on Soil Fauna and Ecosystem and Their Sustainable Alternatives. In: *One Health Implications of Agrochemicals and their Sustainable Alternatives*. Eds: Springer, p. 601-35.
- Geisen S, Wall DH, van der Putten WH. 2019. Challenges and opportunities for soil biodiversity in the anthropocene. *Current Biology*, 29, 19, R1036-R44.
- Gibson, G. & Dworkin, I. (2004). Uncovering cryptic genetic variation. *Nature Reviews. Genetics* 5, 681-690
- Giovannetti, M. (2003). Ignoring Complex Interactions in Natural Ecosystems: the Case of Terminator Technology. In *Determinism, holism, and complexity* (pp. 211-220). Boston, MA: Springer US.
- Giovannoni, S. J., Britschgi, T. B., Moyer, C. L., & Field, K. G. (1990). Genetic diversity in Sargasso Sea bacterioplankton. *Nature*, 345(6270), 60-63. <https://doi.org/10.1038/345060a0>
- Gisi, U. (2014). Assessment of selection and resistance risk for demethylation inhibitor fungicides in *Aspergillus fumigatus* in agriculture and medicine: a critical review. *Pest Management Science* 70, 352-364
- Gobran GR, Clegg S. (1996). A conceptual model for nutrient availability in the mineral soil-root system. *Can J Soil Sci*; 76:125-31.
- Gonzalez-Lopez, J., Martinez-Toledo, M. V., Rodelas, B., & Salmeron, V. (1993). Studies on the effects of the insecticides phorate and malathion on soil microorganisms. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 12(7), 1209-1214.
- Gordon, A. S., Howell, L. D., & Harwood, V. (1994). Responses of diverse heterotrophic bacteria to elevated copper concentrations. *Canadian journal of microbiology*, 40(5), 408-411.
- Graifer D, Karpova G. 2015. Roles of ribosomal proteins in the functioning of translational machinery of eukaryotes. *Biochimie*, 109, 1-17.
- Grayston SJ, Vaughan D, Jones D. (1997). Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. *Appl Soil Ecol*; 5:29-56.
- Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. *Nature Education Knowledge* 3(10):7
- Griffiths BS, Faber J, Bloem J. 2018. Applying soil health indicators to encourage sustainable soil use: The transition from scientific study to practical application. *Sustainability*, 10, 9, 3021.
- Guerrieri, A., Bonin, A., Münkemüller, T., Gielly, L., Thuiller, W., & Francesco Ficitola, G. (2021). Effects of soil preservation for biodiversity monitoring using environmental DNA. *Molecular Ecology*, 30(13), 3313-3325.
- Haferburg, G., & Kothe, E. (2007). Microbes and metals: interactions in the environment. *Journal of basic microbiology*, 47(6), 453-467.
- Hafez, H. F. H., & Thiemann, W. H. P. (2003). Persistence and biodegradation of diazinon and imidacloprid in soil.
- Hafez, H. F. H., & Thiemann, W. H. P. (2003). Persistence and biodegradation of diazinon and imidacloprid in soil.
- Hamlett, N. V., Landale, E. C., Davis, B. H., & Summers, A. O. (1992). Roles of the Tn21 merT, merP, and merC gene products in mercury resistance and mercury binding. *Journal of bacteriology*, 174(20), 6377-6385.
- Hanano A, Ammoun H, Almousally I, Alorr A, Shaban M, Alnaser AA, Ghanem I. 2014. Traceability of polychlorinated dibenzo-dioxins/furans pollutants in soil and their ecotoxicological effects on genetics, functions and composition of bacterial community. *Chemosphere*, 108, 326-33.
- Hasegawa, I. 2002. Phytoremediation: a novel strategy for removing toxic heavy metals from contaminated soils using plants. *Farming Japan*. Vol. 36-6.
- Hassan, Z. U., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Nafees, M., & Waseem, M. (2017). Role of bioremediation agents (bacteria, fungi, and algae) in alleviating heavy metal toxicity. *Probiotics in agroecosystem*, 517-537.

- Hawkins, N. J., Cools, H. J., Sierotzki, H., Shaw, M. W., Knogge, W., Kelly, S. L., Kelly, D. E. & Fraaije, B. A. (2014b). Paralog re-emergence: a novel, historically contingent mechanism in the evolution of antimicrobial resistance. *Molecular Biology and Evolution* 31, 1793–1802.
- He ZL, Yang XE, Stoffella PJ, 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J Trace Elem Med Bio*, 19, 2-3, 125-40.
- Heinemann, J. A., & Sprague Jr, G. F. (1989). Bacterial conjugative plasmids mobilize DNA transfer between bacteria and yeast. *Nature*, 340(6230), 205-209.
- Hermans SM, Buckley HL, Case BS, Curran-Cournane F, Taylor M, Lear G, 2017. Bacteria as emerging indicators of soil condition. *Applied and environmental microbiology*, 83, 1, e02826-16.
- Hezbri K, Ghodhbane-Gtari, F. dCM-C, M. S. H., Rohde M, Schumann P, Gtari M, 2015. Description of *Geodermatophilus bularegiensis* sp. nov. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 108, 415-25.
- Hinsinger P, Plassard C, Jaillard B. (2006). Rhizosphere: a new frontier for soil biogeochemistry. *J Geochem Explor*, 88:210–3.
- Ho, M. W., Ryan, A., & Cummins, J. (1999). Cauliflower mosaic viral promoter-a recipe for disaster?. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 11(4), 194-197.
- Hobman, J. L., & Crossman, L. C. (2015). Bacterial antimicrobial metal ion resistance. *Journal of medical microbiology*, 64(5), 471-497.
- Hooper DU, Bignell DE, Brown VK, Brussaard L, Dangerfield JM, Wall DH, et al. (2000). Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *Bioscience*; 50:1049–61.
- Hooykaas, P. J. (1989). Transformation of plant cells via *Agrobacterium*. *Plant Molecular Biology*, 13, 327-336.
- Howe, R., Evans, R. L., & Ketteridge, S. W. (1997). Copper-binding proteins in ectomycorrhizal fungi. *The New Phytologist*, 135(1), 123-131.
- Ianeva O, 2009. Mechanisms of bacteria resistance to heavy metals. *Mikrobiolohichniy zhurnal* (Kiev, Ukraine: 1993), 71, 6, 54-65.
- Ihara H, Kumagai A, Hori T, Nanba K, Aoyagi T, Takasaki M, Katayama Y, 2021. Direct comparison of bacterial communities in soils contaminated with different levels of radioactive cesium from the first Fukushima nuclear power plant accident. *Science of the Total Environment*, , 756, 143844.
- Intrieri, M. C., & Buiatti, M. (2001). The horizontal transfer of *Agrobacterium* rhizogenes genes and the evolution of the genus *Nicotiana*. *Molecular Phylogenetics and evolution*, 20(1), 100-110.
- Iqbal Z, Hussain A, Latif A, Asi MR, Chaudhary JA. 2001. Impact of pesticide applications in cotton agroecosystem and soil bioactivity studies I: microbial populations. *J Biol Sci*. 1(7):640–644. <http://www.scialert.net/pdfs/jbs/2001/640-644.pdf>
- Iquebal MA, Jagannadham J, Jaiswal S, Prabha R, Rai A, Kumar D, 2022. Potential use of microbial community genomes in various dimensions of agriculture productivity and its management: a review. *Front Microbiol*, 13, 708335.
- Jackson, C R; Randolph, K C; Osborn, S L and Tyler, H L (2013). Culture dependent and independent analysis of bacterial communities associated with commercial salad leaf vegetables. *BMC Microbiol.*, 13(1): 1-12
- Jeewon, R and Hyde, K D (2007). Detection and diversity of fungi from environmental samples: Traditional versus molecular approaches. *Advanced Techniques in Soil Microbiology* (Varma, A ed.). Springer, Berlin, Heidelberg. p. 1-15.
- Ji, G., & Silver, S. (1995). Bacterial resistance mechanisms for heavy metals of environmental concern. *Journal of industrial microbiology*, 14, 61-75.
- Jones, M. B., and A. Donnelly. 2004. Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist* 164:423–439.
- Joos L, De Tender C, 2022. Soil under stress: The importance of soil life and how it is influenced by (micro) plastic pollution. *Computational and structural biotechnology journal*, 20, 1554-66.
- Jouquet P, Dauber J, Lagerlöf J, Lavelle P, Lepage M, 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Appl Soil Ecol*, 32, 2, 153-64.
- Kalia, A., & Gosal, S. K. (2011). Effect of pesticide application on soil microorganisms. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 57(6), 569-596.
- Kannojia P, Sharma P, Sharma K, 2019. Climate change and soil dynamics: effects on soil microbes and fertility of soil. In: *Climate change and agricultural ecosystems*. Eds: Elsevier, p. 43-64.
- Karst SM, Dueholm MS, McIlroy SJ, Kirkegaard RH, Nielsen PH, Albertsen M, 2018. Retrieval of a million high-quality, full-length microbial 16S and 18S rRNA gene sequences without primer bias. *Nature biotechnology*, 36, 2, 190-5.
- Kawahigashi, H., Hirose, S., Ohkawa, H., & Ohkawa, Y. (2008). Transgenic rice plants expressing human P450 genes involved in xenobiotic metabolism for phytoremediation. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 15(2-3), 212-219.
- Kaya, H., Sato, S., Tabata, S., Kobayashi, Y., Iwabuchi, M., & Araki, T. (2000). hosoba toge toge, a syndrome caused by a large chromosomal deletion associated with a T-DNA insertion in *Arabidopsis*. *Plant and cell physiology*, 41(9), 1055-1066.
- Khademian M, Imlay JA, 2021. How microbes evolved to tolerate oxygen. *Trends in microbiology*, 29, 5, 428-40.
- Kharkhota M, Hrabova H, Kharchuk M, Ivanytsia T, Mozhaieva L, Poliakova A, Avdieieva L, 2022. Chromogenicity of aerobic spore-forming bacteria of the Bacillaceae family isolated from different ecological niches and physiographic zones. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53, 3, 1395-408.
- Kim, S. R., Lee, J., Jun, S. H., Park, S., Kang, H. G., Kwon, S., & An, G. (2003). Transgene structures in T-DNA-inserted rice plants. *Plant Molecular Biology*, 52, 761-773.

- Kjeldsen KU, Joulain C, Ingvorsen K, 2004. Oxygen tolerance of sulfate-reducing bacteria in activated sludge. *Environmental science & technology*, 38, 2038-43.
- Kolhe N, Zinjarde S, Acharya C, 2018. Responses exhibited by various microbial groups relevant to uranium exposure. *Biotechnology advances*, 36, 7, 1828-46.
- Koren S, Phillippy AM, 2015. One chromosome, one contig: complete microbial genomes from long-read sequencing and assembly. *Current opinion in microbiology*, 23, 110-20.
- Kraiczky, P., Haase, U., Gencic, S., Flindt, S., Anke, T., Brandt, U. & Vonjagow, G. (1996). The molecular basis for the natural resistance of the cytochrome bc(1) complex from strobilurin-producing basidiomycetes to center Q(p) inhibitors. *European Journal of Biochemistry* 235, 54-63.
- Kucharik, C. J., N. J. Fayram, and K. N. Cahill. 2006. A paired study of prairie carbon stocks, fluxes, and phenology: comparing the world's oldest prairie restoration with an adjacent remnant. *Global Change Biology* 12:122-139.
- Kumar, P., & Baul, G. (2010). Recombinant DNA technology for bioremediation of pollutants. In *Bioremediation Technology: Recent Advances* (pp. 245-265). Dordrecht: Springer Netherlands.).
- Kumar, S., Mukerji, K. G., & Lai, R. (1996). Molecular aspects of pesticide degradation by microorganisms. *Critical Reviews in Microbiology*, 22(1), 1-26.
- Kunte HJ, 2006. Osmoregulation in bacteria: compatible solute accumulation and osmosensing. *Environmental Chemistry*, 3, 2, 94-9.
- Kurtzman C, 1992. rRNA sequence comparisons for assessing phylogenetic relationships among yeasts. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 42, 1, 1-6.
- Lambert M, Benmoussa A, Provost P, 2019. Small non-coding RNAs derived from eukaryotic ribosomal RNA. *Non-coding RNA*, 5, 1, 16.
- Lasken RS, 2012. Genomic sequencing of uncultured microorganisms from single cells. *Nature Reviews Microbiology*, 10, 9, 631-40.
- Lasken RS, McLean JS, 2014. Recent advances in genomic DNA sequencing of microbial species from single cells. *Nature Reviews Genetics*, 15, 9, 577-84.
- Lee JC, Gutell RR, 2012. A comparison of the crystal structures of eukaryotic and bacterial SSU ribosomal RNAs reveals common structural features in the hypervariable regions. *Plos One*, 7, 5, e38203.
- Lehman RM, Cambardella CA, Stott DE, Acosta-Martinez V, Manter DK, Buyer JS, Maul JE, Smith JL, Collins HP, Halvorson JJ, 2015. Understanding and enhancing soil biological health: the solution for reversing soil degradation. *Sustainability*, 7, 1, 988-1027.
- Lin, Y. F., and Aarts, M. G. M. (2012). The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. *Cell. Mol. Life Sci.* 69, 3187-3206. doi: 10.1007/s00018-012-1089-z
- Liu X, Zhang J, Huang X, Zhang L, Yang C, Li E, Wang Z, 2022. Heavy metal distribution and bioaccumulation combined with ecological and human health risk evaluation in a typical urban Plateau Lake, Southwest China. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 814678.
- Lloyd JR, 2003. Microbial reduction of metals and radionuclides. *FEMS microbiology reviews*, 27, 2-3, 411-25.
- Ma J, Alshaya H, Okla MK, Alwasel YA, Chen F, Adrees M, Hussain A, Hameed S and Shahid MJ (2022) Application of Cerium Dioxide Nanoparticles and Chromium-Resistant Bacteria Reduced Chromium Toxicity in Sunflower Plants. *Front. Plant Sci.* 13:876119. doi: 10.3389/fpls.2022.876119
- Mackie, J. A., Levinton, J. S., Przeslawski, R., Delambert, D. & Wallace, W. (2010). Loss of evolutionary resistance by the oligochaete *Limnodrilus hoffmeisteri* to atoxic substance-cost or gene flow? *Evolution* 64, 152-165.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (1997). *Brock biology of microorganisms* (Vol. 11). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall.
- Martin FM, van Der Heijden MG, 2024. The mycorrhizal symbiosis: research frontiers in genomics, ecology, and agricultural application. *New Phytologist*, 242, 4, 1486-506.
- Martinez-Toledo MV, Salmeron V, Gonzalez-Lopez J (1992a) Effect of an organophosphorus insecticide, profenofos, on agricultural soil microflora. *Chemosphere* 24:71-80
- Martinez-Toledo, M. V., Salmeron, V., & Gonzalez-Lopez, J. (1992b). Effect of the insecticides methylpyrimifos and chlorpyrifos on soil microflora in an agricultural loam. *Plant and soil*, 147, 25-30.
- Masoei, F., Prandini, A., & Pietri, A. (1999). RUMEN FERMENTATION OF NORMAL AND GENETICALLY MODIFIED CORN (CRY1A (B)) GROWN IN NORTHERN ITALY. *Maydica*, 44, 205-209.
- McENTEE, J. D., Woodrow, J. R., & Quirk, A. V. (1986). Investigation of cadmium resistance in an *Alcaligenes* sp. *Applied and environmental microbiology*, 51(3), 515-520.
- Ahemad, M. (2012). Implications of bacterial resistance against heavy metals in bioremediation: a review. *Journal of Institute of Integrative Omics and Applied Biotechnology (IIOAB)*, 3(3).
- Mesnage, R., Oestreicher, N., Poirier, F., Nicolas, V., Boursier, C., & Vélot, C. (2020). Transcriptome profiling of the fungus *Aspergillus nidulans* exposed to a commercial glyphosate-based herbicide under conditions of apparent herbicide tolerance. *Environmental research*, 182, 109116.
- Miles, J. R. W., Tu, C. M., & Harris, C. R. (1979). Persistence of eight organophosphorus insecticides in sterile and non-sterile mineral and organic soils.

- Mill, R. F., Krijger, G. C., Baccarini, P. J., Hall, J. L., and Williams, L. E. (2003). Functional expression of AtHMA4, a P1B-type ATPase of the Zn/Co/Cd/Pb subclass. *Plant J. Cell Mol. Biol.* 35, 164–176. doi: 10.1046/j.1365-3113X.2003.01790.x
- Miroshnikov, S., Notova, S., Kazakova, T., and Marshinskaia, O. (2021). The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28 (36), 49852–49863. doi:10.1007/s11356-021-14198-6
- Misra, T. K. (1992). Bacterial resistances to inorganic mercury salts and organomercurials. *Plasmid*, 27(1), 4-16.
- Miyoshi J, Rao MC, Chang EB, 2020. Navigating the human gut microbiome: pathway to success from lessons learned. *Gastroenterology*, 159, 6, 2019-24.
- Mocali S, Benedetti A, 2010. Exploring research frontiers in microbiology: the challenge of metagenomics in soil microbiology. *Research in microbiology*, 161, 6, 497-505.
- Morgado RG, Loureiro S, González-Alcaraz MN, 2018. Changes in soil ecosystem structure and functions due to soil contamination. In: *Soil pollution*. Eds: Elsevier, p. 59-87.
- Morselt, A. F. W., Smits, W. T. M., & Limonard, T. (1986). Histochemical demonstration of heavy metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. *Plant and soil*, 417-420.
- Mortensen, B. M., Haber, M. J., DeJong, J. T., Caslake, L. F., & Nelson, D. C. (2011). Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation. *Journal of applied microbiology*, 111(2), 338-349.
- Mosher JJ, Bowman B, Bernberg EL, Shevchenko O, Kan J, Korlach J, Kaplan LA, 2014. Improved performance of the PacBio SMRT technology for 16S rDNA sequencing. *Journal of microbiological methods*, 104, 59-60.
- Murata, K., Fukuda, Y., Shimosaka, M., Watanabe, K. U. N. I. H. I. K. O., Saikusa, T. O. S. H. I. H. I. K. O., & Kimura, A. K. I. R. A. (1985). Phenotype character of the methylglyoxal resistance gene in *Saccharomyces cerevisiae*: expression in *Escherichia coli* and application to breeding wild-type yeast strains. *Applied and environmental microbiology*, 50(5), 1200-1207.
- Murphy, R. J., & Levy, J. F. (1983). Production of copper oxalate by some copper tolerant fungi.
- Myer PR, Kim M, Freely HC, Smith TP, 2016. Metagenomic and near full-length 16S rRNA sequence data in support of the phylogenetic analysis of the rumen bacterial community in steers. *Data in brief*, 8, 1048-53.
- Nakahara, H., Ishikawa, T., Sarai, Y., Kondo, I., Kozukue, H., & Silver, S. (1977). Linkage of mercury, cadmium, and arsenate and drug resistance in clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Applied and Environmental Microbiology*, 33(4), 975-976.
- Nanda M, Kumar V, Sharma D, 2019. Multimetal tolerance mechanisms in bacteria: The resistance strategies acquired by bacteria that can be exploited to clean-up heavy metal contaminants from water. *Aquatic toxicology*, 212, 1-10.
- Naylor D, Fansler S, Brislawn C, Nelson WC, Hofmockel KS, Jansson JK, McClure R, 2020. Deconstructing the soil microbiome into reduced-complexity functional modules. *MBio*, 11, 4, 10.1128/mbio.01349-20.
- Naylor D, Sadler N, Bhattacharjee A, Graham EB, Anderton CR, McClure R, Lipton M, Hofmockel KS, Jansson JK, 2020. Soil microbiomes under climate change and implications for carbon cycling. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 1, 29-59.
- Neina D, 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and environmental soil science*, 2019, 1, 5794869.
- Nies, D. H. (1995). The cobalt, zinc, and cadmium efflux system CzcABC from *Alcaligenes eutrophus* functions as a cation-proton antiporter in *Escherichia coli*. *Journal of bacteriology*, 177(10), 2707-2712.
- Nies, D. H. (1999). Microbial heavy-metal resistance. *Applied microbiology and biotechnology*, 51, 730-750.
- Nies, D. H., & Silver, S. (1995). Ion efflux systems involved in bacterial metal resistances. *Journal of industrial microbiology*, 14, 186-199.
- O'Halloran, T. V. (1993). Transition metals in control of gene expression. *Science*, 261(5122), 715-725.
- Omelchenko MV, Wolf YI, Gaidamakova EK, Matrosova VY, Vasilenko A, Zhai M, Makarova KS, 2005. Comparative genomics of *Thermus thermophilus* and *Deinococcus radiodurans*: divergent routes of adaptation to thermophily and radiation resistance. *BMC evolutionary biology*, 5, 1, 1-22.
- Oren A, 2004. Prokaryote diversity and taxonomy: current status and future challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 359, 1444, 623-38.
- Palberg D, Kisiela A, Jorge GL, Emery RN, 2022. A survey of *Methylobacterium* species and strains reveals widespread production and varying profiles of cytokinin phytohormones. *BMC microbiology*, 22, 1, 49.
- Pandey SN, Abid M, Abid Ali Khan MM, 2018. Diversity, functions, and stress responses of soil microorganisms. *Plant Microbiome: Stress Response*, 1-19.
- Pecoraro V, Zerulla K, Lange C, Soppa J, 2011. Quantification of ploidy in proteobacteria revealed the existence of monoploid, (mero-) oligoploid and polyploid species. *PloS one*, 6, 1, e16392.
- Pedros-Alíó C, 2012. The rare bacterial biosphere. *Annual review of marine science*, 4, 1, 449-66.
- Perry, J. & Wright, G. (2013). The antibiotic resistance 'mobilome': searching for the link between environment and clinic. *Frontiers in Microbiology* 4, 138.
- Pocsi, I., Prade, R. A., & Penninckx, M. J. (2004). Glutathione, altruistic metabolite in fungi. *Advances in microbial physiology*, 49(1), 1-76.

- Poerschmann, J., Gathmann, A., Augustin, J., Langer, U., & Górecki, T. (2005). Molecular Composition of Leaves and Stems of Genetically Modified Bt and Near-Isogenic Non-Bt Maize—Characterization of Lignin Patterns. *Journal of Environmental Quality*, 34(5), 1508-1518.
- Pootakham W, Mhuantong W, Yoocha T, Putchim L, Sonthirod C, Naktang C, Thongtham N, Tangphatsornruang S, 2017. High resolution profiling of coral-associated bacterial communities using full-length 16S rRNA sequence data from PacBio SMRT sequencing system. *Sci Rep-Uk*, 7, 1, 2774.
- Pu T, Liu J, Dong J, Qian J, Zhou Z, Xia C, Wei G, Duan B, 2022. Microbial community diversity and function analysis of *Aconitum carmichaelii* Debeaux in rhizosphere soil of farmlands in Southwest China. *Front Microbiol*, 13, 1055638.
- Quartacci M F, Argilla A, Baker A J M, Navari-Izzo F. Phytoextraction of metals from a multiply contaminated soil by Indian mustard. *Chemosphere*, 2006, 63(6): 918-925
- Rajkumar, M., Ae, N., Prasad, M. N. V., & Freitas, H. (2010). Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends in biotechnology*, 28(3), 142-149.
- Ramachandran, P., Sundharam, R., Palaniyappan, J., & Munusamy, A. P. (2013). Potential process implicated in bioremediation of textile effluents: a review. *Advances in applied science research*, 4(1), 131-145.
- Ranawat P, Rawat S, 2017. Radiation resistance in thermophiles: mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 1-22.
- Rathnayake, I. V. N., Megharaj, M., Bolan, N., & Naidu, R. (2009). Tolerance of heavy metals by gram positive soil bacteria. *International Journal of Bioengineering and Life Sciences*, 3(5), 270-274.
- Rensing, C., Pribyl, T., & Nies, D. H. (1997). New functions for the three subunits of the CzcCBA cation-proton antiporter. *Journal of bacteriology*, 179(22), 6871-6879.
- Rhodes KA, Schweizer HP, 2016. Antibiotic resistance in Burkholderia species. *Drug Resistance Updates*, 28, 82-90.
- Rizvi, A., Zaidi, A., Ameen, F., Ahmed, B., AlKahtani, M. D., & Khan, M. S. (2020). Heavy metal induced stress on wheat: phytotoxicity and microbiological management. *RSC advances*, 10(63), 38379-38403.
- Rm, A. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*, 11, 3-42.
- Roane, T. M., & Pepper, I. L. (1999). Microbial responses to environmentally toxic cadmium. *Microbial ecology*, 38, 358-364.
- Rodríguez-Loinaz G, Onaindia M, Amezcaga I, Mijangos I, Garbisu C. (2008). Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forests. *Soil Biol Biochem*; 40:49-60.
- Rogers, E. E., Eide, D. J., and Gueriot, M. L. (2000). Altered selectivity in an Arabidopsis metal transporter. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 97, 12356-12360. doi: 10.1073/pnas.210214197
- Romanovskaia VA, Stoliar SM, JuR M, Shatkhina ES, 1996. The effect of long-acting radiation on the diversity of heterotrophic bacteria in the soils of a 10-kilometer area around the Chernobyl Atomic Electric Power Station. *Mikrobiologichnyi zhurnal (Kiev, Ukraine: 1993)*, 58, 5, 3-12.
- Rouch, D. A., Lee, B. T., & Morby, A. P. (1995). Understanding cellular responses to toxic agents: a model for mechanism-choice in bacterial metal resistance. *Journal of industrial microbiology and biotechnology*, 14(2), 132-141.
- Rustad, L., J. Campbell, G. Marion, R. Norby, M. Mitchell, A. Hartley, J. Cornelissen, J. Gurevitch, and GCTE-NEWS. 2001. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia* 126:543-562.
- Sabale SN, Suryawanshi PP, Krishnaraj P, 2019. Soil metagenomics: concepts and applications. *Metagenomics-basics, methods and applications*.
- Salipante SJ, Kawashima T, Rosenthal C, Hoogstraat DR, Cummings LA, Sengupta DJ, Harkins TT, Cookson BT, Hoffman NG, 2014. Performance comparison of Illumina and ion torrent next-generation sequencing platforms for 16S rRNA-based bacterial community profiling. *Applied and environmental microbiology*, 80, 24, 7583-91.
- Sarethy IP, Pan S, Danquah MK, 2014. Modern taxonomy for microbial diversity. *Biodiversity-the dynamic balance of the planet*.
- Sato, T., & Kobayashi, Y. (1998). The ars operon in the skin element of *Bacillus subtilis* confers resistance to arsenate and arsenite. *Journal of bacteriology*, 180(7), 1655-1661.
- Saxena, D., & Stotzky, G. (2001). *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin released from root exudates and biomass of Bt corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(9), 1225-1230.
- Saxena, D., & Stotzky, G. (2001). *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin released from root exudates and biomass of Bt corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(9), 1225-1230. Chicago
- Saxena, D., Flores, S., & Stotzky, G. (1999). Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*, 402(6761), 480-480.
- Sayler, G. S., & Ripp, S. (2000). Field applications of genetically engineered microorganisms for bioremediation processes. *Current opinion in biotechnology*, 11(3), 286-289.
- Schuster, E., & Schröder, D. (1990). Side-effects of sequentially-applied pesticides on non-target soil microorganisms: field experiments. *Soil Biology and Biochemistry*, 22(3), 367-373.
- Scott, J. A., & Palmer, S. J. (1988). Cadmium bio-sorption by bacterial exopolysaccharide. *Biotechnology letters*, 10, 21-24.
- Sergeeva O, Sergiev P, Bogdanov A, Dontsova O, 2014. Ribosome: Lessons of a molecular factory construction. *Molecular Biology*, 48, 468-84.

- Sharma B, Singh P, Chauhan PS, Singh S, Singh RP, 2019. Microbes-assisted remediation of metal polluted soils. In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Eds: Elsevier, p. 223-32.
- Siegel, F. R. (2002). Environmental geochemistry of potentially toxic metals (Vol. 32). Berlin: Springer.
- Silver, S., & Phung, L. T. (1996). Bacterial heavy metal resistance: new surprises. *Annual review of microbiology*, 50(1996), 753-789.
- Singer E, Bushnell B, Coleman-Derr D, Bowman B, Bowers RM, Levy A, Gies EA, Cheng J-F, Copeland A, Klenk H-P, 2016. High-resolution phylogenetic microbial community profiling. *The ISME journal*, 10, 8, 2020-32.
- Singh R, Ahirwar NK, Tiwari J, Pathak J (2018) Review on sources and effect of Heavy Metal in Soil: its bioremediation. *Int J Res Appl Natural Soc Sci* 2008:1-22
- Singh, V., & Pandey, V. C. (Eds.). (2020). *Bioremediation of pollutants: from genetic engineering to genome engineering*. Elsevier.
- Sitte J, Löffler S, Burkhardt EM, Goldfarb KC, Büchel G, Hazen, T. C., Küsel K, 2015. Metals other than uranium affected microbial community composition in a historical uranium-mining site. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 9326-19341.
- Soergel DA, Dey N, Knight R, Brenner SE, 2012. Selection of primers for optimal taxonomic classification of environmental 16S rRNA gene sequences. *The ISME journal*, 6, 7, 1440-4.
- Song, Y., Endepols, S., Klemann, N., Richter, D., Matuschka, F.-R., Shih, C.-H., Nachman, M. W. & Kohn, M. H. (2011). Adaptive introgression of anticoagulant rodent poison resistance by hybridization between old world mice. *Current Biology* 21, 1296-1301
- Soon, N.W.; Lee, L.M.; Khun, T.C.; Ling, H.S. Improvements in engineering properties of soils through microbial-induced calcite precipitation. *KSCE J. Civ. Eng.* 2013, 17, 718-728. [Google Scholar] [CrossRef]
- Sowptika P, Anilkumar G, 2023. The bacterial population inhabiting a top-ranking High Background Radiation Area: A first-time report. *Journal of Environmental Biology*, 144, 1, 45-56.
- Streletskii, R., Astaykina, A., Krasnov, G., & Gorbатов, V. (2022). Changes in bacterial and fungal community of soil under treatment of pesticides. *Agronomy*, 12(1), 124.
- Sutcliffe B, Chariton AA, Harford AJ, Hose GC, Greenfield P, Elbourne LD, Paulsen IT, 2017. Effects of uranium concentration on microbial community structure and functional potential. *Environmental microbiology*, 19, 8, 3323-41.
- Szabados, L., Kovács, I., Oberschall, A., Abrahám, E., Kerekes, I., Zsigmond, L., ... & Koncz, C. (2002). Distribution of 1000 sequenced T-DNA tags in the Arabidopsis genome. *The Plant Journal*, 32(2), 233-242.
- Taberlet, P., Bonin, A., Zinger, L., & Coissac, É. (2018). Environmental DNA: For Biodiversity Research and Monitoring. In *Environmental DNA: For Biodiversity Research and Monitoring*. doi: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198767220.001.0001>
- Tandon A, Srivastava S, Fatima T, Yadav U, Kumar S, Srivastava S, Katiyar R, Srivastava S, Singh PC, 2019. Microbe-mediated management of degraded and marginal lands. In: New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering. Eds: Elsevier, p. 213-33.
- Tax, F. E., & Vernon, D. M. (2001). T-DNA-associated duplication/translocations in Arabidopsis. Implications for mutant analysis and functional genomics. *Plant physiology*, 126(4), 1527-1538.
- Taylor DJ, Devkota B, Huang AD, Topf M, Narayanan E, Sali A, Harvey SC, Frank J, 2009. Comprehensive molecular structure of the eukaryotic ribosome. *Structure*, 17, 12, 1591-604.
- Teng Ying TY, Chen Wei CW, 2019. Soil microbiomes-a promising strategy for contaminated soil remediation: a review.
- Tu CM (1978a) Effect of pesticides on acetylene reduction and microorganisms in a sandy loam. *Soil Biol*
- Tutic A, Novakovic S, Lutovac M, Biocanin R, Ketin S, Omerovic N, 2015. The heavy metals in agrosystems and impact on health and quality of life. *Open access Macedonian journal of medical sciences*, 3, 2, 345.
- Vasseur P, Bonnard M, 2014. Ecogenotoxicology in earthworms: a review. *Current zoology*, 60, 2, 255-72.
- Verweij, P. E., Kema, G. H. J., Zwaan, B. & Melchers, W. J. G. (2013). Triazole fungicides and the selection of resistance to medical triazoles in the opportunistic mould *Aspergillus fumigatus*. *Pest Management Science* 69, 165-170.
- Vig K, Megharaj M, Sethunathan N, Naidu R, 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review. *Advances in Environmental Research*, 8, 1, 121-35.
- Vijayalakshmi, V., Senthilkumar, P., Mophin-Kani, K., Sivamani, S., Sivarajasekar, N., & Vasantharaj, S. (2018). Bio-degradation of Bisphenol A by *Pseudomonas aeruginosa* PAB1 isolated from effluent of thermal paper industry: Kinetic modeling and process optimization. *Journal of radiation research and applied sciences*, 11(1), 56-65.
- Voica DM, Bartha L, Banciu HL, Oren A, 2016. Heavy metal resistance in halophilic Bacteria and Archaea. *FEMS Microbiology Letters*, 363, 14, fnw146.
- Wagg C, Bender SF, Widmer F, Van Der Heijden MG, 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 14, 5266-70.
- Wagner J, Coupland P, Browne HP, Lawley TD, Francis SC, Parkhill J, 2016. Evaluation of PacBio sequencing for full-length bacterial 16S rRNA gene classification. *BMC microbiology*, 16, 1-17.
- Wall JD, Krumholz LR, 2006. Uranium reduction. *Annu. Rev. Microbiol.*, 60, 1, 149-66.
- Wang X, Cui Y, Zhang X, Ju W, Duan C, Wang Y, Fang L, 2020. A novel extracellular enzyme stoichiometry method to evaluate soil heavy metal contamination: evidence derived from microbial metabolic limitation. *Sci Total Environ*, 738, 139709.

- Wang X, Teng Y, Wang X, Xu Y, Li R, Sun Y, Hu W, Zhao L, Ren W, Luo Y, 2022. Effects of combined pollution of organic pollutants and heavy metals on biodiversity and soil multifunctionality in e-waste contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 440, 129727.
- Wang, C.; Wang, F.; Zhang, Q.; Liang, W. Individual and combined effects of tebuconazole and carbendazim on soil microbial activity. *Eur. J. Soil Biol.* 2016, 72, 6–13.
- Ward, D. M., Weller, R., & Bateson, M. M. (1990). 16S rRNA sequences reveal numerous uncultured microorganisms in a natural community. *Nature*, 345(6270), 63–65. <https://doi.org/10.1038/345063a0>
- Wardle DA, Bardgett RD, Klironomos JN, Setälä H, van der Putten WH, Wall DH. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*; 304:1629–33.
- Waters D, Van Zwieten L, Singh BP, Downie A, Cowie AL, Lehmann J, 2011. Biochar in soil for climate change mitigation and adaptation. In: *Soil health and climate change*. Eds: Springer, p. 345–68.
- Weiss, A. A., Murphy, S. D., & Silver, S. (1977). Mercury and organomercurial resistances determined by plasmids in *Staphylococcus aureus*. *Journal of bacteriology*, 132(1), 197–208.
- Whipps, J. M. (2001). Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, 52(suppl_1), 487–511.
- Williamson KE, Fuhrmann JJ, Wommack KE, Radosevich M, 2017. Viruses in soil ecosystems: an unknown quantity within an unexplored territory. *Annual review of virology*, 4, 1, 201–19.
- Wilson DN, Nierhaus KH, 2001. Ribosomal proteins: Role in ribosomal functions. e LS.
- Windels, P., Taverniers, I., Depicker, A., Van Bockstaele, E., & De Loose, M. (2001). Characterisation of the Roundup Ready soybean insert. *European Food Research and Technology*, 213, 107–112.
- Winkelmann, G., & Drechsel, H. (1997). Microbial siderophores. *Biotechnology*, 7, 199–246.
- Xie Q, Wang Y, Lin J, Qin Y, Wang Y, Bu W, 2012. Potential key bases of ribosomal RNA to kingdom-specific spectra of antibiotic susceptibility and the possible archaeal origin of eukaryotes. *Plos One*, 7, 1, e29468.
- Xie Y, Fan J, Zhu W, Amombo E, Lou Y, Chen L, Fu J, 2016. Effect of heavy metals pollution on soil microbial diversity and bermudagrass genetic variation. *Frontiers in plant science*, 7, 755.
- Yan X, Luo X, Zhao M, 2016. Metagenomic analysis of microbial community in uranium-contaminated soil. *Applied microbiology and biotechnology*, 100, 299–310.
- Yan, X., Ma, W.-B., Li, Y., Wang, H., Que, Y.-W., Ma, Z.-H., Talbot, N. J. & Wang, Z.-Y. (2011). A sterol 14 α -demethylase is required for conidiation, virulence and for mediating sensitivity to sterol demethylation inhibitors by the rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *Fungal Genetics and Biology* 48, 144–153.
- Yang L, Wu Y, Wang X, Lv J, Tang Z, Hu L, Luo S, Wang R, Ali B and Yu J (2022) Physiological Mechanism of Exogenous 5-Aminolevulinic Acid Improved the Tolerance of Chinese Cabbage (*Brassica pekinensis* L.) to Cadmium Stress. *Front. Plant Sci.* 13:845396. doi: 10.3389/fpls.2022.845396
- Yang Q, 2021. Crucial roles of carotenoids as bacterial endogenous defense system for bacterial radioresistance of *Deinococcus radiodurans*. *BioRxiv*, 2021-05.
- Yin P, Liu X, Liao J, Hu X. Effects of cadmium stress on microbial community diversity in soil potted with *Sasa Argenteostriatus*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 052051.
- Yu LZH, Luo XS, Liu M, Huang Q, 2015. Diversity of ionizing radiation-resistant bacteria obtained from the Taklimakan Desert. *Journal of basic microbiology*, 155, 1, 135–40.
- Zamanzadeh-Nasrabadi SM, Mohammadiapanah F, Hosseini-Mazinani M, Sarikhan S, 2023. Salinity stress endurance of the plants with the aid of bacterial genes. *Frontiers in Genetics*, 14, 1049608.
- Zhang, X.-S. & Hill, W. G. (2005). Genetic variability under mutation selection balance. *Trends in Ecology & Evolution* 20, 468–470
- Zheng, D. S., Olaya, G. & Koller, W. (2000). Characterization of laboratory mutants of *Venturia inaequalis* resistant to the strobilurin-related fungicide kresoxim-methyl. *Current Genetics* 38, 148–155
- Zhou Z, Wang C, Luo Y, 2020. Meta-analysis of the impacts of global change factors on soil microbial diversity and functionality. *Nature communications*, 11, 1, 3072.
- Zhou, X., R. A. Sherry, Y. An, L. L. Wallace, and Y. Luo. 2006. Main and interactive effects of warming, clipping, and doubled precipitation on soil CO₂ efflux in a grassland ecosystem. *Global Biogeochemical Cycles* 20:GB1003
- Zinger, L., Bonin, A., Alsos, I. G., Bálint, M., Bik, H., Boyer, F., Chariton, A. A., Creer, S., Coissac, E., Deagle, B. E., De Barba, M., Dickie, I. A., Dumbrell, A. J., Ficitola, G. F., Fierer, N., Fumagalli, L., Gilbert, M. T. P., Jarman, S., Jumpponen, A., ... Taberlet, P. (2019). DNA metabarcoding—Need for robust experimental designs to draw sound ecological conclusions. *Molecular Ecology*, 28, 1857–1862. <https://doi.org/10.1111/mec.15060>
- Zwahlen, C., Hilbeck, A., Gugerli, P., & Nentwig, W. (2003). Degradation of the Cry1Ab protein within transgenic *Bacillus thuringiensis* corn tissue in the field. *Molecular Ecology*, 12(3), 765–775.

ATIK YÖNETİMİ VE TOPRAK KİRLİLİĞİ

Recep YETİŞ¹, Hatice KARA², Ayşegül DEMİR YETİŞ³

GİRİŞ

Üretim faaliyetlerinin genişlemesi doğal kaynakların daha yoğun kullanımını kaçınılmaz hale getirirken, aşırı tüketimle birlikte ortaya çıkan atıklar, miktar ve zararlı muhtevaları nedeniyle çevre ve insan sağlığını tehdit edici tehlikeli boyutlara ulaşmıştır. Tarih boyunca uygarlıkların gelişim gösterdiği bölgeler, verimli topraklara sahip olan bölgelerdir. Toprak yenilenebilir bir kaynak olmasıyla birlikte yanlış uygulamalarla da kullanılamaz bir hale gelebilir. Bu gibi durumlarda toprağın yeniden kullanımı ve rehabilitasyonu çok zor olup, uzun zaman ve ciddi maliyetler sonrasında yeniden kullanımı mümkün hale gelmektedir (Demir Yetiş & ark., 2013; Birecik, 2023; Güler & Çobanoğlu, 1994).

Her geçen gün dünya genelinde etkisini arttırarak kamuoyunun gündeminde en fazla konuşulan konulardan biri olan çevre sorunları, yoğun nüfuslu yerleşim alanlarında ciddi bir şekilde hissedilmektedir. Bu bağlamda çevre sorunları; özellikle gecekondü mahallelerinde, çarpık kentleşen ve gelişmiş büyüme gösteren yerleşim alanlarında önemli problemlerin başında yer almaktadır. Günümüzde katı atıkların depolanması ve bertaraf edilmesi, özellikle yoğun nüfuslu yerleşim alanlarında antropojenik baskı çok fazla olduğu için karşılaşılan en temel çevresel meselelerdendir (Özşahin & ark., 2019; Derin & ark., 2019).

İnsanoğlu tarafından doğrudan ya da dolaylı olarak bir çok etkiye mazur kalan toprak; bu maruziyet sonucunda olası bir toprak kirliliğine neden olabilir (Şekil 1). Toprak kirliliğinin şüphesiz en önemli nedenlerinden biri de atıkların gelişmiş bir şekilde çevreye atılmasıdır.

¹ Öğr. Gör., Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, ryetis@beu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7715-4951

² Dr., GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, hatice.kara@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0002-9999-939X

³ Doç. Dr., Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, ademir@beu.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4745-2445

Yakma; yöntemi, evsel katı atıkların herhangi bir ön işlem uygulanmadan doğrudan karışık bir şekilde toplanıp yanabilen ve yanamayan olarak ayrılması neticesinde yanabilen muhtevanın yakılması ile gerçekleştirilir (Şekil 15). Yakma işlemindeki amaç atık hacmini küçültmek, atık stabilizasyonunu sağlamak, atığın sterilizasyon ve atıktan enerji elde etmektir. Yakma işlemi, bir reaktör içerisinde atıklara oksijen verilerek kurutulup, gaz fazına getirilmesi ve yüksek sıcaklık altında parçalanmanın sağlanması ile diğer atık arıtma işlemlerinde olduğu gibi, atığın hacim ve zararlarını azaltıp zararlı muhtevayı imha etmektir. Öte yandan atıktan enerji, mineral ve kimyasal içeriğin geri kazanımın sağlanması da mümkündür. Göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus şudur ki atık yakma tesisleri ile atmosfere yayılan dioksin, furan, sülfür ve nitrojen oksitleri, kurşun ve diğer ağır metallerle hava kirliliğine büyük katkı sunmaktadır (Güler, 2020; Taştan, 2022). Katı atıkların yakılması yöntemi enerji üretebilse de, bazı tesisler tehlikeli emisyonlar üretir. Bu emisyonlarda bulunan maddeler insan sağlığı ve çevre için tehlikeli olabilir. Yakma tesislerinden yayılan toksik maddelere örnek olarak poliklorlu bifeniller (PCB'ler), kadmiyum ve ağır metaller ve diğer potansiyel olarak kanserojen maddeler verilebilir. Bu maddeler hava kirliliğine neden olabilir veya toprakta birikebilir (Güler, 2020).



Şekil 15. Katı atıkların yakılması (Anonim, 2025d)

KAYNAKLAR

- Acar, F. N., & Suscan, E. (2023). Düzenli Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Yönetimi: Bir Kentsel Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında İnceleme. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 6(2), 61-73.
- Aggarwal, R. (2017). Soil Pollution: Causes, Effects and Solution. *AGU International Journal of Research in Social Sciences & Humanities* <http://www.aguijrssh.com> (AGUIJRSSH) 5, 2455-6084.
- Akça, M. O., & Sözüdoğru Ok, S. (2021). Toprak Ekosistemi Üzerine Mikroplastiklerin Etkileri. *Toprak Bilimi Ve Bitki Besleme Dergisi*, 9(2), 79-91. <https://doi.org/10.33409/tbbbd.997807>
- Alagöz, Z., Yılmaz, E., & Öktüren, F. (2006). Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri. *Akdeniz University Journal of the Faculty of Agriculture*, 19(2), 245-254.
- Ali, S. M., Pervaiz, A., Afzal, B., Hamid, N., & Yasmin, A. (2014). Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. *Journal of King Saud University-Science*, 26(1), 59-65.
- Anikwe, M. A. N., & Nwobodo, K. C. A. (2002). Long term effect of municipal waste disposal on soil properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria. *Bioresource technology*, 83(3), 241-250.
- Anikwe, M.A.N., (2000). Amelioration of a heavy clayloam soil with rice husk dust and its effect on soil physical properties and maize yield. *Bioresource Technology* 74, 169-173.
- Anonim, (2024a). Erişim linki: <https://l24.im/paP8X>, Erişim tarihi: 13.09.2024).
- Anonim, (2024b). Erişim linki: <https://l24.im/J4RTca>, Erişim tarihi: 14.09.2024).
- Anonim, (2024c). Erişim linki: <https://l24.im/tvM5>, Erişim tarihi: 14.09.2024).
- Anonim, (2025a). (<https://www.isu.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=289> Erişim tarihi: 06.04.2025)
- Anonim, (2025b). (<https://eksenaritmama.com.tr/> Erişim tarihi: 05.04.2025)

- Anonim, (2025c). Erişim linki: <https://k2haber.com.tr/rezalet-almanyadan-ithal-edilen-copler-turkiyede-kaldi/>, Erişim tarihi: 12.04.2025).
- Anonim, (2025d). (<https://muhendistan.com/yakma-tesisi-nedir/> Erişim tarihi: 02.04.2025)
- Ekinci, K., Tosun, İ., Varol, N. (2021). Kompost El Kitabı, Enstitü Yayın No: 109, Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü, Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 61 s. Yalova.
- Bell, J. N. B., Power, S. A., Jarraud, N., Agrawal, M., & Davies, C. (2011). The effects of air pollution on urban ecosystems and agriculture. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 18(3), 226-235.
- Bilgili, L., Çetinkaya, A.Y. (2023). Application of life cycle assessment of system solution scenarios for municipal solid waste management in Turkey. *J Mater Cycles Waste Manag* 25, 324–336. <https://doi.org/10.1007/s10163-022-01542-2>
- Bilgili, M. Y. (2020). Katı atık yönetiminde kullanılan bazı kavramlar ve açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8(2), 88-97.
- Bilitewski, B., Härdtle, G., & Marek, K. (2013). *Waste management*. Springer Science & Business Media.
- Birecik, A. (2023). Kentsel Katı Atık Yönetimi İçin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi: Hatay İli Gökçeğöz Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Örneği. Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.
- Cırıkçoğlu, A. (2018). Edirne ili Süloğlu ilçesi'nde yaşayanların yemeklik sıvı atık yağlarla ilgili bilgi, tutum ve davranışlarının araştırılması. Trakya Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Halk Sağlığı Anabilim Dalı.
- Çakır, M.E., Demir Yetiş, A., Yeşilnacar, M.İ. & Ulukavak, M. (2019). "Katı Atıklar için Optimum Güzergâh Tespiti ve Alansal Dağılım Haritalarının CBS Ortamında Oluşturulması: Suroç (Şanlıurfa) Örneği", Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 8, no. 2, pp. 595–603. doi: 10.17798/bitlisfen.482893.
- Çıtıröğlu, H. K. (2010). Katı atık depo yeri seçiminde hidrojeolojik kriterlerin önemi. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 73-78.
- Demir Yetiş A., Gazizil L., Yetiş R., Çelikezen B. (2019). Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli: Bitlis Örneği, *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 7-1: 74-78.
- Demir Yetiş, A. & Selek, Z. (2015). Determination of total and fecal coliforms of Akyatan Lagoon in terms of microbiological pollution. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1125-1132.
- Demir Yetiş, A., Gazizil, L., Şapçı, Z., Can, O. T., Tütün, M. M., Gözetin, C., Durmaz Bekmezci, H. ve Yücesoy, Z. (2013). Bitlis ili katı atık yönetiminin değerlendirilmesi. 5. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Demir Yetiş, A., Teke, R. B. & Yetiş, R. (2018). Muş merkez ve ilçelerinin hayvansal kaynaklı kirlilik yükü hesabı. In 6th International GAP Engineering Conference–GAP2018 (pp. 527-532).
- Demir Yetiş, A., Yetiş, R., & Gazizil, L. (2018). Bitlis Merkez ve ilçelerinin hayvansal kaynaklı kirlilik yükü hesabı. In International Symposium on Urban Water and Wastewater Management, Denizli (pp. 610-617).
- Derin, P., Yetiş, A. D., Yeşilnacar, M. İ., & Yetiş, R. (2019). Mardin merkez ve ilçeleri için anropojenik yayılı kirlenici kaynaklarından hayvansal kirlilik yükünün belirlenmesi. *Uluslararası Katılımlı*, 72, 694-698.
- Erdeve, E., Çetin, H., Yetiş, A. D., & Yetiş, R. (2014). Atıksu Aritma Çamurunun Jeoteknik Özellikleri. 6. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 1-4 Eylül 2014. Van.
- Ghaly, A. E., & Ramakrishnan, V. V. (2015). Nitrogen sources and cycling in the ecosystem and its role in air, water and soil pollution: A critical review. *Journal of Pollution Effects & Control*, 3(2), 1-26.
- Gökçe, G. F., Kırık Aydemir, K. P., Hasanoglu, P., Özbay, M. (2015). Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarının ve Vahşi Depolama Alanlarının Islahı ve Bitkilendirilmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 258-271.
- Görmüş, T. (2018). Atık yönetimi, sorunlar ve çözüm arayışları: Antakya örneği (Mustafa Kemal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 321 sayfa, Antakya.
- Güler, Ç. (2020). Çevre Sağlığı, Çevre ve Ekoloji Bağlantılarıyla, 2 CİLT. Yazıt Yayıncılık, 1779 sayfa.
- Güler, Ç., Çobanoğlu Z., (1994). Çevresel Etkenlere Bağlı Olarak Ortaya Çıkan Hastalıklar. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları. 1. Baskı. ISBN 975-7572-54-3
- Gürbüz, O. A. (2022). Niğde bölgesinin toprak kirliliğinin tespiti ve coğrafi bilgi sistemi ile modellenmesi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- Havugimana, E., Bhople, B. S., Kumar, A., Byiringiro, E., Mugabo, J. P. & Kumar, A. (2017). Soil pollution–major sources and types of soil pollutants. *Environmental science and engineering*, 11, 53-86.
- İbadullayeva, J., Jumaniyazova, K., Azimzadeh, S., Canıgür, S., & Esen, F. (2019). Çevre kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri. *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi*, 1(3), 52-58.
- Ilhan, N., Demir Yetiş, A., Yeşilnacar, M. İ., & Atasoy, A. D. S. (2022). Predictive modelling and seasonal analysis of water quality indicators: three different basins of Şanlıurfa, Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 24(3), 3258-3292.
- Khalilian, A., Sullivan, M. J., Mueller, J. D., Wolak, F. J., Williamson, R. E and Lippert, R., M. (2004). Composted Municipal Solid Waste Application Impacts on Cotton Yield and Soil Properties. <http://www.p2pays.org/ref/12/11574.pdf>.
- Kara, E. E., & Kara, E. (2018). Toprakta ağır metal kirliliğinin insan sağlığına etkileri ve çözüm önerileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 56-62.
- Kara, H., Demir Yetiş, A., & Temel, H. (2021). Assessment of heavy metal contamination in groundwater of Diyarbakir Oil Production Area (Turkey) using pollution indices and chemometric analysis. *Environmental Earth Sciences*, 80, 1-15.
- Kara, H., Yetiş, A. D., Kalkan, S., & Yetiş, R. (2023). Evaluation of pollution indicators and transported sediment content in agricultural drainage waters for reuse as irrigation, Harran Plain, Turkey. *Environmental science and pollution research international*, 30(24), 64982-64993.
- Karpuzcu, M. (2006). Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü. İstanbul: Kubbealtı Neşriyat.
- Kaykioğlu, G., & Ekmekyapar, F. (2024). Aritma Çamurlarının Tarımsal Amaçlı Kullanımı: Türkiye'de ve AB Ülkelerinde Yasal Durum. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(1), 1-5.

- Kök, F. (2021). Organik atıkların yönetimi, geri dönüşümü ve uygulamaları. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2), 99-108.
- Lee, R. P., Meyer, B., Huang, Q., & Voss, R. (2020). Sustainable waste management for zero waste cities in China: potential, challenges and opportunities. *Clean energy*, 4(3), 169-201.
- Mbagwu, J. S. C., Udom, B. E and Agbim, N. N., (2004). Changes in Physical and Chemical Properties and Crop Yields on an Ultisol Following Application of Swage Wastes. http://www.sfst.org/Proceedings/17WCSS_CD/A_bstracts/0960.pdf
- Mirsal, I. A. (2008). *Soil Pollution Origin, Monitoring & Remediation*. 2.th Edition. Dillenburg, S pringer
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). *Soil pollution: Causes, effects and control*. Van Sangyan, 3(1), 1-14.
- Melikoglu, M. (2025). Sustainable biodiesel production: Forecasting agricultural waste utilization in Türkiye's oilseed industry. *Biomass and Bioenergy*, 199, 107953.
- Nanda, S., & Berruti, F. (2021). A technical review of bioenergy and resource recovery from municipal solid waste. *Journal of hazardous materials*, 403, 123970.
- Orkun, M. O., Güngör, E. B. Ö., & Erdin, E. (2011). Kompost Uygulamasinin Potansiyel Toprak Kirliliği Açısından Araştırılması. *Kati Atık Ve Çevre*, 83:60-67.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. ve Kaptan, H., (1993). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi Kitabı, Yayın no: 73, Ders Kitapları Yayın no: A-16, ss: 77-119, Adana.
- Özşahin, E., Sarı, H., Eroğlu, İ., Yüksel, O., Özdes, M. (2019). Düzensiz çöp döküm sahalarının toprak kirliliğine etkisinin değerlendirilmesi. 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book (s. 356-363)
- Ozguven, A., & Demir Yetis, A. (2020). Assessment of spatiotemporal water quality variations, impact analysis and trophic status of Big Soda Lake Van, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 231, 1–17.
- Ozşahin, E., Sari, H., Eroglu, I., Yuksel, O., Ozdes, M. (2019). Düzensiz çöp döküm sahalarının toprak kirliliğine etkisinin değerlendirilmesi. B. Gonencgil, T. A. Ertek, I. Akova ve E. Elbasi (Ed.), 1st Istanbul International Geography Congress Proceedings Book (s. 356-363) içinde. İstanbul, Türkiye: Istanbul University Press.
- <https://doi.org/10.26650/PB/PS12.2019.002.036>
- Öztürk, İ., (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, İstaç A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 2, İstanbul.
- Peña, A., Delgado-Moreno, L., & Rodríguez-Liébana, J. A. (2020). A review of the impact of wastewater on the fate of pesticides in soils: Effect of some soil and solution properties. *Science of the Total Environment*, 718, 134468.
- Saha, T. R., Khan, M. A. R., Kundu, R., Naime, J., Karim, K. M. R., & Ara, M. H. (2022). Heavy metal contaminations of soil in waste dumping and non-dumping sites in Khulna: human health risk assessment. *Results in Chemistry*, 4, 100434.
- Sarı, H. (2019). Assessment of nutrient status of soil around municipal soil waste disposal site in Çorlu district of Tekirdağ using GIS. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(2): 377-383, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i2.377-383.2372>
- Sossou, K., Prasad, S. B., Agbotso, K. E., Souley, H. S., & Mudigandla, R. (2024). Characteristics of landfill leachate and leachate treatment by biological and advanced coagulation process: Feasibility and effectiveness—An overview. *Waste Management Bulletin*, 2(2), 181-198.
- Taşçıoğlu, S., ve Aydın, A. (2017). Tüm yönleriyle toprak bilimi ve toprak kirlenmesi. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Taştan, M. (2022). Atık Yönetiminde Yakma Teknolojisinin Uygulanabilirliği: İstanbul Örneği. İstanbul Kültür Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 107 s. İstanbul.
- Terzi, D. (2007). Türkiye'deki bazı arıtma tesislerinden çıkan atık çamurların bitki besin elementleri ve ağır metal içeriklerinin yıl içindeki değişimi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi Ankara.
- Titirmare, N.S., Gaikwad, A.S. and Margal, P.B. (2023) *Soil Pollution and Environmental Health*. In: S.A. Chaware et al. (Eds.), *Advances in Soil Science* 1(13), 267-307. Bright Sky Publications, New Delhi, India. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8331094>.
- TÜİK, (2023). Türkiye İstatistik Kurumu, Veri Portalı, Yayın tarihi :14 Kasım 2023; Saat: 10:00; Sayı: 49570.
- Uzun, P., & Bilgili, U. (2011). Arıtma çamurlarının tarımda kullanımla olanakları. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25(2), 135-146.
- Yetiş, R., Atasoy, A. D., Demir Yetiş, A., Yeşilnacar, M. İ. (2018). Balıklıgöl Havzası Su Kaynaklarının Nitrat ve Nitrit Seviyelerinin Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(1), 47-54. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.420659>
- Yıldız, Ş., Saltabaş, F., Balahorlu, V., Sezer, K., & Yağmur, K. (2009). Organik atıklardan biyogaz üretimi (biyometanizasyon) projesi-İstanbul örneği. *Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, YTÜ*, 15-17.
- Yüksekdağ, M., Gökpinar, S., & Yelmen, B. (2020). Atıksu Arıtma Tesislerinde Arıtma Çamurları ve Bertaraf Uygulamaları. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 895-904.
- Zeng, S., Ma, J., Yang, Y., Zhang, S., Liu, G. J., & Chen, F. (2019). Spatial assessment of farmland soil pollution and its potential human health risks in China. *Science of the total environment*, 687, 642-653.

BÖLÜM 17

TOPRAK KİRLİLİĞİNİ BELİRLEMEDE KULLANILAN YÖNTEMLER

İbrahim Halil YANARDAĞ¹, Asuman BÜYÜKKILIÇ YANARDAĞ², Salih AYDEMİR³

GİRİŞ

Toprak kirliliği, dünya genelinde artan bir çevresel sorundur. Sanayi devrimi ile artan endüstriyel faaliyetler, yoğun tarımsal uygulamalar ve hızla artan kentleşme, toprağın doğal yapısını bozarak çeşitli kirlleticilerin birikmesine yol açmıştır. Kirlenmiş topraklar, bitki ve hayvan sağlığını olumsuz etkileyebilir, su kaynaklarını kirlitebilir ve insan sağlığı üzerinde ciddi riskler oluşturabilir (Smith, 2020).

Toprak kirliliği, toprağın doğal bileşenlerinin insan faaliyetleri sonucu değişime uğraması ve sağlıklı yaşam, tarım ve ekosistemler için tehlike oluşturması durumudur. Toprak kirliliği genellikle endüstriyel atıklar, tarım kimyasalları, kentsel atıklar ve madencilik faaliyetleri gibi çeşitli kaynaklardan meydana gelmektedir (Smith, 2020). Kirleticiler toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek bitki, hayvan ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir (Brown ve Johnson, 2018). Toprak kirliliği kaynakları çok çeşitlidir (Şekil 1). Fabrikalar ve sanayi tesislerinden gelen atıklar (Jones & Lee, 2020), pestisitler, herbisitler ve gübreler (Patel & Singh, 2019), şehirlerde oluşan evsel atıklar, çöpler ve kanalizasyon suları (White & Harris, 2021) ve madencilik faaliyetleri sırasında ortaya çıkan atıklar, toprağın doğal yapısını bozarak verimliliğini ve su tutma kapasitesini olumsuz etkiler (Wang & Chen, 2018).

Genel olarak bakıldığında, toprakların kirlenmesi, , toprağa ilave edilen ağır metaller, organik kirleticiler ve diğer toksik maddelerle mümkün olmaktadır (Miller, 2019). Bu tür topraklar, bitki büyümesini engelleyebilir, su kalitesini bozabilir ve ekosistemlerin dengesini tehdit edebilir (Thompson & Green, 2017). Dolayısıyla, kirlenmiş toprak, kirleticilerin yoğunlaştığı ve doğal işlevlerini yerine getiremeyecek duruma geldiği toprak türüdür (Şekil 2).

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, ibrahim.yanardag@ozal.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-2558-9600

² **ÜNVAN EKSİK**, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, asuman.yanardag@ozal.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-3236-2022

³ **ÜNVAN EKSİK**, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, salihaydemir@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3236-8438

Her ülkenin kendi toprak kirliliği kontrolü için ulusal düzenlemeleri vardır. Örneğin, Türkiye’de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, toprak kirliliğinin izlenmesi ve yönetilmesi için çeşitli yönetmelikler ve yönergeler yayınlamıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

GELECEKTEKİ EĞİLİMLER VE YENİLİKÇİ TEKNOLOJİLER

Toprak kirliliğinin tespiti ve yönetiminde gelecekteki eğilimler ve yenilikçi teknolojiler büyük bir rol oynamaktadır. Bu teknolojiler, daha hassas, hızlı ve maliyet etkin çözümler sunmayı hedeflemektedir. Nano teknoloji, kirleticilerin tespitinde ve giderilmesinde önemli bir yenilikçi teknolojidir. Nano sensörler, çok düşük konsantrasyonlardaki kirleticileri tespit edebilir ve kirlenmiş toprakların temizlenmesinde kullanılabilir (Smith, 2020).

Biyosensörler, mikroorganizmalar veya enzimler kullanarak toprak kirleticilerini tespit eden cihazlardır. Bu sensörler, özellikle biyolojik kirleticilerin tespitinde etkilidir (Kumar ve Chauhan, 2017). Yayıncı zekâ ve makine öğrenimi, toprak kirliliği verilerini analiz etmek ve kirlenme eğilimlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, büyük veri setlerini işleyerek daha doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmesini sağlar (Taylor & Smith, 2017).

SONUÇ

Toprak kirliliği, insan sağlığını ve çevreyi korumayı amaçlayan yönetmeliklere ve yönergelere tabidir. Bu düzenlemelere uyulmaması, kirleticiler için para cezaları, davalar ve itibarın zedelenmesi gibi yasal ve mali sonuçlara yol açabilir. Genel olarak, toprak kirliliği, etkilerini azaltmak ve hem ekosistemlerin hem de insan nüfusunun refahını korumak için dikkat ve eylem gerektiren önemli bir çevre ve halk sağlığı sorunudur. Toprak kirliliğini belirlemede kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlar Kimyasal, Jeofizik, Biyolojik ve Uzaktan Algılama ve Uzamsal Teknikler gibi yöntemlerdir.

Kirlenmiş toprakların temizlenmesi ve yeniden kullanılabilir hale getirilmesi için kullanılan çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin kombinasyonu, toprak rehabilitasyonunda etkili sonuçlar sağlar. Organik tarım, entegre zararlı yönetimi ve minimum toprak işleme gibi sürdürülebilir tarım uygulamaları, toprak sağlığını koruyarak kirliliği azaltmaya yardımcı olur.

Toprak kirliliği, çevresel sağlık ve sürdürülebilir tarım için büyük bir tehdittir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin entegre bir şekilde kullanılması, toprak kirliliğini belirlemede etkili sonuçlar verir. Uluslararası ve ulusal düzenlemeler, kirliliğin kontrol altında tutulmasını ve yönetilmesini sağlar. Gelecekte, yenilikçi teknolojiler ve geliştirilecek yeni modeller, toprak kirliliği tespit ve yönetiminde daha etkin çözümler sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Adriano, D. C., Bollag, J. M., Frankenberger, W. T., ve Sims, R. C. (1999). Bioremediation of contaminated soils. *Agronomy*, 37, 465-492.
- Andreescu, S., ve Marty, J. L. (2006). Twenty years research in cholinesterase biosensors: From basic research to practical applications. *Biomolecular Engineering*, 23(1), 1-15.
- Andreescu, S., ve Marty, J.-L. (2006). "Biosensors for environmental monitoring of water, soils and air quality." *Sensors*, 6(4), 299-346.
- Anonim., 2022. <https://ekovar.com.tr/h/toprak-kirliligi-noktasal-kaynakli-kirlenmis-sahalar/>
- Brown, L., ve Johnson, K. (2018). Urbanization and its Effects on Soil Health. *Journal of Urban Ecology*, 5(2), 101-115.
- Chang, C. W., Laird, D. A., Mausbach, M. J., ve Hurburgh, C. R. (2001). Near-infrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 480-490.
- Close, D. M., ve Ripp, S. (2009). "Whole-cell bioreporters: Current applications in environmental biotechnology." *Journal of*

- Environmental Monitoring*, 11(10), 1891-1900.
- Cozzolino, D., Moron, A., ve Rearte, D. (2006). "Near-Infrared Reflectance Spectroscopy for Soil Analysis: A Review." *Soil Science*, 171(9), 709-726.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2020). Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik.
- D'Souza, S. F. (2001).** "Microbial biosensors." *Biosensors and Bioelectronics*, 16(6), 337-353.
- Dahlin, T., ve Zhou, B. (2004). A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, 52(5), 379-398.
- Davis, J. L., ve Annan, A. P. (1989).** "Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy." *Geophysical Prospecting*, 37(5), 531-551.
- Davis, J., ve Brown, P. (2017). "Infrared Spectroscopy in Soil Analysis." *Soil Science*, 182(4), 198-210.
- Doran, J. W., ve Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.
- Ellenberg, H. (1988).** *Vegetation Ecology of Central Europe*. Cambridge University Press. - Provides insights into plant diversity and its relationship with soil quality.
- Foti, S. (2000). Multistation methods for geotechnical characterization using surface waves. *Ph.D. Dissertation*, Politecnico di Torino.
- Green, J., ve Thompson, R. (2021). GIS and Remote Sensing in Soil Pollution Detection. *Journal of Environmental Monitoring*, 18(2), 235-245.
- Green, J., ve Thompson, R. (2021). Urbanization and Soil Pollution: A Review. *Urban Ecosystems*, 24(2), 247-260.
- Green, S. R., ve Thompson, M. (2021). Plant bioindicators: Evaluating the impact of soil contaminants on plant health. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 227.
- Griffiths, D. H., ve Barker, R. D. (1993).** "Two-dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology." *Journal of Applied Geophysics*, 29(3), 211-226.
- Gu, M. B., ve Mitchell, R. J. (2006).** "Genetically engineered microorganisms for environmental biosensing applications." *Critical Reviews in Biotechnology*, 26(4), 229-245.
- Hayta B.N., 2018. <https://sifiratik.co/2018/08/08/topraklarimiz-gun-gectikce-kirleniyor/>
- Houk, R. S. (1986). "Mass Spectrometry of Inductively Coupled Plasmas." *Analytical Chemistry*, 58(1), 97A-105A.
- Huston, M. A. (1994).** *Biological Diversity: The Coexistence of Species on Changing Landscapes*. Cambridge University Press. - A comprehensive study on biological diversity and ecosystem functions.
- Jenkins, R. ve De Vries, J. L. (2015). "X-Ray Fluorescence Spectrometry." *John Wiley & Sons*, 4th Edition.
- Johnson, L., Smith, R. et al. (2020). "Laser-Induced Fluorescence for Environmental Monitoring." *Journal of Applied Spectroscopy*, 67(3), 215-229.
- Jol, H. M. (2009). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier.
- Jones, C. J., ve Lee, J. W. (2020). High-sensitivity elemental analysis using ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 35(4), 738-747.
- Jones, M., ve Lee, A. (2020). Industrial Waste and Soil Contamination. *Journal of Industrial Ecology*, 14(1), 34-50.
- Kahraman Maras Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü., 2021. <https://kahramanmaras.csb.gov.tr/toprak-kirliligi-i-5454>
- Kalnicky, D. J., ve Singhvi, R. (2001). "Field Portable XRF Analysis of Environmental Samples." *Journal of Hazardous Materials*, 83(1-2), 93-122.
- Kearey, P., Brooks, M., ve Hill, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. 3rd Edition. Blackwell Science.
- Kumar, M., ve Chauhan, A. (2017). Microbial bioreporters for detection of environmental contaminants. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(8), 424.
- Kumar, V., ve Chauhan, S. (2017). Effects of Pesticides on Soil Microbial Diversity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 178-186.
- L'vov, B. V. (2000). "Fifty Years of Atomic Absorption Spectrometry." *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 15(9), 1421-1440.
- Loke, M.H. (1999). *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*.
- Luoma, S. N. (1995).** "Prediction of metal toxicity in nature from bioassays: Limitations and research needs." *Environmental Health Perspectives*, 103(Suppl 4), 25-28.
- Maestri, E., Marmiroli, M., Visioli, G., ve Marmiroli, N. (2010).** "Metal tolerance and hyperaccumulation: Costs and trade-offs between traits and environment." *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 1-13.
- Meighen, E. A. (1994). Genetics of bacterial bioluminescence. *Annual Review of Genetics*, 28(1), 117-139.
- Miller, A., ve Davis, K. (2019). Construction Activities and Soil Quality. *Construction Management and Economics*, 37(6), 358-369.
- Miller, C., ve Davis, R. (2019). GIS and remote sensing techniques for soil pollution assessment. *Journal of Environmental Management*, 250, 109416.
- Miller, R. (2019). Soil Contamination: Sources, Assessment, and Remediation. *Soil Science Journal*, 14(1), 22-35.
- Müller, J. et al. (2015). "Gas Chromatography in Environmental Analysis." *Journal of Chromatography*, 142(2), 102-115.
- Müller, J., Lutz, J., & Schmid, R. (2016).** *Applications of Infrared Spectroscopy in Environmental Studies*. *Journal of Environmental Science*, 144(3), 110-124.
- Nielsen, U. N., Wall, D. H., ve Six, J. (2015). Soil biodiversity and the environment. *Annual Review of Environment and Resources

- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., ve Gupta, V.V.S.R. (1995). *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International.
- Paoletti, M. G., ve Bressan, M. (1996).** "Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance." *Critical Reviews in Plant Sciences*, 15(1), 21-62.
- Park, C.B., Miller, R.D., ve Xia, J. (2002). *Multichannel analysis of surface waves (MASW)—active and passive methods*. The Leading Edge, 21(3), 254-256.
- Patel, N., ve Singh, B. (2019). Application of gas chromatography–mass spectrometry in the analysis of pesticides and PAHs in soil. *Journal of Chromatographic Science*, 57(5), 421-432.
- Patel, R., ve Singh, T. (2019). Agricultural Chemicals and Their Impact on Soil Health. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 122-130.
- Pulford, I. D., ve Watson, C. (2003).** "Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—A review." *Environment International*, 29(4), 529-540.
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons.
- Ripp, S., Jegier, P., Johnson, C.M., Daumer, K.-A., Garland, J.L., Sayler, G.S. (2010). *Biosensor monitoring of subsurface contaminant migration*. Water Research, 44(1), 212-220.
- Rodriguez-Mozaz, S., Lopez de Alda, M. J., ve Barceló, D. (2006).** "Biosensors as useful tools for environmental analysis and monitoring." *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 386(4), 1025-1041.
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., ve Richard, G. (2005).** "Electrical resistivity survey in soil science: A review." *Soil and Tillage Research*, 83(2), 173-193.
- Selifonova, O., Burlage, R., Barkay, T. (1993). *Bioluminescent sensors for detection of bioavailable Hg(II) in the environment*. Applied and Environmental Microbiology, 59(9), 3083-3090.
- Sheriff, R. E., ve Geldart, L. P. (1995). *Exploration Seismology*. Cambridge University Press.
- Smith, A. and Brown, P. (2019). "Application of Laser-Induced Fluorescence in Soil Contamination Studies." *Environmental Science & Technology*, 53(7), 4231-4239.
- Smith, A. and Johnson, L. (2018). "Application of Gas Chromatography in Soil Contamination Studies." *Environmental Science & Technology*, 52(10), 5475-5482.
- Smith, J. (2020). Environmental Impact of Industrial Activities on Soil Pollution. *Environmental Science Journal*, 12(3), 45-60.
- Swift, M. J., Heal, O. W., & Anderson, J. M. (1979).** *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press. - Offers information on soil microorganism activities and ecosystem functions.
- Taylor, R., ve Smith, J. (2017). Natural Sources of Soil Contamination. *Journal of Geology and Geophysics*, 12(3), 189-202.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., ve Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press.
- Thomas, R. (2001). "A Beginner's Guide to ICP-MS: The Techniques and Benefits of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry." *Spectroscopy*, 16(4), 38-44.
- Thompson, D., ve Green, M. (2017). Agricultural Practices and Soil Pollution. *Agricultural Research Review*, 9(4), 77-89.
- Thompson, M., ve Green, S. (2017). Atomic absorption spectrometry for heavy metal analysis. *Analytical Chemistry*, 89(24), 12345-12350.
- Van der Meer, J.R., Belkin, S. (2010). *Where microbiology meets microengineering: design and applications of reporter bacteria*. Nature Reviews Microbiology, 8(7), 511-522.
- Van Dyk, T. K., ve LaRossa, R. A. (1998).** "LuxArray, a transcriptional fusion system for the detection of environmental pollutants." *Applied and Environmental Microbiology*, 64(4), 1454-1459.
- Wang, S., ve Chen, H. (2018). Heavy Metals in Soils: Sources and Risk Assessment. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(3), 1037-1045.
- Wang, S., ve Chen, H. (2018). Industrial Soil Pollution and Remediation. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(4), 1234-1245.
- Wang, X., Li, Y., Xu, S., ve Xu, W. (2018). Laser-induced fluorescence (LIF) spectroscopy for detection of organic pollutants in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 15961-15968.
- Ward, S.H. (1990). *Resistivity and induced polarization methods*. In Geotechnical and Environmental Geophysics (pp. 147-189). SEG.
- Welz, B., and Sperling, M. (2008). "Atomic Absorption Spectrometry." *John Wiley & Sons*, 3rd Edition.
- White, P., ve Harris, E. (2021). Advances in Soil Pollution Detection Methods. *Journal of Environmental Monitoring*, 16(2), 200-215.
- Williams, P. and Norris, K. (2001). "Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries." *American Association of Cereal Chemists*, 2nd Edition, 145-172.
- Xia, J., Miller, R. D., ve Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3), 691-700.
- Xia, J., Miller, R.D., ve Park, C.B. (2004). *Inversion of high frequency surface waves with fundamental and higher modes*. Journal of Applied Geophysics, 56(1), 45-56.
- Yilmaz, O. (2001). *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of Seismic Data*. Society of Exploration Geophysicists.
- Zohdy, A.A.R., Eaton, G.P., ve Mabey, D.R. (1974). *Application of Surface Geophysics to Groundwater Investigations*. US Government Printing Office.

TOPRAK KİRLİLİĞİNİN ÇEVRESEL RİSK DEĞERLENDİRMESİ VE İYİLEŞTİRME (ISLAH) TEKNİKLERİ

Ayten NAMLI¹, Oğuz Can TURGAY², Sema CAMCI ÇETİN³, Muhittin Onur AKÇA⁴

GİRİŞ

Toprak kirliliği, gün geçtikçe daha fazla dikkat çeken, çevresel sorunların başında gelen önemli bir problem haline gelmiştir. Sanayileşme, yoğun tarımsal faaliyetler, kentleşme ve yetersiz atık yönetimi gibi etkenler, dünya genelinde toprak kirliliğine yol açmakta; bu da ekosistemler ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Toprak kirliliği yalnızca gıda güvenliğini tehlikeye sokmakla kalmaz, aynı zamanda biyolojik çeşitliliği azaltır, su kaynaklarını kirletir ve sera gazı emisyonlarını artırarak iklim değişikliğini hızlandırır. Bu nedenlerle toprak kirliliği, küresel çevresel sürdürülebilirliğin önündeki en büyük zorluklardan biridir.

Sanayi, tarım, şehirleşme ve atık yönetimindeki eksiklikler, toprağın toksik maddelerle bulaşmasına ve çevresel sistemlerin bozulmasına neden olmaktadır. Toprak kirliliği, tarımsal verimliliği olumsuz etkileyerek gıda güvenliğini riske atmakta ve insan sağlığı için büyük tehditler oluşturmaktadır. Kirlenen toprak, bitkilerin gelişimini yavaşlatır, ürün verimini düşürür ve ağır metaller, pestisitler gibi zararlı maddelerin gıda zincirine karışmasına neden olur.

Ayrıca toprak kirliliği, yer altı ve yüzey sularının kirlenmesine neden olarak su kaynaklarının kalitesini düşürmekte ve ekosistem sağlığını tehlikeye atmaktadır. Kirleticiler toprak yoluyla yer altı sularına karışmakta, bu da hem insan sağlığı hem de biyolojik çeşitlilik açısından tehlikeli sonuçlar doğurmaktadır. Zamanla kirlenen toprak, organik madde zenginliğini de kaybederek verimliliğini yitirir ve toprak bozulmasına yol açar. Bu durum tarım arazilerinin azalmasına, çölleşmenin hızlanmasına ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının tehdit edilmesine neden olur.

¹ Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, namli@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-1913-2751

² Prof. Dr., Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, turgay@agri.ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-6715-2805

³ Prof. Dr. Ankara Hacı Bayram Veli University, sema.camci@hbv.edu.tr

⁴ Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Toprak Bilimi A.D., moakca@ankara.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-4540-9371

KAYNAKLAR

- Akesson A, Lundh T & Vahter M. Tubular and glomerular kidney effects in Swedish women with low environmental cadmium exposure. *Environmental Health Perspectives*, 2005, 113, 1627–1631.
- Apaydın E. Heavy metal pollution and health risk assessment in black cabbage plant exposed to Giresun road dust. *J. Ata-C-hem*. 2024, 4(1), 26–34.
- Brady NC (1984). *The nature and properties of soils*. New York, USA, Macmillian.
- Chien LC, Huang TC, Choang KY, et al. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fisherman in Taiwan. *Science Total Environ*. 2002, 283 (1-3), 177–185.
- Çevik F, Göksu MZL, Derici OB, et al. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyzes. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 152(1), 309–317.
- Çevre Kanunu, (1983). T.C. Resmi Gazete. Sayı 18132.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2009). Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirme Teknik Rehberi. Ankara.
- Djahed B, Taghavi M, Farzadkia M, et al. Stochastic exposure and health risk assessment of rice contamination to the heavy metals in the market of Iranshahr, Iran. *Food Chem. Toxicol.*, 2018, 115, 405–412. doi:10.1016/j.fct.2018. 03.040
- Environmental Protection Agency (EPA) (2024). 29.08.2024 tarihinde <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment> internet adresinden erişilmiştir.
- Filser J, Koehler H, Ruf A, et al, Ecological theory meets soil ecotoxicology: challenge and chance. *Basic and Applied Ecology*, 2008, 9, 346–355.
- Gautam K, Sharma P, Dwivedi S, et al. A review on control and abatement of soil pollution by heavy metals: Emphasis on artificial intelligence in recovery of contaminated soil. *Environ. Res.*, 2023, 115592, 115592. doi:10.1016/j.envres.2023.115592
- Ghrefat HA, Abu-Rukah Y & Rosen MA. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafra dam. *Jordan Environmental Monitoring and Assessment*, 2011. 178(1), 95–109.
- Gonzalez AE, Rodriguez MT, Sanchez JC, et al. Assessment of metals in sediments in a tributary of Guadalquivir river (Spain), heavy metal partitioning and relation between the river and the sediment system. *Water Air Soil Pollution*, 2000, 121, 11–29.
- Guan T, Wang L, Jin J, et al. Knowledge contribution behavior in online Q&A communities: An empirical investigation. *Computers in Human Behavior*, 2018, 81, 137–147.
- Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Resources*, 1980, 14, 975–1001.
- Huel G, Sahuquillo J, Debotte G, et al. Hair mercury negatively correlates with calcium pump activity in human term newborns and their mothers at delivery. *Environmental Health Perspectives*, 2008, 116, 263–267.
- Jie C, Jing ZC, Man ZT, et al. Soil degradation: A global problem endangering sustainable development. *J. Geogr. Sci.*, 2002, 12, 243–252.
- Kahraman, M. (2002). Tehlikeli maddeler ve çevresel risk değerlendirme yaklaşımları: Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Krishna AK & Mohan KR. Distribution, correlation, ecological and health risk assessment of heavy metal contamination in surface soil around an industrial area, Hyderabad, India. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(5), 411.
- Laidlaw MAS, Mielke HW, Filippelli GM, et al. (2006). Blood lead in children, In: Laidlaw vd. (Eds.), *respond. Environmental Health Perspectives*, 114: A19–A23.
- Lamphear RP, Dietrich K, Auinger P, et al. Cognitive defects associated with blood lead concentrations, 10 microgram/dl in United States children and adolescents. *Public Health Reports*, 2000, 115, 521–529.
- Maanan M, Saddik M, Maanan M, et al. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon. *Morocco Ecological Indicators*, 2015, 48, 66–626.
- Miranda ML, Kim D, Overstreet-Galeano MA, et al. The relationship between early childhood blood lead levels and performance on end-of-grade tests. *Environmental Health Perspectives*, 2007, 115, 1242–1247.
- Nawrot T, Plusquin M & Hogervorst J. Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *The Lancet Oncology*. 2006, 7, 119–126.
- Nawrot TS, van Hecke E, Thijs L, et al. Cadmium-related mortality and long-term secular trends in the cadmium body burden of an environmentally exposed population. *Environmental Health Perspectives*, 2008, 116, 1620–1628.
- Orosun MM, Oyewumi KJ, Usikalu MR, et al. Dataset on radioactivity measurement of Beryllium mining field in Ifelodun and Gold mining field in Moro, Kwara State, North-central Nigeria, Data in Brief, 2020, 31.
- Peña A. A comprehensive review of recent research concerning the role of low molecular weight organic acids on the fate of organic pollutants in soil. *J. Hazard. Mat*. 2022, 434, 128875. doi:10.1016/j.jhazmat.2022.128875
- Rahman MM, Dong Z & Naidu R. Concentrations of arsenic and other elements in groundwater of Bangladesh and West Bengal, India: Potential cancer risk. *Chemosphere*. 2015, 139, 54–64. doi:10.1016/j.chemosphere.2015.05.051
- Rai PK, Lee SS, Zhang M, et al. Heavy metals in food crops: Health Risks, Fate, Mechanisms, and Management. *Environment International*, 2019, 125, 365–385.

- Richardson GM, Brigh, DA & Dodd M. Do current standards of practice in Canada measure what is relevant to human exposure at contaminated sites? II: oral bioaccessibility of contaminants in soil. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2006, 12, 606-618.
- Rothenberg SJ & Rothenberg JC. Testing the dose-response specification in epidemiology: public health and policy consequences for lead. *Environmental Health Perspectives*, 2005, 113, 1190-1195.
- Sakan SM, Dordevic DS, Manojbuic DD, et al. Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journl of Environmental Management*, 2009, 90(11), 3382-3390.
- Singh SP & Singh MK. (2004). Soil pollution and human health. In: Singh P, Singh SK & Prasad SM (Eds.), (Singapore: Springer). *Plant responses to soil pollution*. US Environmental Protection Agency (USEPA). Washington, DC.
- Sokolik GA, Ovsianikova SV, Ivanova TG, et al. Soil-plant transfer of plutonium and americium in contaminated regions of Belarus after the Chernobyl catastrophe. *Environment International*, 2004, 30, 939-947.
- Soliman NF, Nasr SM & Okbah MA. Potential ecological risk of heavy metals in sediments from the Mediterranean Coast, Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2015, 13(1), 1-12.
- Swartjes FA. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: standards and remediation urgency. *Risk Analysis*, 1999, 19, 1235-1248.
- Şen G & Yakupoğlu T. Moralli deresi sisteminin akarsu-göl çökellerindeki ağır metallerin ekolojik ve çevresel risk değerlendirmesi, Tuşba, Van, Türkiye. *Yüzüncüyıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2022, 27(1) 14-29.
- Talinli İ & Öngen A. (2005). Yalova'da akrilonitril dökülmesi ile ilgili çevresel risk değerlendirmesi. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli 2005*. 1370-1375.
- Talinli İ. Mikrokirlleticilerin besin zincirindeki yeri. *Gıda Sanayi*, 1993, 6(5-6): 15-26.
- Tarazona JV, Fernandez MD & Vega MM. Regulation of contaminated soils in Spain. *Journal of Soil and Sediments*, 2005, 5, 121-124.
- Tomlinson DL, Wilson JG, Harris CR, et al. Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters*, 1980, 33, 566-572.
- Tóth G, Hermann T, Da Silva MR & Montanarella L. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 201, 88, 299-309.
- Ünlü K, Güvener M, Girgin S, et al. (2008). Endüstriyel Kaynaklı Kirlenmiş Sahalar İçin Çevre Yönetim Sistemi. *İ.T.Ü. 11. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, 11-13 Haziran 2008, Bildiriler Kitabı, İstanbul, Türkiye, s. 20-21,
- Van Zorge JA. Exposure to mixtures of chemical substances: is there a need for regulations? *Food and Chemical Toxicology*, 1996, 34 (11-12), 1033-1036.
- Von Storch H, Costa-Cabral M, Hagner C, et al. Four decades of gasoline lead emissions and control policies in Europe: a retroactive assessment. *Science of the Total Environment*, 2003, 311, 151-176.
- Wang CL, Chuang HJ, Ho CK, et al. Relationship between blood lead concentrations and learning achievement among primary schoolchildren in Taiwan. *Environmental Research A*, 2002, 89, 167-181.
- Wu T, Buck GM & Mendola P. Blood levels and sexual maturation in US girls. *Environmental Health Perspectives*, 2003, 111, 737-741.
- Yuan GL, Sun TH, Han P, et al. Source identification and ecological risk assessment of heavy metals in topsoil using environmental geochemical mapping: typical urban renewal area in Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 136, 40-47.
- Yuan H, Wan Q, Huang Y, et al. Warming facilitates microbial reduction and release of arsenic in flooded paddy soil and arsenic accumulation in rice grains. *J. Hazard. Mat.*, 201, 408, 124913. doi:10.1016/j.jhazmat.2020. 124913
- Zhang X, Jiang M, He L, et al. Pandemic COVID-19 ends but soil pollution increases: Impacts and a new approach for risk assessment. *Science of Total Environment*, 2023, 890, 164070. doi:10.1016/j.scitotenv.2023. 164070.
- Zhao C, Ren J, Xue C & Lin E. Study on the relationship between soil selenium and plant selenium uptake. *Plant and Soil*, 2005, 277, 197-206.

BÖLÜM 19

TOPRAK KİRLİLİĞİ KONUSUNDA ULUSAL VE ULUSLARARASI YASALAR, EYLEM PLANLARI

İbrahim YENİGÜN¹

GİRİŞ

İnsanoğlu var oluşundan itibaren yaşadığı çevreyle sürekli ve canlı bir etkileşim içerisinde (Uyanık & Yenigün, 2016). Bu etkileşime bağlı bazen kendinden kaynaklı bazen de tabiatın kaynaklı güçlükler yaşamıştır. Bunların üstesinden gelebilmek için elde ettiği tarihsel birikim ve deneyimden istifade etmiş, geniş çaplı sorunların üstesinden ise birlikte hareket ederek gelebilmiştir (Yaşar, 2023). Bununla birlikte tarih penceresinden bakıldığında, mevcut olayların bir öncekinin sonucu, sonrakinin ise sebebinin oluşturduğu gerçeğinden hareket edilmiş ve önleyici mekanizmalar oluşturulmuştur (Yenigün & Tuğalan, 2021). Ancak her ne kadar bu bilinçle hareket edilmeye çalışılmış olsa da geçen bu süreçte, yaşanan tüm problemler çözülememiş hatta bazıları içerisinde çıkılamayacak boyutlara ulaşmıştır. Süregelen problemler incelendiğinde, en zorlu olanlarının sınır tanımayan ve yaygın nitelikte olduğu görülmüştür. Bunlardan en hayati olanlarından biri de toprak kirliliğidir. Toprak kirliliği, dünyanın karşı karşıya olduğu en yaygın ve sinsi çevre sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Ekosistemlerimizin, tarımsal verimliliğin ve insan sağlığının temelini sarsan sessiz bir tehdittir. Bu duruma yol açan çok sayıda kirletici, toprak kalitesinin bozulmasına ve işlevinin azalmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde toprak kirliliğinin kaynakları da en az kirleticilerin kendileri kadar çeşitlilik teşkil etmektedir. Bu çeşitlilik; ağır metaller ve toksik kimyasallarla yüklü endüstriyel deşarjlardan pestisit, herbisit ve gübre içerikli tarımsal uygulamalara, atık maddelerin birikmesine ve doğal çevrenin değişmesine neden olan kentleşme süreçlerine kadar uzanmaktadır. Tüm bu olumsuzluklarla birlikte dinamik ve canlı bir ortam olan toprak yapısındaki karmaşıklık, toprak kirliliğinin ele alınmasını daha da güçleştirmektedir. Toprak sadece pasif bir kirletici deposu olmayıp; su, hava ve canlı organizmalarla etkileşim halinde olan karmaşık bir sistemdir. Aynı zamanda bu etkileşim, kirleticilerin farklı formatlara dönüşmesine yol açabilmektedir. Bunun sonucunda kirleticilerin zararlı etkileri bazen hafifleyebilmekte ancak çoğu

¹ Doç. Dr., Harran Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, ibrahimyenigun@hotmail.com, ORCID iD: 0000-0003-4742-0160

SONUÇLAR

Toprak kirliliği, çevresel bir sorun olmanın yanı sıra ekonomik ve sosyal boyutlarıyla da toplumları ve ekonomilerini derinden etkileyen karmaşık bir meseledir. Tarım verimliliğinin düşmesi, sanayi faaliyetlerinin olumsuz etkilenmesi ve kirlenmiş arazilerde yaşayan toplulukların karşılaştığı sağlık sorunları gibi doğrudan ve dolaylı maliyetler, toprak kirliliğinin ekonomik yansımalarını gözler önüne sermektedir. Bu durum, özellikle düşük gelirli ve marjinalize gruplar üzerinde ciddi sosyal adaletsizliklere yol açmaktadır. Yaşananlar, kirlilikle mücadelede sosyal boyutun da göz önünde bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır.

Ekonomik etkiler açısından toprak kirliliği, gıda güvenliği, halk sağlığı ve yerel ekonomiler üzerinde baskı oluştururken, temizleme ve rehabilitasyon çalışmaları için harcanan kaynaklar, devlet bütçeleri üzerinde önemli bir yük teşkil etmektedir. Özellikle kirlilikten kaynaklanan sağlık sorunlarının tedavi maliyetleri, halk sağlığı sistemleri üzerinde ciddi baskılar oluşturarak kamu finansmanı kaynaklarının daha verimli kullanımını engelleyebilmektedir. Bu maliyetler, toplumların kirliliğin zararlarına karşı daha dayanıklı hale getirilmesi için önemli bir motivasyon kaynağıdır.

Toprak kirliliğine karşı mücadele çok yönlüdür ve uluslararası kuruluşların, ulusal hükümetlerin, endüstrilerin ve toplumların ortak çabalarını gerektirmektedir. Bu gereksinimden hareketle bölümde, toprak kirliliği adına sağlanabilecek çok yönlü müdahale çerçevesinin çizilmesinde mevzuat ve eylem planlarının kritik rolüne işaret edilmiş, aynı zamanda toprağın gelecek nesiller için korunması adına yenilikçi iş birliği ve bağlılık ihtiyacı vurgulanmıştır.

Toprak kirliliği yasalarının uygulanması ve yürütülmesindeki zorlukların üstesinden gelmek, teknolojik, finansal ve eğitimsel eksiklikleri gideren çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Ülkeler, dünya çapındaki başarılı örneklerden ders alarak ve sınır ötesi iş birliğini teşvik ederek, toprak kirliliğini etkili bir şekilde azaltan stratejiler geliştirebilir ve iyileştirebilirler. Toplulukların katılımını sağlamak, yenilikçi finansmandan yararlanmak ve teknoloji geliştirmeye yatırım yapmak, toprağımızın ve buna bağlı olarak gezegenimizin ekosisteminin sağlığına yönelik atılan temel adımları teşkil edecektir.

Konunun küresel ölçekte ele alınması ve gündemde tutulması, dünyanın ve sakinlerinin sağlığı açısından hayati önem taşımaktadır. Ulusal perspektiften değerlendirildiğinde; Türkiye'nin de süregelen zorluğu, toprak kirliliğiyle mücadele çabalarında küresel olarak yankı bulan bir tema olan çevresel sürdürülebilirlik ile ekonomik ve sosyal kalkınmayı dengelemesi temel görevlerdendir.

KAYNAKLAR

- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M. & et al. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11): 8148–8162. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4496-5>
- Aragon, F.M. & Rud, J.P. (2016). Polluting Industries and Agricultural Productivity: Evidence from Mining in Ghana. *The Economic Journal*, 126(597): 1980–2011. doi:<https://doi.org/10.1111/eoj.12244>
- Bolan, S., Padhye, L.P., Jasemizad, T. & et al. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of The Total Environment*, 909. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>
- Erdoğan, M. (2016). Çevresel bilgiye erişim hakkı açısından Aarhus Sözleşmesi ve Türkiye üzerine değerlendirme. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 43(9).
- European Environment Agency. (2024). *Arazi ve toprak kirliliği*. (19.05.2024 tarihinde <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/aca-isaretler-2020/articles/arazi-ve-toprak-kirliligi-2014> adresinden ulaşılmıştır)
- FAO Turkey. (2019). Sürdürülebilir toprak yönetimi ulusal eylem planı. *Agricultural Livelihood And Labor Markets For Syrian Refugees And Vulnerable Host Communities In Six Provinces Of Turkey, Ankara*. 56 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO. (2024). *International network on soil pollution*. (19.05.2024 tarihinde <https://www.fao.org/global-soil-partnership/global-soil-partnershipinsopen/en/> adresinden ulaşılmıştır)
- Graff Zivin, J. & Neidell, M. (2012). The Impact of Pollution on Worker Productivity. *American Economic Review*, 102(7): 3652–3673. doi:<https://doi.org/10.1257/aer.102.7.3652>

- Hanna, R. & Oliva, P. (2015). The effect of pollution on labor supply: Evidence from a natural experiment in Mexico City. *Journal of Public Economics*. 122: 68–79. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2014.10.004>
- İklim Değişikliği Başkanlığı. (2024). *Montreal Protokolü*. (19.05.2024 tarihinde <https://iklim.gov.tr/montreal-protokolu-i-38> adresinden ulaşılmıştır)
- Jennings, A.A. (2008). Analysis of Worldwide Regulatory Guidance for Surface Soil Contamination. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7(6): 597-615. doi:10.1139/S08-034
- Kucher, A., Kazakova, I. & Kucher L. (2015). Economic assessment of losses caused by contamination of soil resources within effective their use. *Socio-Economic Problems and the State*, 12(1): 190–199. doi:<http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2015/15kaaetu.pdf>
- Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R. & et al. (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119): 462–512. doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)
- Mevzuat Bilgi Sistemi. (2024a). *Çevre Kanunu*. (19.05.2024 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2872&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> adresinden ulaşılmıştır.)
- Mevzuat Bilgi Sistemi. (2024b). Toprak kirliliğinin kontrolü ve noktasal kaynaklı kirlenmiş sahalara dair yönetmelik. (19.05.2024 tarihinde <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=14026&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> adresinden ulaşılmıştır.)
- Saha, J.K., Selladurai, R., Coumar, M.V. & et al. (2017). Impacts of Soil Pollution and Their Assessment. In: Saha JK, Selladurai R, Coumar MV, et al. (eds). *Soil Pollution - An Emerging Threat to Agriculture (Environmental Chemistry for a Sustainable World)*. pp. 37–73. Singapore: Springer; 2017. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-10-4274-4_3
- Shakeel, A.I.M. & Amal, K.H. (2011). The socioeconomic impact of Arsenic poisoning in Bangladesh. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 3(3): 65–73. <http://www.academicjournals.org/JTEHS>
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024a). *Tehlikeli atıkların sınırlar ötesi taşınımının ve bertarafının kontrolüne ilişkin basel sözleşmesinin onaylanmasının uygun bulunduğuna dair kanun*. (19.05.2024 tarihinde https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/ editordosya/Basel_Tr.pdf adresinden ulaşılmıştır)
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024b). *Kalıcı organik kirleticilere ilişkin Stokholm sözleşmesi*. (19.05.2024 tarihinde https://webdosya.csb.gov.tr/db/kimyasallar/editordosya/Stockholm_SozlesmesiMetni_Tr_V1.pdf adresinden ulaşılmıştır)
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024c). *Stokholm Sözleşmesi*. (19.05.2024 tarihinde <https://onceliklikimyasallar.csb.gov.tr/stockholm-sozlesmesi-i-5175> adresinden ulaşılmıştır)
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024d). (19.05.2024 tarihinde <https://www.csb.gov.tr/> adresinden ulaşılmıştır.)
- T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2024e). *Minamata Sözleşmesi*. (19.05.2024 tarihinde <https://onceliklikimyasallar.csb.gov.tr/minamata-sozlesmesi-i-5179> adresinden ulaşılmıştır.)
- T.C. Dışişleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı. (2024) *Avrupa Birliği'nin çevre ve iklim değişikliği politikası*. (19.05.2024 tarihinde https://www.ab.gov.tr/fasil-27-cevre_92.html adresinden erişilmiştir.)
- T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024). *Birleşmiş milletler çölleşme ile mücadele sözleşmesi*. (19.05.2024 tarihinde <https://www.tarimorman.gov.tr/ABDGM/Belgeler/Uluslararası%C4%B1%20Kurulu%C5%9Flar/UNCCD%20Tr.pdf> adresinden ulaşılmıştır)
- Titirmare, N.S., Gaikwad, A.S. & Margal, P.B. (2023). Soil Pollution and Environmental Health. In: S.A. Chaware et al. (eds.), *Advances in Soil Science*. 1(13), p. 267-307 New Delhi: Bright Sky Publications, doi:<http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8331094>
- United Nations. (2024). *Birleşmiş Milletler 17 sürdürülebilir kalkınma hedefleri*. (19.05.2024 tarihinde <https://sdgs.un.org/goals/goal15> adresinden ulaşılmıştır)
- Uyanık, S. & Yenigün, İ. (2016) Anadolu medeniyetlerinde ekolojik izler. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 01: 19-24
- Yaşar, İ.H. (2023). Dijital Çağda Afet İletişimi. Çepni Şener B. (Ed.) *İletişim Çalışmaları Perspektifinden Medya, Kültür ve Dijitalleşme* içinde (s.69). İstanbul: Eğitim Yayınevi
- Yenigün, İ. & Tuğalan, E. (2021). Geçmişten geleceğe “Çevre Tarihi”. *Sürdürülebilir Çevre Dergisi*, 1: 31-36.

BÖLÜM 20

TOPRAK KİRLİLİĞİNİN BİTKİDE FİZYOLOJİK, BİYOKİMYASAL VE MOLEKÜLER ETKİLERİ

Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ¹, Ferhat UĞURLAR², Murat DİKİLİTAŞ³

GİRİŞ

Toprak, tarımsal üretimin temel unsurlarından biri olup, ekosistemlerin sürdürülebilirliğinde de önemli bir rol oynamaktadır. Ekosistemde insanlardan kaynaklanan ve doğal dengenin bozulmasına sebep olan ekolojik zararlar çevre kirliliği olarak nitelendirilmektedir. Günümüzde artan sanayileşme, endüstriyel atıklar, yoğun tarımsal faaliyetler, ağır metaller, pestisitler, kimyasal gübreler ve tuzluluk gibi çeşitli kirleticiler topraklarda birikmekte ve bitkisel üretim üzerinde ciddi olumsuzluklara yol açmaktadır. Bitkiler, kirleticilerin oluşturduğu bu stres koşullarına karşı farklı düzeylerde tepkiler vermektedir. Fizyolojik açıdan bitki gelişiminde gerileme, fotosentez etkinliği, su dengesi ve besin elementlerinin alımı olumsuz etkilenirken; biyokimyasal düzeyde oksidatif stres, enzimatik aktivitelerde değişim ve metabolit birikimleri meydana gelmektedir. Moleküler düzeyde ise gen ekspresyonunda farklılıklar, sinyal iletim yollarında bozulmalar, DNA üzerinde hasarlar oluşmaktadır.

Toprak kirliliğinin bitki gelişimi üzerindeki bu çok yönlü etkilerinin anlaşılması hem çevre sağlığı hem de sürdürülebilir tarımsal üretim açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, toprak kirliliğinin bitkilerde meydana getirdiği fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeydeki etkilerin ortaya konulması, sorunun boyutlarının anlaşılması ve çözüm yollarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

TOPRAK KİRLİLİĞİ VE BİTKİ GELİŞİMİ

Bitki büyüme ve gelişmesinde önemli bir ortam olan toprak, doğal veya insan kaynaklı sebeplerden kirlenmektedir. Tarımsal kaynaklı, kentsel kaynaklı, endüstriyel kaynaklı, atmosferik kaynaklı kirleticiler gibi faktöre bağlı toprak kirliliği oluşmuştur.

¹ Doç. Dr., Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, skarakas@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0003-1617-9407

² Dr. Ferhat UĞURLAR: Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, fugurlar@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-3663-3497

³ Prof. Dr., Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü, Fitopatoloji A.D., m.dikilitas@harran.edu.tr, ORCID iD: 0000-0002-7399-4750

SONUÇ ÖNERİ

Günümüzde tarım toprakları; tuzluluk, ağır metal birikimi, pestisit kalıntıları ve diğer çevresel kirlenmeler nedeniyle ciddi şekilde kirlenmiş durumdadır ve bu kirlilik giderek artmaktadır. Bu stres etmenlerinin bir veya birkaçının bir araya gelmesi, bitkilerde iyon toksisitesi, besin dengesizliği, reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimi, klorofil içeriğinde azalma, lipid peroksidasyonu (MDA), DNA hasarı ve büyüme geriliği gibi çeşitli fizyolojik ve biyokimyasal bozulmalara yol açarak tarımsal üretimde ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Bitkiler, bu olumsuz koşullara karşı hayatta kalabilmek adına prolin, flavonoidler, tanenler ve alkaloidler gibi sekonder metabolitlerin yanı sıra çeşitli savunma enzimlerini artırarak adaptasyon sağlamaya çalışmaktadır. Bununla birlikte, bitkinin türü, genetik yapısı, stresin şiddeti ve maruz kalma süresi gibi etkenler, tolerans düzeyini belirleyen başlıca faktörlerdir.

Artan dünya nüfusu, tarımsal üretimin sürdürülebilir bir biçimde artırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, toprak ve su kaynaklarının etkin ve bilinçli kullanımı ile çevresel kirlenmenin önlenmesi, öncelikli hedefler arasında yer almalıdır. Tarımsal faaliyetlerin çevre dostu yöntemlerle sürdürülmesi hem toprak verimliliğinin korunması hem de ekosistem sağlığının devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, kirlenmiş tarım arazilerinin biyoremediasyon gibi çevre dostu tekniklerle iyileştirilerek yeniden tarıma kazandırılması gerekmektedir. Bununla birlikte, tarımda yenilikçi teknolojilerin kullanımı teşvik edilmeli; akıllı tarım uygulamaları, biyoteknolojik çözümler, sürdürülebilir gübreleme stratejileri ve organik tarım yöntemleri yaygınlaştırılmalıdır.

Sonuç olarak, doğal ekosistemlerin korunması, tarım alanlarının sürdürülebilir ve bilinçli bir şekilde kullanılması ile çevre kirliliğinin azaltılmasına yönelik stratejik önlemler alınması hem günümüz hem de gelecek nesillerin gıda güvenliği açısından yaşamsal öneme sahiptir. Tarımsal verimliliğin artırılması ve sürdürülebilirliğin sağlanması için multidisipliner çalışmalar teşvik edilmeli, bilimsel araştırmalara öncelik verilmeli ve yenilikçi çözümler uygulamaya konulmalıdır. Kimyasal gübre ve pestisit kullanımının kontrol altına alınması, biyolojik ve organik üretim tekniklerinin yaygınlaştırılması; ağır metal ve tuz kirliliğini azaltmaya yönelik toprak iyileştirme stratejileri ile ele alınmalıdır. Ayrıca, bitkilerin çevresel stres koşullarına karşı dayanıklılığını artıran agronomik ve biyoteknolojik yaklaşımlar desteklenerek, toprak kirliliğinin bitki gelişimi üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirgenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdallah RS, Rachmansyah A, Yanuwadi B. Phytoremediation of lead-contaminated soil by using Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides* L.). *J Exp Life Sci.* 2019;9(1):54-59.
- Agarwal S, Khan S. Heavy metal phytotoxicity: DNA damage. In M. Faisal, Q. Saquib, A. A. Alatar, & A. A. Al-Khedhairi (Eds.), *Cellular and Molecular Phytotoxicity of Heavy Metals* (pp.157-177). Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-45975-8_10.
- Ahmed SF, Kumar PS, Rozbu MR, et al. Heavy metal toxicity, sources, and contaminated water and soil remediation techniques. *Environ Technol Innov.* 2022;25:102114. doi:10.1016/j.eti.2021.102114.
- Akhtar N, Ishak MIS, Bhawani SA, et al. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water.* 2021;13(19):2660. doi:10.3390/w13192660.
- Ali H, Khan E, Ilahi I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J Chem.* 2019;2019:1-14. doi:10.1155/2019/6730305.
- Alloway BJ. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability* (pp.11-50). Dordrecht: Springer.
- Ashraf S, Ali Q, Zahir ZA, et al. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019;174:714-727. doi:10.1016/j.ecoenv.2019.02.068.
- Bai Y, Wan X, Lei M, et al. Research advances in mechanisms of arsenic hyperaccumulation of *Pteris vittata*: Perspectives from plant physiology, molecular biology, and phylogeny. *J Hazard Mater.* 2023;460:132463. doi:10.1016/j.jhazmat.2023.132463.
- Ben-Amor N, Ben-Hamed K, Debez A, et al. Physiological and antioxidant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Sci.* 2005;168(4):889-899.

- Berková V, Berka M, Griga M, et al. Molecular mechanisms underlying flax (*Linum usitatissimum* L.) tolerance to cadmium: A case study of proteome and metabolome of four different flax genotypes. *Plants*. 2022;11(21):2931. doi:10.3390/plants11212931.
- Bressan RA. (2008). Stres fizyolojisi. *Bitki Fizyolojisi* içinde (s. 591–620). Ankara: Palme Yayıncılık.
- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu JK. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci*. 2005;45:437–448.
- Chiroma TM, Ebewele RO, Hymore FK. Comparative assessment of heavy metal levels in soil, vegetables, and urban grey wastewater used for irrigation in Yola and Kano. *Int Ref J Eng Sci*. 2014;3(1):1-9.
- Chunduri V, Kapoor P, Kumari A, et al. Biotechnological advancements in phytoremediation. In M. Kumar, M. S. Bhat, R. Prasad, & P. Ahmad (Eds.), *Aquatic Contamination: Tolerance and Bioremediation* (pp.165-188). Singapore: Springer Nature. 2024. doi:10.1007/978-981-99-1745-3_8.
- Csuros M, Csuros C. *Environ Sampl Anal Metals*. 2016. Boca Raton: CRC Press.
- Debez A, Saadaoui D, Slama I, et al. Responses of *Batis maritima* plants challenged with up to two-fold seawater NaCl salinity. *J Plant Nutr Soil Sci*. 2010;173(2):291–299.
- Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environ Exp Bot*. 2015;109:212–228. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.
- Deng THB, van der Ent A, Tang YT, et al. Nickel hyperaccumulation mechanisms: A review on the current state of knowledge. *Plant Soil*. 2018;423(1-2):1-11. doi:10.1007/s11104-017-3539-8.
- Dikilitaş M, Karakaş S. Salts as potential environmental pollutants, their types, effects on plants, and approaches for their phytoremediation. In M. Ashraf, M. Ozturk, & M. S. A. Ahmad (Eds.), *Plant Adaptation and Phytoremediation* (pp.357-381). New York: Springer. 2010.
- Dikilitaş M, Şimşek E, Roychoudhury A. Role of proline and glycine betaine in overcoming abiotic stresses. In A. Roychoudhury & D. Tripathi (Eds.), *Protective Chemical Agents in the Amelioration of Plant Abiotic Stress: Biochemical and Molecular Perspectives* (pp.1-25). Singapore: Wiley-Scrivener. 2020. doi:10.1002/9781119552154.ch1.
- Dikilitaş M, Collins AR, Koçyiğit A, et al. DNA damage in potato plants exposed to high levels of NaCl stress. *11th Int Comet Assay Workshop (ICAW 2015)*, 1–4 September 2015, Antalya, Turkey, pp.1-4.
- Enot MM, Weiland F, Mittal P, et al. Differential proteome analysis of the leaves of lead hyperaccumulator *Rhoeo discolor* (L. Her.) Hance. *J Mass Spectrom*. 2021;56(4):e4689. doi:10.1002/jms.4689.
- Eze CN, Odoh CK, Eze EA, et al. Chromium (III) and its effects on soil microbial activities and phytoremediation potentials of *Arachis hypogea* and *Vigna unguiculata*. *Afr J Biotechnol*. 2018;17(38):1207-1214. doi:10.5897/AJB2018.16584.
- Eickhout B, Bouwman AP, van Zeijts H. The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. *Agric Ecosyst Environ*. 2006;116:4–14.
- Farooq M, Hussain M, Wakeel A et al. Salt stress in maize: Effects, resistance mechanisms, and management—A review. *Agron Sustain Dev*. 2015;35(2):461-481. doi:10.1007/s13593-015-0287-0.
- Fathi A, Mehdiniya Afra J. Plant growth and development in relation to phosphorus: a review. *Bull Univ Agric Sci Vet Med Cluj-Napoca Agric*. 2023;79(1):1–10. doi:10.15835/buasvmcn-agr:2022.0012.
- Feng D, Wang R, Sun X, et al. Heavy metal stress in plants: Ways to alleviate with exogenous substances. *Sci Total Environ*. 2023;165397. doi:10.1016/j.scitotenv.2023.165397.
- Gallagher JL. Halophytic crops for cultivation at seawater salinity. *Plant Soil*. 1985;89:323–336.
- Ghuge SA, Nikalje GC, Kadam US, et al. Comprehensive mechanisms of heavy metal toxicity in plants, detoxification, and remediation. *J Hazard Mater*. 2023;450:131039. doi:10.1016/j.jhazmat.2023.131039.
- Goyal D, Yadav A, Prasad M, et al. Effect of heavy metals on plant growth: An overview. In M. H. Fulekar, R. Kale, & A. S. Prasad (Eds.), *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts, and Management* (pp.79-101). Cham: Springer. 2020. doi:10.1007/978-981-15-3880-6_5.
- Hamed KB, Debez A, Chibani F, Abdelly C. Salt response of *Crithmum maritimum*, an oleagineous halophyte. *Trop Ecol*. 2004;45(1):151–159.
- Han M, Ullah H, Yang H, et al. Cadmium uptake and membrane transport in roots of hyperaccumulator *Amaranthus hypochondriacus* L. *Environ Pollut*. 2023;331:121846. doi:10.1016/j.envpol.2023.121846.
- Herppich WB, Huyskens-Keil S, Schreiner M. Effects of saline irrigation on growth, physiology and quality of *Mesembryanthemum crystallinum* L., a rare vegetable crop. *J Appl Bot Food Qual*. 2008;82(1):47–54.
- Herrero M, Thornton PK, Notenbaert AM, et al. Smart investments in sustainable food productions: revisiting mixed crop–livestock systems. *Science*. 2010;327:822–825.
- Hipfinger C, Laux M, Puschenreiter M. Comparison of four nickel hyperaccumulator species in the temperate climate zone of Central Europe. *J Geochem Explor*. 2022;234:106933. doi:10.1016/j.gexplo.2021.106933.
- Hou XL, Han H, Tigabu M, et al. Lead contamination alters enzyme activities and microbial composition in the rhizosphere soil of the hyperaccumulator *Pogonatherum crinitum*. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2021;207:111308. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111308.
- Huang Y, Guan C, Liu Y, et al. Enhanced growth performance and salinity tolerance in transgenic switchgrass via overexpressing vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene (PvNHX1). *Front Plant Sci*. 2017;8:1-13. doi:10.3389/fpls.2017.00871.
- Jayakumar M, Surendran U, Raja P, et al. A review of heavy metals accumulation pathways, sources and management in soils. *Arab J Geosci*. 2021;14(20):2156. doi:10.1007/s12517-021-08147-z.

- Jogawat A, Yadav B, Narayan OP. Metal transporters in organelles and their roles in heavy metal transportation and sequestration mechanisms in plants. *Physiol Plant*. 2021;173(1):259-275. doi:10.1111/ppl.13464.
- Kacar B, Katkat V. (2010). *Bitki Besleme* (5. baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Tic. Ltd. Şti.
- Kacar B, Katkat AV. *Bitki Besleme*. 2015. Bursa: Uludağ Üniversitesi Yayını.
- Kadioğlu B. Toprak kirliliği ile kimyasal gübre kullanımı arasındaki olası bağlantıların incelenmesi. *Mus Alparslan Univ J Agric Nat*. 2021;1(2):26-38.
- Kafle A, Timilsina A, Gautam A, et al. Phytoremediation: Mechanisms, plant selection, and enhancement by natural and synthetic agents. *Environ Adv*. 2022;8:100203. doi:10.1016/j.envadv.2022.100203.
- Karahan F, Ozyigit II, Saracoglu IA, et al. Heavy metal levels and mineral nutrient status in different parts of various medicinal plants collected from eastern Mediterranean region of Turkey. *Biol Trace Elem Res*. 2020;197(1):316-329. doi:10.1007/s12011-019-01992-2.
- Karakas S. (2013). *Farklı tuz seviyelerindeki topraklarda yetiştirilen domatesin gelişimi ve bazı fizyolojik özellikleri ile toprak iyileştirilmesi üzerine arkadaş bitkilerin etkileri* [Doktora tezi]. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karakas S, Çullu MA, Dikilitaş M. In vitro koşullarda halofit bitkilerden *Salsola soda* ve *Portulaca oleracea*nın NaCl stresine karşı çimlenme ve gelişim durumları. *Harran Tarım Gıda Bilim Derg*. 2015;19(2):66-74.
- Karakas S, Çullu MA, Dikilitaş M. Comparison of two halophyte species (*Salsola soda* and *Portulaca oleracea*) for salt removal potential under different soil salinity conditions. *Turk J Agric For*. 2017;41:183-190.
- Karakas S, Dikilitaş M, Tırdamaz R. Biochemical and molecular tolerance of *Carpobrotus acinaciformis* L. halophyte plants exposed to high levels of NaCl stress. *Harran Tarım Gıda Bilim Derg*. 2019;23(1):99-107.
- Karakas S, Dikilitaş M, Tırdamaz R. Phytoremediation of salt-affected soils using halophytes. In M. N. Grigore (Ed.), *Handbook of Halophytes* (pp.93-101). Cham: Springer. 2021. doi:10.1007/978-3-030-17854-3_42.
- Koyro HW. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.). *Environ Exp Bot*. 2006;56(2):136-146.
- Kyzioł-Komosińska J, Augustynowicz J, Lasek W, et al. Callitriche cophocarpa biomass as a potential low-cost biosorbent for trivalent chromium. *J Environ Manag*. 2018;214:295-304. doi:10.1016/j.jenvman.2018.03.033.
- Langill T, Jorissen LP, Oleńska E, et al. Community profiling of seed endophytes from the Pb-Zn hyperaccumulator *Noccaea caerulea* and their plant growth promotion potential. *Plants*. 2023;12(3):643. doi:10.3390/plants12030643.
- Mırsal IA. *Soil Pollution: Origin, Monitoring, and Remediation*. 2004. Berlin: Springer-Verlag.
- Mohseni R, Ghaderian SM, Schat H. Nickel uptake mechanisms in two Iranian nickel hyperaccumulators, *Odontarrhena bracteata* and *Odontarrhena inflata*. *Plant Soil*. 2019;434:263-269. doi:10.1007/s11104-018-3829-2.
- Morsy M, Nossier M, Elsebaay AE, et al. Phytoremediation of Pb and Cd by alfalfa (*Medicago sativa* L.): An applied study in the presence of lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). *Arab Univ J Agric Sci*. 2022;30(1):163-174. doi:10.21608/ajs.2022.130420.
- Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol*. 2008;59:651-681.
- Navarrete Gutierrez DM, Nkrumah PN, van Der Ent A, et al. The potential of *Blepharidium guatemalense* for nickel agromining in Mexico and Central America. *Int J Phytoremediation*. 2021;23(11):1157-1168.
- O'Leary JW, Glenn EP, Watson MC. Agricultural production of halophytes irrigated with seawater. *Plant Soil*. 1985;89:311-321.
- Özyigit İİ, Baktibekova D, Hocaoglu-Özyigit A, et al. The effects of cadmium on growth, some anatomical and physiological parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Int J Life Sci Biotechnol*. 2021;4(2):217-235. doi:10.38001/ijlsb.869629.
- Paranjape K, Gowariker V, Krishnamurthy VN, Gowariker S. (2014). *The Pesticide Encyclopedia*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Parvaiz A, Satyawati S. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants: A review. *Plant Soil Environ*. 2008;54(3):89-99. doi:10.17221/2774-PSE.
- Pessarakli M, Szabolcs I. (1999). Soil salinity and sodicity as particular plant/crop stress factors. In M. Pessarakli (Ed.), *Handbook of Plant and Crop Stress* (pp. 1-16). New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Reeves RD, Baker AJ, Jaffré T, et al. A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloid trace elements. *New Phytol*. 2018;218(2):407-411. doi:10.1111/nph.14907.
- Seregin IV, Ivanova TV, Voronkov AS, et al. Zinc- and nickel-induced changes in fatty acid profiles in the zinc hyperaccumulator *Arabidopsis halleri* and non-accumulator *Arabidopsis lyrata*. *Plant Physiol Biochem*. 2023;197:107640. doi:10.1016/j.plaphy.2023.107640.
- Sethi S. Phytochelatin: Heavy metal detoxifiers in plants. In A. K. Dubey, S. K. Srivastava, & R. K. Shukla (Eds.), *Adv Innov Approaches Environ Biotechnol Ind Wastewater Treat* (pp.361-379). Singapore: Springer Nature. 2023. doi:10.1007/978-981-99-0012-7_15.
- Shoaib A, Javaid A. Oxidative stress in plants exposed to heavy metals. In M. Ashraf, M. Ozturk, & M. S. A. Ahmad (Eds.), *Organic Solutes, Oxidative Stress, and Antioxidant Enzymes Under Abiotic Stressors* (pp.133-152). Boca Raton: CRC Press. 2021.
- Shrivastava P, Kumar R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth-promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi J Biol Sci*. 2015;22:123-131. doi:10.1016/j.sjbs.2014.12.001.
- Shukla S, Das S, Phutela S, et al. Heavy metal stress in plants: Causes, impact, and effective management. In R. K. Shukla, R. N. Yadav, & S. K. Srivastava (Eds.), *Heavy Metal Toxicity: Human Health Impact and Mitigation Strategies* (pp.187-215). Cham: Springer Nature. 2024. doi:10.1007/978-3-031-52667-7_10.

- Simon MR, Cordo CA, Perello AE, et al. Influence of nitrogen supply on the susceptibility of wheat to *Septoria tritici*. J Phytopathol. 2003;151:283-289. doi:10.1046/j.1439-0434.2003.00722.x.
- Sytar O, Ghosh S, Malinska H, et al. Physiological and molecular mechanisms of metal accumulation in hyperaccumulator plants. Physiol Plant. 2021;173(1):148-166. doi:10.1111/ppl.13461.
- Szurman-Zubrzycka M, Jędrzejek P, Szarejko I. How do plants cope with DNA damage? A concise review on the DDR pathway in plants. Int J Mol Sci. 2023;24(3):2404.
- Şahin İK, Sezer CV, Ayhanlı A. The effects of oxidative stress on cellular structures: Lipid peroxidation. In R. F. Öztürk & M. Dikilitaş (Eds.), *Oxidative Stress and Antioxidant Defense Systems* (p.15). Ankara: Akademisyen Kitabevi. 2024.
- Tardío J, Pardo-De-Santayana M, Morales R. Ethnobotanical review of wild edible plants in Spain. Bot J Linn Soc. 2006;152(1):27-71.
- Thakur R, Sarvade S, Dwivedi BS. Heavy metals: Soil contamination and its remediation. Agric Assoc Text Chem Crit Rev J. 2022;59-76.
- Thijs S, Langill T, Vangronsveld J. The bacterial and fungal microbiota of hyperaccumulator plants: Small organisms, large influence. In J.-C. Kader & M. Delseny (Eds.), *Adv Bot Res* (Vol.83, pp.43-86). London: Academic Press. 2017. doi:10.1016/bs.abr.2016.12.004.
- Ucer A, Uyanik A, Kutbay HG. Removal of heavy metals using *Myriophyllum verticillatum* (Whorl-Leaf Watermilfoil) in a hydroponic system. Ekoloji. 2013;22(87):1-8. doi:10.5053/ekoloji.2013.8701.
- Ventura Y, Wuddineh WA, Myrzabayeva M, et al. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. Sci Hortic. 2011;128(3):189-196.
- Wang YZ, Geng KR, Mo BL, et al. The nickel hyperaccumulator *Odontarrhena chalcidica* (Brassicaceae) preferentially takes up zinc over nickel. Plant Soil. 2024;489:1-12. doi:10.1007/s11104-023-06289-2.
- Wilson C, Lesch SM, Grieve CM. Growth stage modulates salinity tolerance of New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides* Pall.) and red orach (*Atriplex hortensis* L.). Ann Bot. 2000;85(4):501-509.
- Yıldız Bİ, Karabağ K. İnsektisitlerin bal arısı davranışı ve fizyolojisi üzerine etkileri. Turk J Agric Food Sci Technol. 2021;9(5):863-867.
- Zhang Q, Wang C. Natural and human factors affect the distribution of soil heavy metal pollution: A review. Water Air Soil Pollut. 2020;231(1):1-13. doi:10.1007/s11270-019-4349-z.
- Zhang X, Zhang Y, Zhu D, et al. Chromium phytoextraction and physiological responses of the hyperaccumulator *Leersia hexandra* Swartz to plant growth-promoting rhizobacterium inoculation. Front Environ Sci Eng. 2023;17(1):9. doi:10.1007/s11783-022-1593-0.
- Zurayk RA, Baalbaki R. *Inula crithmoides*: a candidate plant for saline agriculture. Arid Soil Res Rehabil. 1996;10(3):213-223.

BÖLÜM 21

BİYOLOJİK KİRLİLİK KAYNAKLARI (TOKPA) “TOPRAK KÖKENLİ PATOJENLER”

Ayşin BİLGİLİ¹

GİRİŞ

Toprak Kökenli Patojenler (TOKPA), toprak ve bitki sağlığını tehdit eden en önemli biyolojik kirlilik unsurları arasında yer almaktadır. TOKPA, dünya genelinde aynı isimle anılmakta olup çok farklı agro-ekolojik alanlarda hububat, sebze, meyve ve bağ alanlarını kapsayan geniş bir konukçu dağılımında kök, kök boğazı ve gövde çevresinde zarar yapan fungus, nematod, bakteri ve virüsleri tanımlamaktadır. TOKPA'ların neden olduğu hastalıklar, entansif tarım uygulamaları nedeniyle tamamen ortadan kaldırılmalarının zorluğu ve önemli verim kayıplarına yol açmaları nedeniyle dünya çapında tarımsal üretimde öne çıkan sorunlardan biridir (Jambhulkar & ark., 2015). Nitekim birçok tarımsal üründe TOKPA kaynaklı kayıpların %50–75'e ulaştığı bildirilmektedir (Mokhtar & El-Mougy, 2014). Bu patojenler, özellikle iklim değişikliğiyle birlikte uygun çevresel koşullarda hızla çoğalarak kök, kök boğazı ve toprakaltı dokularda çeşitli hastalıklara sebep olarak toprak kirliliğine neden olurlar.

Toprakta çok çeşitli mikroorganizmalar bulunur, tek bir gram toprakta bile milyarlarca bakteri bulunabilir ve bunların büyük bir kısmı ekosistemde yararlı roller üstlenir. Toprakta organik maddelerin ayrıştırılmasında, azot bağlayıcılar (*Rhizobium* bakterileri) olarak, hastalık etmenlerini baskılamada, toprakta uzun süre kalıcı organik kökenli humat ve humik asitlerin yavaş yavaş parçalanmasına yardımcı olarak (aktinobakteriler), toprak minerallerinde yaygın olan ancak bitkiler tarafından büyük ölçüde kullanılamayan sülfürleri sülfatlara dönüştürerek (Kükürt oksitleyiciler; *Thiobacillus* bakterileri) fayda sağlarlar (Anonim, 2025). Ancak bir kısmı bitkilere zarar vererek toprak kökenli patojen (TOKPA) grubunu oluşturur. Bitkilere zarar veren başlıca mikroorganizmalar; funguslar, bakteriler, nematodlar ve bazı virüslerdir. Toprak altında hastalıkların yayılması, parazitlerin çoğalma ve yayılma yapıları olan spor ve misel formlarıyla olabildiği gibi, konukçunun toprak altı canlı veya ölü dokularından da gerçekleşebilmektedir. Fazla rutubetli ortamlarda ve odunsu dokuların birikiminde bazı patojen mikroorganizmalar yumuşak çürüklüklere yol açarak biyolojik kirlilik kaynaklarını oluştururlar. Buna karşılık,

¹ Dr., GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Bitki Sağlığı Bölümü, aysin.bilgili@tarimorman.gov.tr, ORCID iD: 0000-0003-0801-0484

yukarıda belirtilen 4 farklı Münavebe programı, o bölgede Toprak Kökenli Patojenlerden (TOKPA) dolayı kurumuş olan tarımsal alanların toprak ıslahında ve toprak kalitesinin, ürün kalitesinin ve verimin artırılmasında faydalı olacaktır. Münavebe programında kullanılan baklagil bitkileri de ayrıca deneme sonunda toprağa karıştırılmak suretiyle toprağa organik Azot (N) içeriği bakımından fayda sağlayarak hem ürünün kalitesini artıracak hem de toprağa organik içeriği bakımından yeşil gübreleme olarak toprağın ıslahına ve kalitesine fayda sağlayacaktır.

SONUÇ

Toprak kökenli patojenler ve kök-ur nematodları tarım alanlarında ve örtü altı bitki yetiştiriciliğinde milyarlarca Liraya ulaşan önemli verim kayıplarına neden olmaktadır. Aynı toprakta aynı ürünün tekrarlanan dikimleri ve bütün tarımsal işlemler bitki ekosistemindeki biyolojik dengeyi bozmakta ve insana kadar ulaşan hastalık etmenlerinin artmasına neden olmaktadır. Kök hastalıklarına neden olan patojenlerin ve nematodların mücadelesi için ekim veya dikim öncesi özellikle seralarda toprak dezenfeksiyonu yapılmaktadır. Son yıllarda bütün kontrol metotlarının entegrasyonu ile topraktaki hastalık ve zararlıların baskı altına alınmasına yönelik entegre mücadele çalışmaları önem kazanmaktadır. Entegre mücadele için kültürel, fiziksel, biyolojik ve kimyasal mücadele metotlarının kombinasyonu ile münavebe programlarının uygulanması sağlanmalıdır (Anonim, 2017a).

Entegre mücadele, kültürel, biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerin birlikte uygulanmasını, özellikle de münavebe programları ile desteklenmesini içermektedir. Toprak mikroorganizmalarının birbirleriyle olan rekabeti, antibiyotik salgılamaları ve parazitlik özellikleri, biyolojik mücadelede kullanılabilir doğal mekanizmalardır. Bu kapsamda, faydalı mikroorganizmaların toprağa aşılması, toprak koşullarının iyileştirilmesi ve organik materyallerin kullanımı önemlidir.

Toprak üzeri ve altında kalan bitki artıklarının tamamen toplanarak uzaklaştırılması her zaman mümkün olmadığından toprak zararlı organizmalara konukçuluk edebilmekte ve tüm patojenler ile TOKPA'lar, tarlada bırakılan enfekteli atıklarda ve dalında kurumuş meyvelerde kışı geçirmektedirler. Bu durum, patojenin toprak üstüne geçmesini ve bunların rüzgâr, su, yağmur ve böceklerle yayılmasına yol açmaktadır.

Toprak üstünde ve altında kalan enfekteli bitki artıklarının temizlenmesi, uygun ekim zamanı, sulama yöntemi, gübreleme, malçlama ve eradikasyon gibi kültürel önlemler de hastalıkların yayılmasını ve dolayısıyla toprak kirliliğini engellemektedir. Bu uygulamaların zamanında ve doğru bir şekilde yapılması, toprak kaynaklı patojenlerin kontrolünde başarıyı artırmaktadır.

Sonuç olarak; kültürel yöntemler ile biyolojik mücadele (nematodları yok eden bakteri kullanımı, topraklara AMF uygulanması gibi) etmenlerinin birlikte uygulanması, hem entegre mücadelenin başarısını hem de toprağın verimliliğini artırmaktadır. Böylelikle hastalık etmenleri ve zararlı patojenler nedeniyle verimden düşmüş ve yoğun toprak kirliliği olan alanların tekrar tarıma kazandırılması ve sürdürülebilir üretimin sağlanması mümkün olabilmektedir.

KAYNAKLAR

- AHDB, (2022). Plant Parasitic Nematodes. *Agriculture and Horticulture*. 12 p. https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Potato%20knowledge%20library/AHDB%20PPFLN_Jan2021%20AS%20amend.pdf. (Erişim: 01.10.2025).
- Aktaş, H., Kınacı, E., Yıldırım, A. F., Sayın, L. & Kural, A. (1999). Konya Yöresinde Hububatta Sorun Olan Kök ve Kökboğazı Çürüklüğü Etmenlerinin Hububatta Verim Komponentlerine Etkileri ve Mücadelesi Üzerinde Araştırmalar. *Orta Anadolu Hub. Tarımının Sorunları ve Çözüm Yolları Semp.*, 8-11 Haziran 1999, Konya, 392-403.
- Allende, A. & Monaghan, J. (2015). Irrigation Water Quality for Leafy Crops: A Perspective of Risks and Potential Solutions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(7): 7457-7477. <https://doi.org/10.3390/ijerph120707457>.

- Anonim, (2016). Avrupa Komisyonu, *Ortak Araştırma Merkezi ve Küresel Toprak Biyoçeşitliliği Girişimi*, 2016.
- Anonim, (2017a). *Entegre Mücadele Teknik Talimatları*. Ankara: T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.
- Anonim, (2017b). *Zirai Mücadele Teknik Talimatları*. Ankara: T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı.
- Anonim, (2025). Soil Bacteria and Fungi. <https://www.soilquality.org.au/factsheets/soil-bacteria-and-fungi-nsw>. (Erişim tarihi: 05.10.2025).
- Anonim, (2025a). Örtüaltı tarımda toprak kökenli hastalıklar. <https://agrowy.com/zirai-mucadele/ortualti-tarimda-toprak-kokenli-hastaliklar>. (Erişim tarihi: 16.09.2025).
- Anonim, (2025b). *Nematodes*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9229181>. Erişim tarihi: 19.09.2025.
- Aslanpay, B., & Demir, S. (2015). Arbüsküler Mikorizal Fungus (AMF) ve Hümkik Asitin Biber (*Capsicum annuum* L.) Bitkisinin Gelişimi ve *Phytophthora capsici* L.'in Neden olduğu Kök Boğazı Çürüklüğü Hastalığına Etkileri. *YYÜ Tar. Bil. Derg. (YYU J AGR SCI)*, 2015, 25 (1): 48-57.
- Bernard, C.G., Egnin, M. & Bonsi, C. (2017). The Impact of Plant-Parasitic Nematodes on Agriculture and Methods of Control. In *Nematology—Concepts, Diagnosis and Control*; Shah, M.M., Mahamood, M., Eds.; Intech Open Book Series: Ali Garh, India, 2017; pp. 121–151.
- Biçici, M. (2011). Bitki hastalık etmenleri ile biyolojik mücadelenin başarısını arttırmada mikorizanın rolü. *Türk. Biyo. Müc. Derg.*, 2011, 2(2): 139-174. ISSN 2146-0035.
- Bilgili, A. (2017). GAP Bölgesi Biber Yetiştiriciliğinde Kök Çürüklük Etmenlerinin Belirlenmesi, Etkin Patojenin Moleküler Karakterizasyonu ve Mücadelesinde Mikorizanın Etkinliğinin Araştırılması. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitki Koruma Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi*, Şanlıurfa, 2017, 200 s.
- Bilgili, A. (2021). *Fusarium* spp. Funguslarının Fenotipik-Moleküler Karakterizasyonu ve Mikorizal Fungusların Sebzelede Toprak Patojenleri Üzerine Etkisi, *Tarımsal Gelişmeler Kitabı*, Bölüm 4, İksad Publishing House, s: 103-133. Mayıs-2021. ISBN: 978-625-7636-51-3. <https://iksadyayinevi.com/wp-content/uploads/2021/05/TARIMSAL-GELISMELER.pdf>.
- Bilgili A. (2025). The effectiveness of arbuscular mycorrhizal fungal species (*Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices*, and *Claroideoglomus etunicatum*) in the biocontrol of root and crown rot pathogens, *Fusarium solani* and *Fusarium* mixture in pepper. *PeerJ* 13:e18438 DOI 10.7717/peerj.18438. ISSN :2167-8.
- Bilgili, A. & Bilgili, A.V. (2023). Comparison of compost, PGPR, and AMF in the biological control of tomato *Fusarium* wilt disease. *Eur J Plant Pathol*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02710-2>.
- Bilgili A. & Güldür, M.E. (2018). GAP Bölgesinde Biberlerde *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* kök çürüklüğü hastalığına Arbüsküler Mikorizal Fungusların Etkinliği. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 22, Sayı: 1, Mart- 2018. s: 88-108.
- Beuchat, L.R. (2002). Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes and Infection*, 4(4): 413–423.
- Boxall, A.B.A., Johnson, P., Smith, E.J., Sinclair, C.J., Stutt, E. & Levy, L.S. (2006). Uptake of Veterinary Medicines from Soils into Plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(6): 2288–2297. <https://doi.org/10.1021/jf053041t>.
- Cook, R.J. (2001). Management of Wheat and Barley Rot Diseases in Modern Farming Systems. *Australasian Plant Pathology*. 30: 119-126.
- Cytryn, E. (2013). The soil resistome: The anthropogenic, the native, and the unknown. *Soil Biology and Biochemistry*, 63: 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.017>.
- Dehghanian, S.Z., Abdollahi, M., Charehgani, H. & Niazi, A. (2020). Combined of salicylic acid and *Pseudomonas fluorescens* CHA0 on the expression of PR1 gene and control of *Meloidogyne javanica* in tomato. *Biol. Control* 2020, 141, 104134.
- De Vleedchawer, D. & Höfte, M., (2007). Using *Serratia plymuthica* to control fungal pathogens of plants. *CAB Rev.: Perspect. Agric. Vet. Sci. Nutr. Nat. Resour.* 2007, 2, 1–12.
- Demir, S., & Akköprü, A. (2007). Using of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) for Biocontrol of Soil-borne Fungal Plant Pathogens, pp. 17-37, in: *Biological Control of Plant Diseases*. Chincholkar SB, Mukerji KG (eds), Haworth Press, NY, USA.
- Devi, P.I., Manjula, M. & Bhavani. R.V. (2022). Agrochemicals, Environment, and Human Health. *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 47:399-421, October 2022. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-120920-111015>.
- Du, L. & Liu, W. (2012). Occurrence, fate, and ecotoxicity of antibiotics in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2): 309–327. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0062-9>.
- Editorial, (2021). Pathogens, precipitation and produce prices. *Nature Climate Change* volume 11, p: 635 (2021). <https://www.nature.com/articles/s41558-021-01124-4#citeas>. (Erişim tarihi: 05.10.2025).
- Eisenback, J. D., & Triantaphyllou, H. H. (2020). Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species and races. In *Manual of agricultural nematology* (pp. 191-274). CRC Press.
- Ercumen, A., Pickering, A.J., Kwong, L.H., et al. (2017). Animal Feces Contribute to Domestic Fecal Contamination: Evidence from *E. coli* Measured in Water, Hands, Food, Flies, and Soil in Bangladesh. *Environmental Science & Technology*, 51(15): 8725–8734. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01710>.
- FAO, (2021). *New standards to curb the global spread of plant pests and diseases*. FAO <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/> (Erişim tarihi: 05.10.2025).
- FAO (U. N. Food Agric. Organ.) & WHO (World Health Organ.) (2018). Global situation of pesticide management in agriculture and public health: report of a 2018. *WHO-FAO survey Rep*. WHO Geneva <https://apps.who.int/iris/handle/10665/329971>.

- Grabau, Z.J. & Dickson, D.W. (2022). Management of Plant-Parasitic Nematodes in Florida Peanut Production. *Askifas UF/IFAS Extension, University of Florida*. ENY069. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/IN1199> (accessed on 2 March 2022).
- Grass, G., Rensing, C. & Solioz, M. (2011). Metallic Copper as an Antimicrobial Surface. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5): 1541–1547. <https://doi.org/10.1128/AEM.02766-10>.
- Hekimhan, H., Bağcı, S.A., Nicol, J. & Tunalı, B. (2005). Kök ve Kökboğazı Çürüklüğü Hastalığı Etmenlerinin Bazı Kışlık Hububat Verimleri Üzerine Etkileri. *Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi Bildirileri, Cilt:1*, s: 201-206. 5-9 Eylül 2005 Antalya.
- Hopwood, D.A. (2007). How do antibiotic-producing bacteria ensure their self-resistance before antibiotic biosynthesis incapacitates them? *Molecular Microbiology*, 63(4): 937–940. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2006.05584.x>.
- Maurice, N. (2021). *Meloidogyne: A Root-Knot Nematode*. Ezine Articles. http://EzineArticles.com/?expert=Navodita_Maurice (accessed on 27 December 2021).
- Mendoza-de Gives, P. (2022). Soil-Borne Nematodes: Impact in Agriculture and Livestock and Sustainable Strategies of Prevention and Control with Special Reference to the Use of Nematode Natural Enemies. *Pathogens* 2022, 11(6), 640; <https://doi.org/10.3390/pathogens11060640>.
- Michael, I., Rizzo, L., McArdell, C.S., et al. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for the release of antibiotics in the environment: A review. *Water Research*, 47(3): 957–995. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.027>.
- Mihajlović, M., Rekanović, E., Hrustić, J., Grahovac, M., & Tanović, B. (2017). Methods for management of soilborne plant pathogens. *Pesticidi i fitomedicina*, 32(1), 9-24.
- Mitiku, M. (2018). Plant-Parasitic Nematodes and Their Management: A Review. *J. Biol. Agricult. Healthc*. 2018, 8, 4–42.
- Murray, C. J. L. (2024). Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050. *Lancet* 2024. 404: 1199–226. [https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736\(24\)01867-1](https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736(24)01867-1). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01867-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01867-1).
- Mokhtar, M. M., & El-Mougy, N. S. (2014). Bio-Compost Application For Controlling Soil-Borne Plant Pathogens–A Review. *International Journal Of Engineering And Innovative Technology*, 4(1), 2277–3754.
- Nelson, P.E., Toussoun, T.A. & Marasas, W.F.O. (1983). *Fusarium species: an illustrated manual for identification*. Pennsylvania State University Press, University Park.
- Nemaplex, (2022a). *Heterodera Damage*. University of California, Davies. <http://nemaplex.ucdavis.edu/Taxadata/G060.aspx> (accessed on 7 January 2022).
- Nemaplex, (2022b). *Xiphinema*. University of California, Davies. 2021. <http://nemaplex.ucdavis.edu/Taxadata/G143.aspx> (accessed on 7 January 2022).
- Noling, J.W. (2021). Nematode Management in Tomatoes, Peppers, and Eggplant. *Askifas, UF/IFAS Extension. University of Florida*, ENY-032. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/NG032> (accessed on 29 December 2021).
- Özdemir, F.G., Arıcı, Ş.E. & Elekcioglu, İ.H. (2022). Buğday Bitkisinde Üç *Pratylenchus thornei* Popülasyonunun *Fusarium culmorum* ile İnteraksiyonu. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(5):1042-1050.
- Panth, M., Hassler, S. C., & Baysal-Gurel, F. (2020). Methods for management of soilborne diseases in crop production. *Agriculture*, 10(1), 16.
- Pathogens, precipitation and produce prices. *Nat. Clim. Chang*. 11, 635 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01124-4>. (Erişim tarihi: 05.10.2025).
- Peterson, H. & Luxton, M. A. (1982). Comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 1982, 39, 287–388.
- Ramalakshmi, A., Sharmila, R., Iniyakumar, M. & Gomathi, V. (2020). Nematicidal activity of native *Bacillus thuringiensis* against the root knot nematode, *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White). *Egypt J. Biol. Pest Control* 2020, 30, 90.
- Rathore, S. Y. & Tiwari, N.S. (2013). Relationship of Different Species of Heterodera with Taxonomic Grouping of Host Plants. *Int. J. Sci. Res.*, 4, 2269–2276.
- Raymaekers, K., Ponet, L., Holtappels, D., Berckmans, B., Cammue, B.P.A. (2020). Screening for novel biocontrol agents applicable in plant disease management—a review. *Biol. Control* 2020, 144, 104240.
- Rensing, C. & Pepper, I.L. (2006). Chapter 30. Antibiotic-Resistant Bacteria and Gene Transfer. *Environmental and Pollution Science*, pp. 499–505. San Diego, United States, Elsevier Science & Technology. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bull-ebooks/detail.action?docID=297063>.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. FAO Resources, Rome, 156 pp. Erişim linki: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3f7e6959-db0b-44d3-971e-109bcfe78195/content>. (Erişim tarihi: 01. 09.2025).
- Sassman, S.A. & Lee, L.S. (2005). Sorption of Three Tetracyclines by Several Soils: Assessing the Role of pH and Cation Exchange. *Environmental Science & Technology*, 39(19): 7452–7459. <https://doi.org/10.1021/es0480217>.
- Schmitt, P.D. & Sipes, S.B. (2000). Plant-parasitic Nematodes and Their Management. In *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*, 1st ed.; Silva, J.A., Uchida, R., Eds.; College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii Manoa: Honolulu, HI, USA, 2000, 145–149.
- Sekora, N. & Crow, T.W. (2012). Burrowing Nematode, *Radopholus similis* (Cobb 1893) Thorne (1949) (Nematoda: Secernentea: Tylenchida: Pratylenchidae: Pratylenchinae). *UF/IFAS Extension. University of Florida*. 2012. <https://vdocument.in/burrowing-nematode-radopholus-similis-cobb-1893-thorne-levels-on-banana-oabannon.html> (accessed on 7 January 2022).

- Senthilkumar, M., Amaresan, N. & Narayanan, A. (2021). Isolation of Nematodes from Soil Sample. In *Plant-Microbe Interactions: Laboratory Techniques*; Senthilkumar, M., Amaresan, N., Narayanan, A., Eds.; Springer Protocols Handbooks; Humana: New York, NY, USA, 2021; pp. 271–273.
- Smiley, R., Sheedy, G.J. & Easly, A.S. (2008). Vertical Distribution of *Pratylenchus* spp. in Silt Loam Soil and Pacific Northwest Dryland. *Crops. Plant Dis.* 2008, 92, 1662–1668.
- Sümer, 1986. *Toprak Patojenleri*. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/175256>. (Erişim tarihi: 01.09.2025).
- Taş, M.A., Nacar, A.S., Değirmenci, V., & Güldür, M.E. (2007). GAP Bölgesi Harran Ovası koşullarında Urfa biberinde bazı sulama yöntemlerinin karşılaştırılması. *Şanlıurfa Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları*. TA-GEM-BB-TOPRAKSU-2007/32. Eylül-2007, Şanlıurfa, 69 s.
- Uyanık, M., Pour Rezaeieh, K.A., Delen, Y., Gürbüz, B. (2011). Baklagillerde Bakteri Aşılması ve Azot Fiksasyonu. *Ziraat Mühendisliği*. Temmuz-Aralık 2011 1 Sayı: 357.
- Van der Putten, W.H., Jeffery, S., European Commission, Joint Research Centre & Institute for Environment and Sustainability. 2011. *Soil born human diseases*. Luxembourg, Publications Office.
- Yin, N., Jia Zhao, J.-L., Liu, R., Li, Y., Ling, J., Yang, Y.-H., Bing-Yan, X., Zheng-Chuan, M., (2021). Biocontrol Efficacy of *Bacillus cereus* Strain Bc-cm103 against *Meloidogyne incognita*. *Plant Dis.* 2021, 105, 2061–2070.
- Yücel, S., & Özarslandan, A., (2014). *Toprak Kökenli Patojenler ve Nematodların Toprak Dezenfeksiyonu için Uygulamaların Tanıtımı, Uygulanma Şekilleri*. Gıda, Tarım & Hayvancılık Bakanlığı Yayınları, Adana, 20 s., (Erişim tarihi: 13.09.2025) <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/bmae/Belgeler/Bro%C5%9F%C3%BCr/Toprak%20K%C3%B6kenli%20Hastal%C4%B1klar%20ve%20Nematod.pdf>.
- Yücel, S., Elekçioğlu, İ. H., Özgönen, H., Toktay, H. & Ortaş, İ. (2001). Seralarda Fungal Kök Hastalıklarına ve Kök-Ur Nematodlarına Karşı Solarizasyon ve Mikorizal Fungus Kombinasyonlarının Etkilerinin Araştırılması. *Türkiye XI. Fitopatoloji Kongresi Bildirileri*, 421-431, Eylül 2001, Tekirdağ.
- Yücel, S., Günaçtı, H., & Sezen, S.M. (2013). Salçalık biber yetiştiriciliğinde farklı sulama yöntemlerinin toprak kökenli hastalık çıkışı ve verime etkileri. *Derim*, 2013, Cilt:30 (2), s:11-21.
- Watkinson, A.J., Murby, E.J., Kolpin, D.W. & Costanzo, S.D. (2009). The occurrence of antibiotics in an urban watershed: From wastewater to drinking water. *Science of The Total Environment*, 407(8): 2711–2723. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.059>.
- Wayne, L.B., Antonio, L., Hamed, K.A., James, K.P., Ronald, F.V., John, L. & Richard, J., (2001). Other Significant *Fusarium* Mycotoxins. In: *Fusarium Paul E. Nelson Memorial Symposium*. (Editörler: Brett A. Summerell, John F. Leslie, David Backhouse, Wayne L. Byden ve Lester W. Burgess), S: 361–393, Aps Press, The American Phytopathological Society, St Paul Minnes.
- WHO (2018). *Antimicrobial resistance*. In: WHO [online]. [Cited 4 April 2018]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs194/en/>
- Wildermuth, G.B. & Mcnamara, R.B. (1994). Testing Wheat Seedlings for Resistance to Crown Rot Caused by *Fusarium graminearum* Group 1. *Plant Disease*, 78:949-953.
- Williams, D.S., Boehm, J.M. & López-Nicora, H. (2021). *Nematode Diseases of Plants*. Ohio State University Extension, Department of Plant Pathology. Ohioline. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-gen-8> (accessed on 27 December 2021).
- Williamson, M.V. & Kumar, A. (2006). Nematode resistance in plants: The battle underground. *Trends Genet.* 2006, 22, 396–403.
- Witte, W. (1998). Biomedicine: Medical Consequences of Antibiotic Use in Agriculture. *Science*, 279(5353): 996–997. <https://doi.org/10.1126/science.279.5353.996>.
- Wu, C., Spongberg, A.L., Witter, J.D., Fang, M., Ames, A. & Czajkowski, K.P. (2010). Detection of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Agricultural Soils Receiving Biosolids Application. *CLEAN-Soil, Air, Water*, 38(3): 230–237. <https://doi.org/10.1002/clen.200900263>.