TARIMSAL ÜRETİMDE, TARIMSAL KİRLİLİĞİN AYAK İZİ

EDİTÖRLER
Prof. Dr. Kağan KÖKTEN
Dr. Öğr. Üyesi H. Şeyma İNCİ

İKSAD
Publishing House

TARIMSAL ÜRETİMDE, TARIMSAL KİRLİLİĞİN AYAK İZİ

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN
Dr. Öğr. Üyesi H. Şeyma İNCİ

YAZARLAR

Prof. Dr. Bünyamin SÖĞÜT
Prof. Dr. Lütfi BEHÇET
Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU
Doç. Dr. Atilla ÇAKIR
Doç. Dr. Ahmet KOÇ
Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah GÜLLER
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CAF
Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT
Dr. Öğr. Üyesi Barış ENEZ
Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN
Dr. Öğr. Üyesi Bülent KAYA
Dr. Öğr. Üyesi Canan KOÇ
Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL
Dr. Öğr. Üyesi Fatma CAF
Dr. Öğr. Üyesi M. İlhan ODABAŞIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Sema ATASEVER
Arş. Gör. Dr. Mualla KETEN
Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ
Öğr. Gör. Ebubekir İZOL
Öğr. Gör. Enes KAYA
Öğr. Gör. Fırat İŞLEK
Öğr. Gör. Merve MACİT
Öğr. Gör. Serhat KOÇYİĞİT
Arş. Gör. Başak ÖZTÜRK
Arş. Gör. Hasan ER
Arş. Gör. Işıl SARAÇ SİVRİKAYA
Arş. Gör. Serap DEMİREL
Zir. Yük. Müh. Ali Rıza ŞAHİNOĞLU
Zir. Yük. Müh. Çiğdem YAVUZ
Zir. Yük. Müh. Didem KOŞAR
Yük. Çevre Müh. İpek İZOL
Zir. Yük. Müh. Şeyma Akşit ÖZER
Esra BALKİS
Pınar COŞKUN

İKSAD
Publishing House

Copyright © 2022 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®
(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)
TURKEY TR: +90 342 606 06 75
USA: +1 631 685 0 853
E mail: iksadyayinevi@gmail.com
www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.
Iksad Publications – 2022©

ISBN: 978-625-8405-32-3
Cover Design: İbrahim KAYA
February / 2022
Ankara / Turkey
Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Dr. Öğr. Üyesi H. Şeyma İNCİ……..1

BÖLÜM 1

TARIMDA KİRLİLİK

Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ

Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU……..…….3

BÖLÜM 2

TARIMDA PESTİSİTLER: DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KULLANIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT……..31

BÖLÜM 3

MİKROORGANİZMALARIN TARIMSAL KİRLİLİKTEKİ ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Barış ENEZ…….51

BÖLÜM 4

ÇEŞİTLİ KİRLİLİK ETMENLERİNİN FARKLI BİTKİ TÜRLERİNDEKİ FENOLİK BİLEŞENLERE ETKİSİ

Öğr. Gör. Merve MACİT…….75

BÖLÜM 5

BATTALGAZİ İLÇESİNDE FARKLI SU KAYNAKLARI İLE SULANAN KAYISI PLANTASYONUNDA AĞIR METAL BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ

Zir. Yük. Müh. Didem KOŞAR

Zir. Yük. Müh. Çiğdem YAVUZ

Zir. Yük. Müh. Ali Rıza ŞAHİNOĞLU

Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ……....93

BÖLÜM 6

TOPRAKLARDAKİ TUZLULUK TOKSİSİTESİNİN BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Zir. Yük. Müh. Şeyma Akşit ÖZER……...113

BÖLÜM 7

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ BİTKİLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL

Arş. Gör. Serap DEMİREL

Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN……...137

BÖLÜM 8

NANOTEKNOLOJİK YÖNTEMLERLE ATIK SULARI ARITMA OLANAKLARI

Arş. Gör. Hasan ER

Öğr. Gör. Serhat KOÇYİĞİT…….....157

BÖLÜM 9

ARI ÜRÜNLERİNDE AĞIR METALLER

Pınar COŞKUN

Prof. Dr. Bünyamin SÖĞÜT……..175

BÖLÜM 10

ARI ÜRÜNLERİNİN SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLERLE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Öğr. Gör. Ebubekir İZOL

Yük. Çevre Müh. İpek İZOL…….....209

BÖLÜM 11

BİTKİ GELİŞİMİ VE METABOLİZMASI ÜZERİNE AĞIR METAL STRESİNİN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah GÜLLER

Arş. Gör. Işıl SARAÇ SİVRİKAYA…….231

BÖLÜM 12

AĞIR METAL İÇERİKLİ SULARLA YAPILAN SULAMANIN TARIMSAL ÜRETİME ETKİSİ

Arş. Gör. Dr. Mualla KETEN…..……..273

BÖLÜM 13

YEŞİL SENTEZ METAL/METAL OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN SUCUL EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma CAF

Dr. Öğr. Üyesi Bülent KAYA

Esra BALKİS…….301

BÖLÜM 14

TOPRAKTAKİ AĞIR METALLER ÜZERİNE MAKİNE ÖĞRENMESİ ÇALIŞMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Sema ATASEVER

Arş. Gör. Başak ÖZTÜRK

Arş. Gör. Dr. Mualla KETEN…..……..329

BÖLÜM 15

MEYVECİLİK BUDAMA ATIKLARININ ALTERNATİF DEĞERLENDİRİLME ŞEKİLLERİ

Zir. Yük. Müh. Çiğdem YAVUZ

Zir. Yük. Müh. Didem KOŞAR…….361

BÖLÜM 16

BAHÇE BİTKİLERİ ÜRÜNLERİNDE ATIK YÖNETİMİ

Doç. Dr. Atilla ÇAKIR

Dr. Öğr. Üyesi M. İlhan ODABAŞIOĞLU

Öğr. Gör. Fırat İŞLEK……...381

BÖLÜM 17

TÜRKİYEDE HAVA KİRLİLİĞİNİN KENTSEL MEKÂNA ETKİLERİ: SİSTEMATİK LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dr. Öğr. Üyesi Canan KOÇ

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CAF

Doç. Dr. Ahmet KOÇ……...…….407

BÖLÜM 18

YEREL ENDEMİK *Campanula baskilensis*'in MİNERAL DÜZEYLERİNİN ICP-MS İLE BERLİRLENMESİ

Öğr. Gör. Ebubekir İZOL

Prof. Dr. Lütfi BEHÇET

Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ

Öğr. Gör. Enes KAYA.....407

ÖNSÖZ

Bugün evrensel olarak mücadele edilen ve çok uzun yıllar daha mücadelesi artarak devam edecek olan çevre kirliliği en kritik sorunlardan biridir. Tarımsal kirlilik ise çevre kirliliği zincirinin en önemli halkalarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Tarımsal üretim, nüfus artışına paralel şekilde, insanoğlunun ara vermeden gerçekleştirmek zorunda olduğu devamlılığı elzem olan en önemli faaliyettir. Dünya, gıda ihtiyacını karşılamak isterken bitkisel ve hayvansal üretim süreçlerinde yaptığı aşırı, bilinçsiz ya da yanlış uygulamalar ile çevreye zarar vermekte ve doğal dengeyi kaybetme sürecimize hız kazandırmaktadır. Yapılan bu yanlış uygulamaların başında aşırı gübre kullanımı, tarımsal üretimde hastalık ve zararlı mücadelesinde yararlanılan tarım ilaçlarının önerilen doz ve sıklıkta kullanılmaması, bilinçsiz sulama yapılması, tarımsal üretim sonucu ortaya çıkan tarımsal ürün atıklarının değerlendirilememesi ve diğer birçok uygulama yer almaktadır. İnsanların uzun yıllar gerçekleştirdiği bu yanlış uygulamalar doğaya geri döndürülemez zararlar vermiş ve bu zararlar yine en çok insanları etkilemiştir. Tarımsal kirlilik, iklim kriziyle katlanarak, tahrip olan tarım alanlarına, maddi kayıplara ve sağlık problemleri artan bir nesle neden olmuştur.

Bu kitapta, günümüz dünyasında tarımsal faaliyetlerin neden olduğu kirlilik türlerini, neden olduğu zararları ve çözüm önerilerini akademik bakış açısıyla değerlendiren çalışmalar bir araya getirilmiştir.

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Dr. Öğr. Üyesi H. Şeyma İNCİ

BÖLÜM 1

TARIMDA KİRLİLİK

Öğr. Gör. Dr. Akgül TAŞ[*1],
Prof. Dr. Müttalip GÜNDOĞDU[2]

[1] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Seben İzzet Baysal Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bolu, Türkiye, Orcid: 0000-0003-0249-6065 [2] Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Bolu, Türkiye, Orcid: 0000-0002-9375-7365
[*]Sorumlu Yazar: akgulltas@gmail.com

1. GİRİŞ

Dünyada insan nüfusunun sürekli artış halinde olmasından dolayı, gıda gereksiniminin karşılanması için tarımsal üretimin yapılması zorunlu bir ihtiyaç halini almaktadır. Yaşamın vazgeçilmez bir parçası olan gıdaların tarımsal üretiminde üreticilerin üretim sürecinde uyguladıkları yöntem ve tercihlerini doğru bir şekilde seçebilmeleri büyük önem taşımaktadır. Bugün, sadece ülkemizde olmamakla birlikte diğer ülkelerde de ortak bir sorun haline gelen hava, su ve toprak gibi çeşitli ekosistem yapılarının kirlilikleri dünyanın geleceğini tehdit etmektedir. Çeşitli ortam kirliliklerine neden olabilen birçok faktör bulunmakla birlikte, 'tarımsal kaynaklı kirlilikler' de, önemli ekosistemleri oldukça ciddi bir şekilde kirletebilen etmenlerdir. 'Tarımsal etkilerden doğabilen kirlilik' konusu, günümüzde çoğu ülkelerin ortak bir paydası olup, çeşitli bilim insanları tarafından bu olgunun önemi sıklıkla vurgulanmaktadır. Nitekim, tarımsal ürünlerin üretiminden hasat ve pazarlanmasına kadar geçen süreçte, çevreyle dost yaklaşımlar uygulanabilirse, tarımsal kaynaklı olan seçim ve yöntemlerin, doğal ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirgenebileceği ve böylelikle de tarımsal kaynaklı oluşabilecek kirliliklerin önüne geçilebileceği umut edilmektedir (Godfray ve ark., 2010; Gregory ve George, 2011).

2. TARIMSAL KAYNAKLI KİRLİLİKLER

Toprak içerisindeki ağır metal kirliliği, toprağın asitlenmesi, yer altı ve yüzey suları kirliliği ve hava kirliliği, tarımsal üretimden kaynaklı kirlilik sebeplerini oluşturmaktadır (Du ve ark., 2013; Tung ve

Yaseen, 2020; Wei ve ark., 2020; Alengebawy ve ark., 2021).

2.1. Toprak ağır metal kirliliği

Önemli tarımsal kaynaklı kirliliklerden birisi, toprakta normalin üstünde biriken ağır metallerden kaynaklanabilmektedir. Ağır metaller, adından da anlaşılabileceği üzere, 5 g/cm^3'ten daha fazla yoğunluğa ve yüksek bir atomsal ağırlığa sahip olan metallerdir. Toprağa geçen önemli ağır metaller ise arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr) ve cıva (Hg) gibi elementlerdir (Tchounwou ve ark., 2012; Beidokhti ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2019). Peki, ağır metaller, üretim yapılan toprağa nasıl geçmektedir? Ülkemizde, özellikle 1980 yılından itibaren, çeşitli nedenlerden dolayı (tarımda insan işgücünün yerini alan makineleşme, toprak verimsizliği, kırsalda eğitim ve sağlık koşullarının yeterli olmaması gibi çeşitli faktörler) tarımsal üretim yapılan kırsal alanlardan insanlar için daha cazip gelen sanayileşmenin yaygın olarak yapıldığı kentsel alanlara yoğun bir göç dalgası yaşanmış, böylelikle de kentsel alanlarda insan nüfusu her geçen gün daha da artmaya başlamıştır.

Kentsel alanlarda artan insan nüfusuna paralel olarak da özellikle tarımsal hammadde kullanan çok sayıda sanayi kuruluşları kurulmuş ve kentler hızlıca sanayileşmiştir. Genel olarak, ülkemizde tarımsal hammaddeyi işleyen sanayi kuruluşları, hem zamandan hem de ekonomiden tasarruf edebilmek amacıyla, hammaddeye yakın olarak, tarımsal üretim yapılan alanların yakın çevrelerine kurulmaktadır (Aksu-Kocatürk, 2021).

Maalesef ki bu durumun olumsuz bir sonucu olarak, sanayi kuruluşlarının işlevselliği ile ortaya çıkan ağır metaller, hemen o dakikada hızlıca atmosfere ve de özellikle de toprağa ulaşıp, bu ortamlara nüfuz etmektedirler. Sonuç olarak da tarımsal üretim yapılan toprakta ve bu toprakta yetiştirilen tarımsal ürünlerde, tolerans gösterilebilen miktarların oldukça üzerinde, ağır metal birikimleri gerçekleşebilmektedir (Naveedullah ve ark., 2013; Chandrasekaran ve ark., 2015; Hu ve ark., 2017; Barakat ve ark., 2019; Kumar ve ark., 2019; Wu ve ark., 2019; Ennaji ve ark., 2020). Bu durumun nihai bir sonucu olarak, toprakta ve ürünlerde biriken ağır metallerin canlı bünyesine geçmesi, günümüzde özellikle insanlarda çeşitli kanser türlerinin şiddetle artmasına sebebiyet verebilmektedir (De Oliveira ve ark, 2018; Naila ve ark., 2019; Li ve ark., 2020a; Sun ve ark., 2020). Konuyla ilgili çarpıcı bir örnek vermek gerekirse, Güney Çin'de yapılmış bir araştırmaya göre, büyük sanayi kuruluşlarından pirinç yetiştiriciliğinin yapıldığı alanlara ve dolayısıyla ürüne geçen, tehlikeli bir ağır metal olan kadmiyumun, son yıllarda miktarlarının oldukça artış gösterdiği bilinmektedir (Williams ve diğerleri, 2009). Nitekim, kadmiyumun çok küçük miktarlarının bile canlılarda toksik etkilere yol açarak, insanlarda kanserojen yapıcı etkilere sahip olduğunun bilinmesiyle; çoğu ülkelerde (Çin, Japonya, Tayvan, Bangladeş, Sri Lanka vs.) olduğu gibi ülkemizde de önemli bir besin kaynağı olan pirinci tüketecek insanların sağlıklarını olumsuz ölçüde ne denli etkileyebileceğinin tahmin edilmesi hiç de zor değildir (Meharg ve ark., 2013).

2.2. Toprağın asitlenmesi

Toprağın asitlenmesi de tarımsal kaynaklı kirliliklerden birisi olup, önemli bir faktördür. Bir toprağın asitlik değeri, pH değeri ölçülerek tespit edilmektedir (Chen ve ark., 2019). Belirlenen pH değeri 7'den küçükse asidik, büyükse alkali (bazik) olarak kabul edilmektedir. Peki, tarımsal ürünlerin yetişme ortamı olan bir toprak, asidik bir değer kazanırsa neler olabilir? Bir toprak asitlendiği zaman, önemli bir tarımsal kirlilik kaynağını da beraberinde getirmektedir. Bu kirlilik kaynağı ise ağır metallerdir. Adeta başka bir tarımsal kirliliğin başyardımcısı olan toprak asitlenmesi, maalesef ki, aynı topraktaki ağır metallerin hızlıca birikimine neden olarak hem başka bir tarımsal kirliliğin daha oluşmasına yardım edebilmekte, hem de sonuç olarak, tarımsal ürünlerle beslenecek, başta insan olmak üzere çeşitli canlıların sağlığında da ciddi olumsuz koşullara neden olabilmektedir. O halde, bir toprağın asitlenmesinde hangi faktörler rol alabilmektedir?

Çoğu ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de tarımsal üretimde, bitkilerin büyüme ve gelişimine katkı sağlamak, ekonomik yönden zararlara sebebiyet verebilecek böcekler, hastalıklar ve yabancı otların yok edilmeleri amacıyla oldukça yoğun bir şekilde kimyasal gübre ve pestisitler kullanılabilmektedir (Duman ve Altuntaş, 2018). Üreticilerin gübre ve pestisitleri aşırı kullanmalarıyla, tarımsal verimliliklerinin artış göstereceği yanılgısına düşmeleri sonucu, özellikle de fazla oranlarda azot içerikli gübreler ve pestisitler yaygın bir şekilde, uzun süreçler halinde, bilinçsizce kullanılabilmektedir. Bu

şekilde gübreler ve pestisitlerin aşırı bir şekilde kullanılmasıyla toprak asitliği artış gösterebilmektedir. Böyle bir etkiye neden olabilen gübreler ve pestisitler, bir toprağın asitlenmesinde oldukça güçlü bir suç ortağıdır (Guo ve ark., 2010).

Toprak asitlik oranlarının artması nihayetinde, ağır metallerin toprakta birikimi de hızla artmaya başlayacak ve en sonunda ise yine bu zarar, canlıların sağlığına negatif bir ölçüde etki edebilecektir. O halde, tarımsal üretimde ürün veya toprak üzerinde kullanılabilen kimyasal gübre veya pestisitlerin aşırı dozlarda, sürekli olarak kullanımları; toprak asitliğine, toprakta ağır metal birikimine, gübre/pestisitlerin sulama veya yağmurla yıkanmaları aracılığıyla yüzey sularına karışarak suların kirletilmesine ve kullanılan gübre/pestisitlerin belirli sıcaklıkta meydana gelebilecek buharlaşmaları yoluyla atmosfere ulaşmaları sonucu meydana gelebilecek hava kirliliklerine neden olabilmektedir (Zhao ve ark., 2015; Hu ve ark., 2016). Bu çarpıcı tablo, aslında tarımsal kaynaklı kirlilik sebeplerinin çoğunda rol alabilen, gübre ve pestisitlerin tarımsal üreticiler tarafından kullanımına ne denli dikkat edilmesi gerektiğinin önemli bir göstergesidir. Buna göre, aşırı dozlarda kullanıldıklarında sanki birer domino taşı gibi sırasıyla, önemli tarımsal kirlilik kaynaklarının yaşanmasına ve en sonunda da yine tüm zararlara canlıların maruz kalmasına neden olan bu olayların başrolünde de maalesef ki yine insanlar yer almaktadır. Aslında, besin zincirine göre her canlının küçük veya büyük ölçüde önemli bir işleve sahip olduğunu bildiğimiz dünyada, ortamımızı paylaştığımız diğer canlılarla birlikte

yaşadığımız doğada, atacağımız her bir adımda zararlara da faydalara da yine biz canlıların maruz kalabileceğini devamlı akılda bulundurmak faydalı olacaktır.

Konuyla ilgili olarak, bu kısımda değinilmesi gereken önemli bir husus da, canlıların özellikle de insanların sağlığında ciddi olumsuzluklara neden olabilen bilinçsiz kimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımlarına, çevre dostu bir yaklaşım oluşturan 'Güvenli/Güvenilir Gıda' kavramıdır. Son yıllarda bu kavramın oldukça dikkat çekmeye başladığı düşünülürse; bir gıda veya tarımsal ürünü güvenilir kılmanın önemli bir kriteri ise yetiştirilen herhangi bir tarımsal ürünün üretiminden hasat ve pazarlanmasına kadar geçen zamanda, çevreyle dost yaklaşımları uygulayabilmek ve kimyasalların doğal çevre üzerine olan olumsuz etkilerinin de olabildiğince en aza indirgenebildiği yaklaşımları seçebilmektir (Foley ve ark., 2011).

2.3. Yer altı ve yüzey suları kirliliği

Yer altı ve yüzey sularının kirliği, tarımsal kirlilik kaynaklarını oluşturan bir diğer önemli etmendir (Pizzol ve ark., 2011). Yer altı ve yüzey sularının kirlenmesi, özellikle de karasal iklimlere sahip ve az yağış alan birçok bölge veya ülkelerde, oldukça önemli bir problemi teşkil edebilmektedir. Bu bölge veya ülkelerde, zaten kısıtlı miktarlarda bulunan su imkanlarının bir de kirlilikle kalitelerinin bozulması, hem ekonomik olarak olumsuz ölçüde bir külfet oluşturacak, hem de suyun vazgeçilmez olduğu canlıların sağlıklarında da olumsuz koşullara neden olabilecektir. Bununla

birlikte, özellikle de pek yakın bir gelecekte adeta bir felaket senaryosu olarak gerçekleşmesi beklenen küresel iklim krizleriyle birlikte, suya ihtiyacın oldukça hissedileceği kuraklıkların daha fazla artacağı düşünülürse, yer altı ve yüzey sularının kirliliklerinin ne derece ciddi sorunlara gebe olabileceğini tahmin etmek zor değildir (Ruan ve ark., 2020).

Peki, yaşadığımız bölgede tarımsal faktörlerden kaynaklanan su kirlilikleri nasıl gerçekleşmektedir? Özellikle hammaddesine yakın olmak amacıyla kurulan tarımsal sanayi kuruluşlarının çalışmasıyla, bol miktarlarda toksik ağır metallerin, topraklara ve tarımsal ürünlere kolaylıkla geçebileceğinden yukarıda söz edilmişti. Toprakta ve tarımsal ürünlerde hali hazırda bulunan ağır metallerin, tarımsal üretim aşamasında bitki ve toprak için elzem ihtiyaç olan sulamalar ve yağan şiddetli yağmurlar aracılığıyla yıkanarak, nehirlere, göllere yer altı ve yüzey suları ortamlarına kolaylıkla geçmesi, önemli su kirliliklerine neden olabilmektedir (Fais ve ark., 2016; Huang ve ark., 2016; Shammi ve ark., 2016; Shohel ve ark., 2018; Edelstein ve Ben-Hur, 2018). Burada, tarımsal üretimde yapılan sulama konusuna kısaca değinirsek, özellikle de belli başlı tarımsal ürünlerde halen sıklıkla tercih edilen salma sulamanın kullanılması, daha fazla miktarlarda ağır metallerin çeşitli su ortamlarına nüfuz etmesi anlamına gelmekte olup, bu sulama çeşidi, su kirliliklerini daha fazla arttırabilmektedir. Bu sebeple, su kirliliklerinde tarımsal üretimde kullanılan sulama çeşidi de çok önemli olmakla birlikte, kirliliklere daha az yol açabilecek damla sulama tekniğinin tercih edilmesinin

daha uygun olacağı düşünülmektedir (Shanafield ve ark., 2010).

Yine, toprağın asitlenmesi bölüm başlığında da değinildiği üzere, üreticiler tarafından bilinçsizce ve uzun süreli olarak doz aşımı bir şekilde kullanılan kimyasal gübre ve pestisitler de aynı şekilde, sulamalar ve yağmurlarla birlikte yıkanıp sulara geçerek, çeşitli kirliliklere sebebiyet verebilmektedir (Smith ve Sicilliano, 2005; Scanlon ve ark., 2007; Beketov ve ark., 2013; Masiá ve ark., 2015; Moldovan ve ark., 2018; Mas-Pla ve Menció, 2019; Quintana ve ark., 2019). Yapılan bir araştırmada, tarımda aşırı dozlarda kullanılan kimyasal gübrelerden nitrojen ve fosforlu içeriklerin, yer altı ve yüzey sularına geçerek, bu ortamlarda ciddi derecede kirliliklere neden oldukları bildirilmektedir (Parris, 2011; Liu ve ark., 2021). Yine, pestisitlerle ilgili çarpıcı bir örnek olarak bir araştırmada, ülkemizde de geçmişte kullanılan, canlılar üzerinde oldukça toksik olan ve insanlarda kanserojen etkilerinin olduğu bilinen 'DDT' adlı bir pestisitin, günümüzde halen belirli bölge veya ülkelerde, yer altı ve yüzey suları ortamlarında tespit edildiğinin belirtilmesi oldukça vahim bir tablodur. Ayrıca, bu zararlı pestisitin su ekosistemlerinde yarılanma ömrünün dahi en az 5 yıl olduğunun bilinmesi ise bu tabloyu daha da korkunç bir hale getirmektedir (Kayhan, 2020).

Buna göre, ister toprak veya tarımsal üründe bulunan ağır metaller vasıtasıyla, isterse de yine toprak veya tarımsal üründe bulunan fazla gübre ve pestisitlerin yıkanmasıyla olsun, her iki koşulda da maalesef ki ortak düşünce, yine zarara maruz kalanın hep canlıların olduğu ve onların sağlıklarının kötü etkilendiği yönünde birleşmektedir (Thiere

ve Schulz, 2004; Behailu ve ark., 2016; Satterthwaite, 2016). Bu nedenle, canlılar üzerinde, suların kirlenmesinin getirebileceği olumsuz koşulları önleyebilmek için mutlaka yer altı ve yüzey sularının kalitelerinin, belirli zamanlarda devamlı ölçülmesi çok önemli olmakla birlikte, eğer kirlilik söz konusuysa, doğabilecek sorunlara erken önlem alınabilmesi de bir o kadar önemlidir (Bekturganov ve ark., 2016).

2.4. Hava kirlilikleri

Tarımsal kaynaklı kirlilik sebeplerinden bir diğeri de hava kirlilikleridir. Tarımsal sebeplerle ortaya çıkan bu kirlilik yolu, diğer tarımsal kaynaklı kirlilik yollarına göre belki de daha az önemsenmektedir. Fakat atmosfer, kendisine ulaşan tüm zararlı etkileri yavaş yavaş bünyesinde biriktirir ve en sonunda da bir patlama etkisiyle varlığını önemli derecede hissettirir. Bu nedenle, hava kirliliklerinden doğacak sorunların çözümü, diğer tarımsal kirliliklere göre, hem daha çok zor hem de daha maliyetlidir. O halde, hava kirlilikleri de, diğer kirlilik yolları kadar önemsenmesi ve dikkate alınması gereken kirliliklerdir. Buna göre, oluşabilecek sorunları önceden tespit etmek amacıyla, belirli zaman ve sürelerde, atmosfer kalitesinin mutlaka ölçülmesi gerekmektedir (Singh, 2021). Peki, tarımsal etkilerden kaynaklanan hava kirlilikleri nasıl oluşmaktadır?

Öncelikle, tarımsal üretimde, ülkemizde de üreticilerin sıklıkla tercih ettikleri, hasattan arta kalan sap ve saman benzeri materyalleri yakmaları şeklinde ortaya çıkan yöntem, hava kirlilikleri

problemlerine çok önemli ölçüde neden olmaktadır. Ülkemizde, anız yakma şeklinde bilinen bu yönteme, üreticiler tarafından, hasat sonrası bitkisel artıklardan kolaylıkla ve zahmetsiz bir şekilde kurtulmak amacıyla başvurulmaktadır. Bir üretici tarafından, anız yakma işlemi gerçekleştiğinde, oldukça hızlı bir şekilde atmosfere doğru, çeşitli kötü etkilere sahip gazlar, partiküller ve özellikle sera gazları ulaşabilecek ve orada birikecektir. Tüm zararlı birikimlerden dolayı ise zamanla hava kalitesi de bozulmaya başlayacak ve önemli zararlara sebebiyet verebilecek çeşitli atmosferik kirlilikler ortaya çıkabilecektir. Ne yazık ki, yaşanan hava kirliliklerinin, canlıların sağlığı üzerinde oluşturabileceği zararlı etkileri hesaba katılmamaktadır. Bir anız yakıldığında, toprakta yaşayan yararlı mikroorganizma ve toprağı kendine mesken edinmiş karınca, kaplumbağa gibi diğer hayvanlardan tutun da, hava kirliliklerine maruz kalacak olan özellikle de insanlarda, bronşit, astım gibi solunum rahatsızlıkları her geçen gün artabilecek ve de sürpriz olmayacak bir şekilde, bu rahatsızlıklar ileri düzey kanser hastalıklarına dönüşebilecektir. Sonuç olarak ise yine tüm zararlı etkilerden ne yazık ki canlılar nasibini alacaklardır. Toprak içerisindeki yararlı veya zararlı canlıların anız işlemiyle birlikte yakılarak yok edilmesi, aslında kendiliğinden zaten devam eden doğal dengenin bozulmasına neden olacaktır. Örneğin, bir anız yakıldığında, belki de insanlar için zararlı olarak görünen yılanlar ölecek, bu hayvanların popülasyonlarının azalmasıyla, onların beslendiği tarla fareleri popülasyonu ise hızlıca artmaya başlayacaktır. Böylelikle, ne yazık ki yine, üreticinin kendisi bu tarla fareleriyle mücadele etmek

zorunda kalacak, hem zaman hem de ekonomik olarak kayıplar yaşayacak, en sonunda ise yine zarar ibresi kendisine yönelmiş olacaktır. Bu sebeple, tarımsal üreticilerin herhangi bir eylemi gerçekleştirmeden önce, eylemin oluşturabileceği tüm ekonomik hesapları uzun vadeli olarak düşünüp bu şekilde hareket etmeleri, oldukça önem arz etmektedir. Çoğunlukla göz ardı edilen etki olarak ise bir eylem veya yönteme karar vermeden önce, onun canlılar ve çevre üzerinde nasıl bir etkiye neden olabileceği de ayrıca hesaba katılmalıdır (Li ve ark., 2020b).

Anız yakma işleminden başka, hava kirliliklerine neden olan bir diğer önemli tarımsal etki de tarımsal üretimde çoğu üreticiler tarafından, uzun süreli olarak ve bilinçsizce kullanılabilen kimyasal gübre ve pestisitlerdir. Peki, bu gübre ve pestisitler atmosfere kadar nasıl ulaşmaktadır?

Gübre ve pestisitlerin, atmosfere ulaşabilmesinde en önemli faktör, 'sıcaklık' iklim faktörü olmakla birlikte, bu iklim faktörünün 'buharlaştırmayı artırıcı' etkileri sayesinde gerçekleşmektedir. Özellikle de sıcak bölge veya yörelerde, aşırı bir dozda kullanılan gübre veya pestisitlerin, sıcaklıkla birlikte daha fazla buharlaşmaya uğrayıp, büyük oranlarda atmosfere doğru yayılımları gerçekleşmektedir. Ayrıca, ülkemizin önemli bir kesiminin yarı kurak iklimin yani karasal iklimin etkisi altında olduğu düşünülünce, sıcaklık ve buharlaşma faktörlerinin çok önemli olduğu, tarımda kullanılan gübre ve pestisitlerin oranlarına ise bir o kadar dikkat edilmesi gerektiği aşikardır.

Çünkü tarımsal üretimde, ister anız yakma işleminden kaynaklı olsun, isterse de aşırı doz gübre ve pestisitlerin kullanımından kaynaklı olsun, meydana gelebilecek önemli derecede hava kirlilikleri, özellikle de insanlarda, alerji gibi rahatsızlıklar veya astım, nefes darlığı gibi solunum yolu rahatsızlıkları olmak üzere, küçük veya büyük ölçekli çeşitli hastalıklara neden olabilmektedir (Benka-Coker ve ark., 2020).

Yine, tarımsal etki açısından düşündüğümüzde, hava kirliliğine neden olan bir diğer faktör de, tarıma dayanan sanayi kuruluşlarıdır. Ülkemizde de çok sayıda bulunan, zararlı kimyasal ve gazların dışarıya akışını önleyen uygun filtreler kullanmayan bazı sanayi kuruluşlarının atmosfere, kükürtdioksit, azotdioksit, karbondioksit gibi gazları salmalarıyla, zamanla havada biriken bu zararlı gazlar önemli derecede hava kirliliklerine neden olabilmektedirler (Mondol ve ark., 2014; Islam ve ark., 2015; Shohel ve ark., 2018). Sonra, atmosferde oransal olarak fazlaca bulunan kötü etkili bu gazlar; yağmur, kar, sis, çiy gibi doğa olayları aracılığıyla yeryüzüne inerek, özellikle de insanlarda yukarıda da değinilen çeşitli derecede alerji ve solunum yolu hastalıklarına sebebiyet vererek, canlıların sağlığında ciddi oranda problemlere yol açabilmektedirler. Atmosferdeki zararlı gazların bu şekilde iklimsel etkilerle yeryüzüne inmesi olayına ise ‘Asit yağmurları’ denilmektedir. Ayrıca, canlıların sağlığı dışında, asit yağmurları yağdığında tatlı su kaynaklarına da kolaylıkla ulaşabilmekte, buradaki suların kalitelerini bozmakta ve hatta sularda yaşayan canlıların ölümlerine bile neden olabilmektedirler (Yadu ve ark., 2020). Bu bilgiler ışığında, anız yakma yöntemi tercihi, zararlı

kimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımı ve tarımsal hammadde kullanan sanayi kuruluşlarının varlığı gibi çeşitli faktörlerin meydana getirebilecekleri hava kirliliklerine elzem derecede önem verilmesi gerekmektedir. Bu problem, tüm dünya ülkelerinin ortak bir problemidir; ne yazık ki dünyada hava kirliliklerinden dolayı yılda en az 1 milyon insan hayatını kaybetmektedir (Cavkaytar ve ark., 2013).

3. ÖNLEYİCİ TEDBİRLER VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Ağır metaller, asitlik oluşumları, kimyasal gübre ve pestisitler, tarımsal sanayi kuruluşları, uygun olmayan sulama yöntemleri, anız yakma gibi birçok faktörlerin; ekosistemin temel ortamları olan su, toprak ve hava üzerindeki olumsuz etkileriyle birlikte, canlılar özellikle de insanların sağlığında ciddi problemlere neden olabileceği bilinmektedir (Wei ve ark., 2020). Aslında, tarımsal faaliyetlerden doğabilecek kirliliklerin hepsi birbiriyle bağlantılı olup, bir kirlilik sorununu diğerinden ayırmak oldukça güçtür (Ingold ve Fischer, 2014). Örneğin, aşırı doz gübre ve pestisitlerin kullanımı ile gübre ve pestisitlerin bir kısmı, toprağın asitleşmesine yol açarak, asitlenen toprağın bünyesinde daha fazla toksik ağır metallerin birikmesine neden olmakta ve bu ağır metallerin yıkanmayla da önemli derecede su kirliliklerine sebebiyet verebilmektedir. Yine, gübre ve pestisitlerin diğer kısmı ise yıkanmayla sulara geçip su kirliliklerine, buharlaşmayla atmosfere geçip hava kirliliklerine, ayrıca toprak ve tarımsal ürünlerde kalıntılar yapıp canlılar üzerinde önemli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Nicolopoulou- Stamati ve ark., 2016). Bu tespitler doğrultusunda, üreticilerin gübre ve pestisit

kullanımlarına dikkat etmeleriyle belki de birçok kirlilik sebeplerinin ortadan kaldırılabileceği sonucuna ulaşılabilmektedir.

Bu amaç doğrultusunda günümüzde de birçok araştırmaya konu olan, 'Güvenilir gıda' kavramı ölçütlerine uyarak, çözümler üretebilmek esastır. Buna göre, üreticilerin yetiştirdikleri kültür bitkilerini, hastalık, zararlı ve yabancı ot gibi zararlı etmenlerden korumak amacıyla, sürdürülebilir ve çevreyle dost stratejileri uygulamaları veya kimyasal gübre ve pestisitlerin kullanımlarının en aza indirgenebileceği alternatif yaklaşımları tercih etmeleri oldukça önemli olmaktadır (Sobhy ve ark., 2014).

Gübre ve pestisitlerden başka, diğer bir önemli tarımsal faaliyet kategorisinde değerlendirilebilecek kirlilik kaynağı da; atmosfere, suya ve toprağa kolaylıkla geçebilen zararlı ağır metallerin salınımlarını gerçekleştiren, tarımsal hammaddeyi kullanan sanayi kuruluşlarıdır. Bu kuruluşların varlığıyla ortaya çıkabilecek toprak, su ve atmosfer kirliliklerinin önlenebilmesinde en yapıcı çözümün; zararlı ağır metallerin, gazların, kimyasal maddelerin fabrika bacalarından çevreye yayılışını önleyici uygun filtreler kullanmaları olacağı düşünülmektedir. Önemli derecede hava kirliliklerine yol açabilen, canlıların sağlığında olumsuz koşullara neden olup doğal dengeyi bozabilen bir diğer önemli tarımsal etki de anız yakma yöntemidir. Aslında, bir yöntem olmasının dışında, üreticiler tarafından sadece bir tercih sebebi olarak bakılması gereken bu eylemin uzun vadeli ve kapsamlı etkileri düşünüldüğünde hem canlılar ve çevre üzerinde ciddi zararlı etkilere yol açtığını hem de ekonomik

kayıplara neden olduğunu iyice kavramak ve bu yöntemi hiç tercih etmemek gereklidir.

Yine zararlı ağır metallerin, kimyasal gübre ve pestisitlerin yıkanmaları aracılığıyla, yer altı ve yüzey su kaynaklarına geçerek su kirliliklerine neden olup, canlılar özellikle de insanlar üzerinde önemli sağlık sorunlarına yol açan bir başka tarımsal faaliyet ise sulama yöntemidir. Buna göre kirliliklere yol açmaması bakımından üreticilerin seçebilecekleri en doğru sulama yöntemi damla sulamadır. Damla sulama yönteminin tercih edilmesiyle, hem tarımsal verimliliğin artış göstereceği hem de en önemlisi su kirliliklerinin büyük bir oranda önlenebileceği düşünülmektedir (Belay ve ark., 2017; Aydın ve ark., 2020). Ayrıca çeşitli tarımsal faaliyetlerle ortaya çıkan zararlı ağır metal, kimyasal gübre ve pestisitlerin yol açabilecekleri hava ve su kirliliklerini önceden tespit edip, oluşabilecek sorunları önlemek amacıyla uygun planlar yapılarak, geniş çaplı bir izleme-ağı sisteminin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır (Liu ve ark., 2021).

Bu çalışmada, tarımsal kaynaklı olarak gerçekleşebilecek kirlilikler ve bu kirliliklerin ekosistemin önemli bileşenleri olan toprak, hava, su, bitkiler, hayvanlar ve insanlar üzerindeki etkileri ortaya konulmuş ve tüm etkiler kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır. Dünya'da insanlığın ilk başlangıcından bu yana nüfusun sürekli artışına paralel olarak canlıların zorunlu ihtiyacı olan gıda üretimleri aynı oranda artış göstermiş olsa da tarımsal etkinliklerden kaynaklı olan önemli kirlilik sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır. Yaşanabilir bir geleceği inşa

etmenin temel prensiplerinden biri de sürdürülebilir nitelikte tarımsal üretimin planlanmasıdır. Bu doğrultuda gerek tarımsal üretimde gerekse diğer sanayi üretim alanlarında denetlenebilir bir mekanizmanın şeffaf olarak ortaya konulması ve insanların bu konuda bilgilendirilmesi gelecek nesillere daha sağlıklı bir üretim ve yaşam alanı bırakmaya katkı sağlayacaktır.

4. KAYNAKLAR

Aksu-Kocatürk, G. (2021). Türkiye'de kentleşme ve göç olgusuyla ilgili makalelerin dönemsel olarak incelenmesi. *Kent ve Çevre Araştırmaları Dergisi,* 3 (1): 4-27.

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., Wang, M.-Q. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics,* 9 (3): 1-42.

Aydın, B., Öztürk, O., Çobanoğlu, F., Çebi, U., Özkan, E., Özer, S. (2020). Damla sulama desteklemelerinin silajlık mısır üretimi üzerine etkisi: Edirne ili örneği. *International Journal of Agricultural and Wildlife Sciences,* 6 (3): 496-505.

Barakat, A., Ennaji, W., Krimissa, S., Bouzaid, M. (2019). Heavy metal contamination and ecological-health risk evaluation in peri-urban wastewater-irrigated soils of Beni-Mellal city (Morocco). *International Journal of Environmental Health Research,* 30 (4): 372-387.

Behailu, B. M., Pietilä, P. E., Katko, T. S. (2016). Indigenous practices of water management for sustainable services: Case of Borana and Konso, Ethiopia. *SAGE Open,* 6 (4): 1-11.

Beidokhti, M. Z., Naeeni, S. T., AbdiGhahroudi, M. S. (2019). Biosorption of nickel (II) from aqueous solutions onto pistachio hull waste as a low-cost biosorbent. *Civil Engineering Journal,* 5 (2): 1-11.

Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schafer, R. B., Liess, M. (2013). Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* 110: 11039-11043.

Bekturganov, Z., Tussupova, K., Berndtsson, R., Sharapatova, N., Aryngazin, K., Zhanasova, M. (2016). Water related health problems in Central Asia-a review. *Water,* 8 (6): 1-13.

Belay, A., Recha, J. W., Woldeamanuel, T., Morton, J. F. (2017). Smallholder farmers' adaptation to climate change and determinants of their adaptation decisions in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture & Food Security,* 6: 24.

Benka-Coker, W., Hoskovec, L., Severson, R., Balmes, J., Wilson, A., Magzamen, S. (2020). The joint effect of ambient air pollution and agricultural pesticide exposures on lung function among children with asthma. *Environmental Research,* 190: 1-10.

Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö. U., Şekerel, B. E. (2013). Türkiye'de hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık sorunları. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi,* 2: 105-111.

Chandrasekaran, A., Ravisankar, R., Harikrishnan, N., Satapathy, K. K., Prasad, M. V. R., Kanagasabapathy, K. V. (2015). Multivariate statistical analysis of heavy metal concentration in soils of Yelagiri Hills, Tamilnadu, India-spectroscopical approach. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomelecular Spectroscopy,* 137: 589-600.

Chen, S. C., Liang, Z. Z., Webster, R., Zhou, Y., Teng, H. F., Hu, B. F., Zhang, G. L., Arrouays, D., Shi, Z. (2019). A high-resolution map of soil Ph in China made by hybrid modelling of sparse soil data and environmental covariates and its implications for pıllution. *Science of The Total Environment,* 655: 273-283.

De Oliveira, L. M., Das, S., Da Silva, E. B., Gao, P., Gress, J., Liu, Y., Ma, L. Q. (2018). Metal concentrations in traditional and herbal teas and their potential risks to human health. *Science of the Total Environment,* 633: 649-657.

Duman, E., Altuntaş, H. (2018). Genotoxicity of azadirachtin on *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Biological Diversity and Conservation,* 11 (3): 24-30.

Du, Y., Hu, X. F., Wu, X. H., Shu, Y., Jiang, Y., Yan, X. J. (2013).

Affects of mining activities on Cd pollution to the paddy soils and rice grain in Hunan province, Central South China. *Environmental Monitoring and Assessment,* 185: 9843-9856.

Edelstein, M., Ben-Hur, M. (2018). Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae,* 234: 431-444.

Ennaji, W., Barakat, A., Baghdadi, E. M., Rais, J. (2020). Heavy metal contamination in agricultural soil and ecological risk assessment in the northeast area of Tadla Plain, Morocco. *Journal of Sedimentary Environments,* 5: 307–320.

Fais, B., Sabio, N., Strachan, N. (2016). The critical role of the industrial sector in reaching long-term emission reduction,

energy efficiency and renewable targets. *Applied Energy,* 162: 699-712.

Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature,* 478: 337–342.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, L. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science,* 327: 812–818.

Gregory, P. J., George, T. S. (2011). Feeding nine billion: the challenge to sustainable crop production. *Journal of Experimantal Botany,* 62: 5233–5239.

Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., Christie, P., Goulding, K. W. T., Vitousek, P. M., Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in majör Chinese croplands. *Science,* 327: 1008-1010.

Huang, X., He, P., Zhang, W. (2016). A cooperative differential game of transboundary industrial pollution between two regions. *Journal of Cleaner Production,* 120: 43-52.

Hu, B. F., Jia, X. L., Hu, J., Xu, D. Y., Xia, F., Li, Y. (2017). Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze river delta, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 14 (9): 1-18.

Hu, Y. N., Cheng, H. F., Tao, S. (2016). The challenges and solutions for cadmium-contaminated rice in China: a critical review. *Environment International*, 92 (93): 515-532.

Ingold, K., Fischer, M. (2014). Drivers of collaboration to mitigate climate change: an illustration of Swiss climate policy over 15 years. *Global Environmental Change*, 24: 88-98.

Islam, M. F., Majumder, S. S., Mamun, A. A., Khan Md, B., Rahman, M. A., Salam, A. (2015). Trace metal concentrations at the atmosphere particulate matters in the Southeast Asian mega city (Dhaka, Bangladesh). *Open Journal of Air Pollution*, 4 (2): 86–98.

Kayhan, F. E. (2020). İnsektisitlerin doğadaki döngüsü ve sucul çevreye etkileri. *Selcuk University Journal of Science Faculty*, 46 (2): 29-40.

Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Kumar, R., Keshavarzi, A., Bhardwaj, R., Thukral, A. K. (2019). Assessment of soil properties from catchment areas of Ravi and Beas rivers: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 3 (2): 149–157.

Li, L., Wang, K., Chen, W., Zhao, Q., Liu, L., Liu, W., Liu, Y., Jiang, J., Liu, J., Zhang, M. (2020b). Atmospheric pollution of agriculture oriented cities in Northeast China: A case in Suihua. *Journal of Environmental Sciences*, 97: 85-95.

Li, Y., Zhang, B., Liu, Z., Wang, S., Yao, J., Borthwick, A. G. L. (2020a). Vanadium contamination and associated health risk of farmland soil near smelters throughout China. *Environmental*

Pollution, 263: 1-8.

Liu, Y., Wang, P., Gojenko, B., Yu, J., Wei, L., Luo, D., Xiao, T. (2021). A review of water pollution arising from agriculture and mining activities in Central Asia: Facts, causes and effects. Environmental Pollution, 291: 1-11.

Mas-Pla, J., Menció, A. (2019). Groundwater nitrate pollution and climate change: Learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). *Environmental Science and Pollution Research,* 26: 2184–2202.

Meharg, A. A., Norton, G., Deacon, C., Williams, P., Adomako, E. E., Price, A., Zhu, Y. G., Li, G., Zhao, F. J., McGrath, S., Villada, A., Sommella, A., De Silva, M. C. S., Brammer, H., Dasgupta, T., Rafiqul Islam, M. (2013). Variation in rice cadmium related to human exposure. *Environmental Science & Technology,* 47: 5613-5618.

Moldovan, Z., Marincas, O., Povar, I., Lupascu, T., Longree, P., Rota,

J. S., Singer, H., Alder, A. C. (2018). Environmental exposure of anthropogenic micropollutants in the Prut river at the Romanian-Moldavian border: A snapshot in the lower Danube river basin. *Environmental Science and Pollution Research,* 25: 31040-31050.

Mondol, M. N., Khaled, M., Chamon, A. S., Ullah, S. M. (2014). Trace metal concentration in atmospheric aerosols in some city areas of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Scientific and*

Industrial Research, 49 (4): 263–270.

Naila, A., Meerdink, G., Jayasena, V., Sulaiman, A. Z., Ajit, A. B., Berta, G. (2019). A review on global metal accumulators-mechanism, enhancement, commercial application, and research trend. *Environmental Science and Pollution Research,* 26: 26449-26471.

Naveedullah, M. Z. H., Chunna, Y., Hui, S., Dechao, D., Chaofeng, S., Liping, L., Yingxu, C. (2013). Risk assessment of heavy metals pollution in agricultural soils of Siling reservoir watershed in Zhejiang Province, China. *BioMed Research International,* 2013: 590306–590310.

Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., Hens, L. (2016). Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health,* 4: 1-8.

Parris, K. (2011). Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: Recent trends and future prospects. *International Journal of Water Resources Development,* 27 (1): 33-52.

Pizzol, L., Critto, A., Agostini, P., Marcomini, A. (2011). Regional risk assessment for contaminated sites part 2: ranking of potentially contaminated sites. *Environment International,* 37 (8): 1307-1320.

Quintana, J., De La Cal, A., Boleda, M. R. (2019). Monitoring the complex occurrence of pesticides in the Llobregat basin, natural and drinking waters in Barcelona metropolitan area (Catalonia, NE Spain) by a validated multi-residue online analytical

method. *Science of The Total Environment*, 692: 952-965.

Ruan, H. W., Yu, J. J., Wang, P., Wang, T. Y. (2020). Increased crop water requirements hava exacerbated water stress in the arid transboundary rivers of Central Asia. *Science of The Total Environment*, 713: 1-12.

Satterthwaite, D. (2016). Missing the millennium development goal targets for water and sanitation in urban areas. *Environment and Urbanization*, 29 (1): 99–118.

Scanlon, B. R., Jolly, I., Sophocleous, M., Zhang, L. (2007). Global impacts of conversions from natural to agricultural ecosystems on water resources: Quantity versus quality. *Water Resources Research*, 43 (3): 1–18.

Shammi, S. A., Salam, A., Khan, A. H. (2016). Assessment of metal contamination in water of Bangshi river. *Bangladesh Journal Soil Science*, 38 (1): 27–35.

Shanafield, M., Rosen, M., Saito, L., Chandra, S., Lamers, J., Nishonov, B. (2010). Identification of nitrogen sources to four small lakes in the agricultural region of Khorezm, Uzbekistan. *Biogeochemistry*, 101: 357-368.

Shohel, M., Kistler, M., Rahman, M. A., Kasper-Giebl, A., Reid, J. S., Salam, A. (2018). Chemical characterization of $PM_{2.5}$ collected from a rural coastal island of the Bay of Bengal (Bhola, Bangladesh). *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 4558–4569.

Singh, M. (2021). Organic farming for sustainable agriculture. *Indian Journal of Organic Farming*, 1 (1): 1-9.

Smith, L. E. D., Siciliano, G. (2005). A comprehensive review of constraints to improved management of fertilizers in China and mitigation of diffuse water pollution from agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 209: 15– 25.

Sobhy, I. S., Erb, M., Lou, Y., Turlings, T. C. J. (2014). The prospect of applying chemical elicitors and plant strengtheners to enhance the biological control of crop pests. *Philosophical Transactions of the Royal Society B,* 369: 1-10.

Sun, R., Yang, J., Xia, P., Wu, S., Lin, T., Yi, Y. (2020). Contamination features and ecological risks of heavy metals in the farmland along shoreline of Caohai plateau wetland, China. *Chemosphere,* 254: 1-9.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology,* 101: 133–164.

Thiere, G., Schulz, R. (2004). Runoff-related agricultural impact in relation to macroinvertebrate communities of the Lourens River, South Africa. *Water Research,* 38 (13): 3092–3102.

Tung, T. M., Yaseen, Z. M. (2020). A survey on river water quality modelling using artificial intelligence models: 2000-2020. *Journal of Hydrology,* 585: 1-62.

Wei, J., Li, Z. Q., Huang, W., Xue, W. H., Sun, L., Guo, J. P., Peng,

Y. R., Li, J., Lyapustin, A., Liu, L., Wu, H., Song, Y. M. (2020). Improved 1 km resolution $PM_{2.5}$ estimates across China using the space-time extremely randomized trees. *Atmospheric Chemistry and Physics,* 20 (6): 3273-3289.

Williams, P. N., Lei, M., Sun, G. X., Huang, Q., Lu, Y., Deacon, C., Meharg, A. A., Zhu, Y. G. (2009). Occurrence and partitioning of cadmium, arsenic and lead in mine impacted paddy rice: Hunan, China. *Environmental Science & Technology,* 43: 637-642.

Wu, H. Y., Yang, F., Li, H. P. (2019). Heavy metal pollution and health risk assessment of agricultural soil near a smelter in an industrial city in China. *International Journal of Environmental Health Research,* 30 (2): 174-186.

Yadu, A., Satapathy, M., Sahariah, B. P., Anandkumar, J. (2020). Realistic approach for bioremediation of heterogeneous recalcitrant compounds. *Combined Application of Physico-Chemical & Microbiological Processes for Industrial Effluent Treatment Plant, Springer, Singapore,* 237-260 pp.

Zhang, X., Yan, L., Liu, J., Zhang, Z., Tan, C. (2019). Removal of different kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infiltration facility. *Applied Sciences,* 9 (20): 1-12.

Zhao, F. J., Ma, Y., Zhu, Y. G., Tang, Z., McGrath, S. P. (2015). Soil contamination in China: current status and mitigation strategies. *Environmental Science & Technology,* 49: 750-759.

BÖLÜM 2

TARIMDA PESTİSİTLER: DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE KULLANIMLARI

Dr. Öğr. Üyesi Alper POLAT[1]

[1] *Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl, Türkiye., 0000-0002-4574-8333, alperpolat25@hotmail.com

1. Giriş

Tarımsal faaliyetler, geçmişten günümüze kadar her zaman önemini korumuş ve değerli olmuştur. İçinde bulunduğumuz yıllarda yaşadığımız Covid-19 salgını ve hızlı nüfus artışı da göstermektedir ki tarım ve beslenme, önümüzdeki yıllarda da hayati önemini korumaya devam edecektir. Tarım, insanlar ve canlılara besin temin etmekte, ayrıca gıda, tekstil, sanayi gibi birçok sektör için de kaynak ve hammadde sağlamaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, dünya nüfusu 2050 yılına kadar dokuz milyara ulaşacak ve buna paralel olarak gıda maddesi ihtiyacının, şimdikinden çok daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Dünyadaki gıda maddesi ihtiyacı artmasına rağmen, tarım alanlarının aynı kalması, bu alanların verimli bir şekilde kullanılmasını ve verim artışı sağlanmasını zorunlu kılmaktadır. Tarımsal üretimde, verimi artıran en önemli üretim girdilerinden biri ise pestisit olarak bilinen tarım ilaçlarıdır. Pestisitlerin çok çabuk etki göstermesi ve kısa sürede sonuç alınması yaygınlaşmalarını ve kullanım sahalarını artırmıştır (Sayıncı vd., 2019; WHO, 2022).

Pestisitler tarımda ürün kayıplarını önlemek, verim ve kaliteyi artırmak amacıyla, özellikle de zararlı, hastalık etmeni ve yabancı otlara karşı kullanılan tarım ilaçlarıdırlar (Yıldırım, 2012). Tarımsal ürünlerin üretilmesinde pestisitler kullanılmadığı takdirde verim ve kalite düşmektedir. Tarımsal üretimde, zararlı, hastalık ve yabancı otlara karşı yoğun olarak kimyasal mücadele ve bu kapsamda pestisitler uygulanmakta, ancak bu mücadelenin etkili olmaması durumunda ise

% 40'lara varan oranlarda ürün kayıpları yaşanabilmektedir. Tarımsal zararlılara karşı, kimyasal mücadele ile birlikte veya kimyasal mücadelenin yerine biyolojik mücadele de uygulanabilmektedir. Bununla birlikte, zararlı etkenlerin özellikle epidemi veya salgın yapmalarının önüne geçilebilmesi için, genellikle pestisit kullanımı gerekmektedir. Etkin şekilde, doğru ve zamanında yapılan pestisit uygulamalarından çoğunlukla olumlu geri dönüşümler alınabilmekte, buda zararlı popülasyonlarının etkili bir şekilde kontrol edilmesine ve pestisit tüketiminin azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Dağ, vd., 2000; Matthews, 2004; Tanış, 2019).

Sahip olduğu tarım alanları ve yüzölçümü bakımından büyük bir potansiyele sahip olan ülkemizde, tarım sektörü, 6.1 milyonluk istihdam ve 62.7 milyar dolarlık geliri ile ekonomimiz içinde önemli bir paya sahiptir (Anonim, 2022). Ülke nüfusunun her yıl % 2.5 oranında artması, tarım alanlarının giderek azalması gibi sebepler, birim alandan elde edilen ürünün daha fazla ve kaliteli olmasını zorunlu kılmaktadır. Bütün bu sebeplerden dolayı, Dünya'da ve ülkemizde pestisit kullanımının arttığı görülmektedir (Caferoğlu, 2009). Ancak pestisitler gerekli, uygun dozlarda ve doğru zamanlarda kullanıldıklarında faydalı olurken, bilinçsizce ve uygun olmayan dozlarda ve yoğunluklarda kullanıldıklarında ise çevre kirliliğine sebep olmakta, hem çevreye, hem de hedef organizmanın dışındaki canlılara ve bunun yanı sıra faydalı canlılara da zarar verebilmektedirler (Efecan, 2014). Genellikle, uygulanan pestisitlerin yalnızca % 0.1 oranında hedeflenen organizmalara ulaştığı geri kalan kısmının toprak ve sudaki

organizmaları olumsuz yönde etkileyerek, besin zincirine zarar verdiği tahmin edilmektedir (Sande vd., 2011; Mahmood vd., 2016). Bu durumda göstermektedir ki pestisitler çevreyi kirleterek, insanların ve diğer canlıların sağlığını olumsuz yönde etkilemekte ve sonuç olarak akut ve kronik hastalıklara sebep olabilmektedirler (Carriger vd., 2006; Mostafalou and Abdollahi, 2012).

2. Dünya'da Pestisit Kullanımı

Dünya çapında pestisitlerin kullanımı, son 20 yılda kilogram-yıl bazında 3,5 milyar dolarlık rakamlara ulaşmış olup, buda 45 milyar dolar değerinde küresel bir pazara karşılık gelmektedir. Bu durum, Dünya'da pestisit kullanım oranlarının özellikle, son dönemlerde hızlı bir artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. 1960'lı yıllarda, pestisitlerin dünyadaki pazar büyüme oranları en yüksek değerlerine ulaşarak % 12'leri bulmuş, 1980 ve 1990'lı yıllarda ise bu oran % 2 seviyelerine gerilemiştir. 2014 yılında ise kullanım oranları % 3 seviyelerine yükselmiştir (Pretty and Bharucha, 2015). 1950'li yıllarda pestisit üretimi 0.2 milyon ton civarlarında iken, 2000'li yıllara gelindiğinde ise bu miktar oldukça artarak 5 milyon tona kadar ulaşmıştır (Katip, 2019).

Avrupa ülkelerinde başlıca pestisit gruplarının satışlarını gösteren raporlar incelendiğinde, en fazla pestisit satışlarının % 20 oranıyla İspanya'da ve % 19 oranıyla da Fransa'da olduğu belirlenmiştir. Yine aynı raporlar incelendiğinde, en az pestisit satışı yapılan ülkelerin, % 0 ile Malta ve Lüksemburg olduğu anlaşılmaktadır. En çok kullanılan pestisit gruplarına bakıldığında ise, % 44 ile fungusit ve bakterisitlerin, % 33 ile herbisit ve algisit, % 14 ile diğer bitki koruyucularının, % 5 ile

insektisit ve akarisitlerin, % 3.6 ile diğer pestisitlerin kullanıldığı görülmüştür (Katip, 2019). Bu oranlar incelendiğinde, Avrupa'da en çok satılan pestisitlerin fungusitler ve pestisitler olduğu ortaya çıkmaktadır.

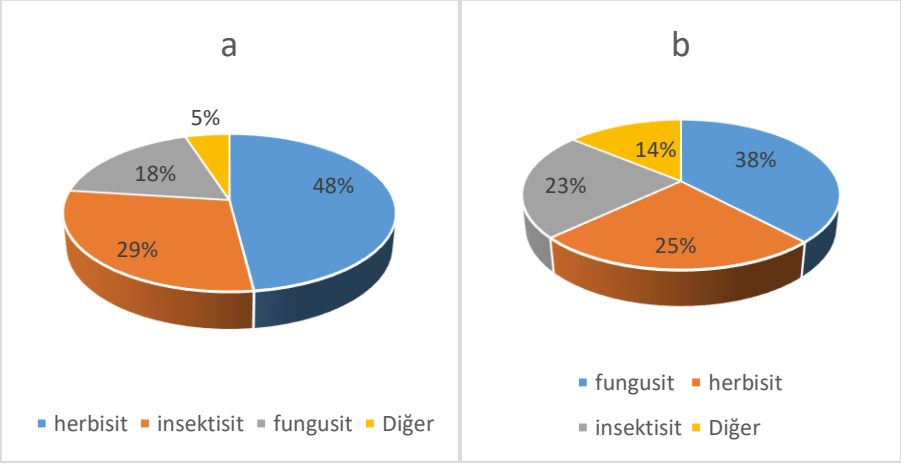
Dünya'da en çok kullanılan pestisitlere bakıldığında ise, % 48 oranıyla herbisitlerin ilk sırayı aldığı, bunu % 29 oranıyla insektisitler, % 18 oranıyla fungusitler ve % 5 oranıyla da diğer pestisit gruplarının izlediği anlaşılmaktadır (De vd., 2014). 1990-2011 yılları arasındaki periyot incelendiğinde, OECD ülkeleri ve Afrika ülkelerinde en çok fungusit ve herbisitlerin kullanıldığı anlaşılırken, Asya ülkeleri ve Latin Amerika ülkelerinde ise insektisit, herbisit ve fungusit kullanımının daha fazla olduğu görülmüştür. Pestisit kullanımının en yoğun olduğu üç ülke ise, Çin, ABD ve Arjantin olmuştur (Pretty and Bharucha, 2015). Dünya'da aktif olarak kullanılan pestisitler ve oranlarına ait dağılımlar Şekil 1a'da gösterilmiştir.

3. Türkiye'de Pestisit Kullanımı

Ülkemizde, 2017 yılındaki toplam tarım ilacı kullanımı 54 bin ton civarında iken, 2018 yılında bu oran % 11 oranında artarak 60 bin ton civarına ulaşmıştır. Ülkemizde, dünyadakine benzer olarak kullanım miktarları bazında en büyük grubu fungusitler oluştururken, fungusitlerin toplam tarım ilacı kullanımı içerisindeki payı ise % 38'dir. Bu miktarın, % 25'ini herbisitler, % 23'ünü insektisitler ve % 14'ünü ise diğer grubu (bitki gelişim düzenleyici, böcek cezbedici, bitki aktivatörü, vs.) oluşturmaktadır (TOB, 2019). Dünya'da pestisit kullanımının, pazar büyüklüğü 45 milyar dolar civarında iken,

Türkiye'de pestisit kullanımının parasal değeri ise 600 milyon dolar civarındadır (Kaymak ve Serim, 2015). Bu değerler incelendiğinde, Türkiye'nin, Dünya pestisit pazarında % 1.33'lük bir paya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Türkiye'de aktif olarak kullanılan pestisitlere ait oranlar ve dağılımları Şekil 2b'de verilmiştir.

Ülkemize bölgeler bazında bakıldığında, 2018 yılında en çok tarım ilacı % 29 oranı ile Akdeniz Bölgesi'nde kullanılırken, bu bölgemizi, Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölge'leri takip etmektedir. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde tüketim oranı % 11 gibi düşük bir oranda iken, en düşük tüketim ise % 4 oranı ile Karadeniz Bölgesi'ndedir. En çok pestisit kullanımı olan illere bakıldığı zaman, Antalya % 9'luk oranla en çok pestisit kullanılan iller arasında ilk sırada yer alırken, bunu % 8'lik oranla Manisa, % 7.5'luk oranla Adana ve % 6'lık oranla Mersin illeri izlemiştir (TOB, 2019).



Şekil 1.(a) Dünya'da yoğun kullanımı olan pestisitlerin oranı ve dağılımı, Şekil 2.(b) Türkiye'de kullanılan pestisitlerin oranı ve dağılımı.

4. Pestisitlerin Genel Özellikleri

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından, pestisitler insan ve hayvanlarda oluşabilecek hastalıkları taşıyan gıda, tarımsal ürünler, orman ürünleri veya hayvansal yemlerde bulunabilecek istenmeyen türde canlıları kaçırmak, öldürmek veya kontrol etmek amacıyla kullanılan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Pestisitlerin bir başka tanımı da şöyledir; böcekler, kemirgenler, bakteriler, mantarlar ve yabani otlar dâhil olmak üzere zararlı organizmaları engellemek, kontrol altına almak ya da öldürmek amacıyla kullanılan maddelerdir. Zararlı kavramı, ekinlerin, ağaçların, çimenlerin ve diğer bitkilerin büyümesine ve gelişmesine zarar veren veya bunlarla rekabet eden yabancı otlar içinde kullanılabilmektedir. Çünkü yabani otların su, besin maddeleri ve güneş ışığı için arzu edilen bitkilerle rekabet etmesi de yine istenmeyen bir durumdur. Yine pestisitler, hayvanların vücutlarında bulunabilecek zararlıların kontrol edilebilmesi için uygulanabilen maddeler olarak da bilinmektedirler (UNL, 2022; WHO, 2022). Eğer bir pestisit bir böceği kontrol etmek amacıyla kullanılıyorsa buna insektisit adı verilmektedir. Herbisitler, yabancı otları, rodentisitler fareler gibi kemirgenleri ve fungusitler ise fungusları öldürmek ve kontrol altında tutmak için kullanılan kimyasal maddelerdirler (UNL, 2022).

Pestisitlerin yapısında birçok madde karışım halinde birlikte bulunmaktadır. Formülasyon adı verilen bu karışımın içerisinde, etken veya aktif maddeler, yardımcı maddeler, yapıştırıcı maddeler, emülgatörler, dolgu maddeleri, uyarıcı maddeler ve bazen de su veya

çeşitli sıvı maddeler bulunabilmektedir. Pestisitlerin bu şekilde farklı maddelerle bir arada kullanılmasında; insan ve çevre sağlığına olan zararlı etkilerin azaltılması veya minimuma indirilmesi, daha az maliyetli hale getirilmeleri ve içerisinde bulunan renkli sıvı veya maddelerle insanların veya canlıların uyarılması gibi amaçlar güdülmektedir.

Formülasyon içerisindeki maddeler, pestisitin katı, sıvı veya gaz olmasına göre değişebilmektedir.

Bir pestisitin genel olarak taşıması gereken özellikler ise şu şekildedir;

-Etkili olması,
-Güvenilir olması,
-Biyolojik olarak aktif olması,
-Kolayca çözünebilmesi ve kalıntı bırakmaması,
-Yeterince kararlı (stabil) olması,
-Çevreyi kirletmemesi, kirliliğe sebep olmaması ve çevre için kabul edilebilir olması,
-Ucuz ve etkili olması,
-Hedef alınan canlıya ve organizmaya spesifik olması,
-Yabani hayata zararlı olmaması,
-Aşırı toksik olmaması,
-Kullanıcılar açısından güvenilir olması,
-Kolayca uygulanabilir olmasıdır

5. Pestisitlerin Sınıflandırılması

Pestisitler çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilirler. Pestisitlerin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan kriterler, toksisite (zarar verme derecesi), öldürdüğü hedef organizma, pestisitin fonksiyonu, kimyasal bileşimi, giriş şekli, etki şekli, nasıl veya ne zaman çalıştıkları, formülasyonları ve orjin kaynağına göre sınıflandırılmasıdır. Pestisitlerin farklı şekillerde sınıflandırılabilmesi, gıdaları korumak veya daha iyi mahsuller elde edebilmek için pestisitlerin risk faktörlerinin göz ardı edilmeden kullanılmasına imkân verir. Böylece pestisitlerin gereksiz ve aşırı bir şekilde kullanımı önlenmiş, kullanımları sırasında uygulayıcıların onlara maruz kalması önlenerek toksik etkileri minimuma indirilmiş olmaktadır (Meb, 2012; Akashe et al., 2018).

Pestisitlerin toksik etkisi, temelde doz ve zaman gibi iki faktöre bağlıdır. Böylece, pestisitlerin ne kadar ve ne sıklıkla uygulandığına ve maruz kalındığına göre, akut ve kronik toksisite olmak üzere iki farklı toksisite etkisi ortaya çıkmaktadır (Akashe et al., 2018).

Akut Toksisite: Bir insan, hayvan veya bitkinin, bir pestisitin, tek bir kısa süreli dozuna maruz kalması halinde ortaya çıkan durumdur. Yüksek akut toksisiteye sahip bir pestisit, çok düşük miktarlarda bile ölümcül olabilir. Akut toksisite, akut oral toksisite, veya akut dermal toksisite olarak da görülebilir (Akashe et al., 2018).

Kronik Toksisite: Kronik toksisite, uzun bir süre boyunca maruz kalınan bir pestisitin gecikmiş zehir etkisidir. Genellikle, gıda ürünleri,

su veya hava yoluyla pestisitlerin düşük dozlarda fakat uzun süreli alınması sonucunda veya pestisitlere direk olarak maruz kalanlarda kronik toksisite gelişmektedir (Akashe et al., 2018).

Pestisitlerin sınıflandırılmasında kullanılan bir başka önemli faktörde LD_{50} (Lethal doz) kavramıdır. LD_{50}, oral veya dermal yolla vücuda girdiği zaman, hedef popülasyondaki canlıların yarısını öldürmek için gereken pestisit miktarı olarak tanımlanmaktadır. % 50 öldürücü doz veya ortalama öldürücü doz olarak da bilinen lethal doz, hedeflenen organizmanın kilogram canlı ağırlığına miligram cinsinden verilmesi gereken insektisit miktarıdır. LD_{50} değeri insektisitlerin ne kadar zehirli olduğu hakkında bilgi verir ve değeri ne kadar küçükse insektisit zehirliliği o kadar artmaktadır. Bundan dolayı LD_{50} değeri küçük ilaçların kullanılmasında hassas ve dikkatli olunması son derece önemlidir (WHO 2009a, 2009b; Yıldırım, 2012).

5a. Pestisitlerin formülasyon şekillerine göre sınıflandırılması

-Islanabilir toz ilaçlar (WP)
-Emülsiyon konsantre ilaçlar (EC, EM)
-Toz ilaçlar (DP)
-Suda çözünebilir toz ilaçlar (SP)
-Kuru tohum ilaçları (DS)
-Solüsyon konsantre ilaçları (SC)
-Granüller (GR), mikro granül (MG), ince granül (FG), suda dağılabilen granül (WG)
-Akıcı konsantre ilaçlar (FC)
-Pelletler (PL)

-Aerosoller (AE)

-Zehirli Yemler (RB)

-Yazlık ve kışlık yağlar

-Çok düşük hacimli ilaçlamaya uygun, sulandırılmadan kullanılan sıvı ilaç formülasyonlar (ULV)

-Gaz halinde olanlar (VP-GA) vb.

5b. Pestisitlerin kullanıldıkları zararlı gruplarına göre sınıflandırılmaları

-İnsektisit: Böcekleri öldüren ilaçlardır.

-Fungusit: Fungusları öldüren ilaçlardır.

-Fungustatik: Fungusların faaliyetlerini durdurmak için kullanılan ilaçlardır.

-Herbisit: Yabancı otları öldüren ilaçlardır.

-Afisit: Yaprak bitlerini öldüren ilaçlardır.

-Akarisit: Akarları öldüren ilaçlardır.

-Nematisit: Nematodları öldüren ilaçlardır.

-Rodentisit: Kemirgenleri öldüren ilaçlardır.

-Bakterisit: Bakterileri öldüren ilaçlardır.

-Fungusit: Fungusları öldüren ilaçlardır.

-Virisit: Virüsleri öldüren ilaçlardır.

-Avenisit: Kuşları öldüren ilaçlardır.

-Mollustisit: Salyangozları öldüren ilaçlardır.

-Algisit: Algleri öldüren ilaçlardır.

5c. Zararlıların Biyolojik Dönemlerine Göre Sınıflandırılmaları

-Erginleri öldürenlere, adultisit
-Larvaları öldürenlere, larvisit
-Yumurtaları öldürenlere, ovisit
-Hem yumurta, hemde larvaları öldürenlere, ovalarvisit, denilmektedir.

5d. Pestisitlerin Etki Şekillerine Göre Sınıflandırılmaları

1. Bitkide Etkili Olanlar:

a. Sistemik Etkililer

Bitkilerin iletim demetlerini kullanarak taşınan ilaçlardır. Toprağa veya direk yapraklara uygulanmaktadırlar. Toprağa uygulananlar, bitkinin kökleri yoluyla emilerek ksilemler ile taşınırken, yaprağa uygulananlar, yaprakların alt yüzeyinde bulunan floemler aracılığıyla taşınmaktadır.

b. Yarı Sistemik Etkililer

c. Sistemik Olmayanlar

2. Zararlıda Etkili Olanlar

a. Mide Zehirleri

Bu gruptaki pestisitler, zararlıların vücuduna ağız yoluyla alındıktan sonra, sindirim sistemine geçerek zehirlenmelere sebep olurlar. Zararlıların vücuduna, kemirilen bitki parçaları ile veya yemler ile alınırken, sokucu-emici böceklerde ise bitki özsuyu ile vücuda girmektedirler.

b. Kontak (Temas) Zehirleri

Zararlıların ilaçlanan yüzeylerde gezinmeleri sırasında, kütikula yoluyla vücutlarına girmekte ve etkili olmaktadırlar.

c. Solunum Zehirleri

Kullanıldığı zaman gaz haline geçerek, solunum organları yoluyla vücut içerisine giren ve etkili olan pestisitlerdir (Yıldırım, 2012).

6. Sonuç

Geldiğimiz nokta, kimyasal pestisitler kullanılarak yapılan mücadelenin çevreye olan olumsuz etkilerinden, böceklerin kimyasallara karşı direnç kazanmasına kadar birçok olumsuzluğu barındırması sebebiyle sürdürülebilir olmadığı ve tarımda alternatif yöntemlerin de uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu alternatif mücadele yöntemlerinden biriside biyolojik mücadeledir. Biyolojik mücadele, "zararlıların verdiği zararları en aza indirgemek için bu zararlıların doğal düşmanlarını kullanma" olarak tanımlanabilir. Doğal düşman olarak predatör, parazitoit, parazit ve patojenler kullanılabilmektedir (Yıldırım, 2012).

Günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde kimyasal ilaçların yerini biyopreparatlar almıştır. Biyopreparat olarak bakteri, fungus, virüs ve protozoalara ait organizmaların kendileri veya türevleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında, toprak grubu bakteriler en çok gelecek vaat eden biyolojik mücadele etmenleridirler. Çünkü bakteriyel mücadele etmenlerinin üretim teknolojilerinin kolay ve sürekli olması, sadece hedef alınan canlıya etkili olmaları, zararlıların kontrolünde

güvenilir olmaları ve endosporlarının doğada uzun süre kalmaları nedeniyle tercih edilmektedirler (Smith, 1980).

Ülkemizde ise yapılan çalışmaların birçoğu, biyolojik mücadelede kullanılmak üzere predatör, ve parazitoid türlerin üretimi ve uygulanması şeklindedir. Şimdiye kadar bu çalışmalarda birçok olumlu sonuç elde edilmesine karşın, bu çalışmalar dünyadaki benzerlerinin çok gerisindedir. Biyopreparatlar, biyolojik mücadelede büyük bir önem taşımasına rağmen, ülkemizde bu organizmaların biyolojik mücadele etmeni olarak geliştirilmelerine yönelik çalışmalar maalesef ihmal edilmiştir. Eğer gerekli tedbirler alınmazsa doğal veya biyoteknolojik olarak geliştirilmiş biyopreparatlar ülkemiz tarafından yüksek maliyetli bir şekilde ithal edilmek zorunda kalınacaktır.

Sonuç olarak elimizdeki verilerin hepsine bütüncül olarak bakıldığında pestisit kullanımının önemli ve gerekli olduğu, kullanımlarının doğru şekilde ve doğru zamanda yapılması gerektiği, ayrıca uygulamalar da kimyasal mücadelenin yanı sıra alternatif mücadele yöntemlerinin de birlikte ve bir arada değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Aksi takdirde fayda yerine zarar görüleceği, bununda insanlara, canlılara ve çevreye çok olumsuz etkilerinin olacağı açıktır.

7. KAYNAKLAR

Akashe, M.M, Pawade, V.U., Nikam, V.A. (2018). Classification of Pesticides: A review. *International Journal of Research in Ayurveda and Pharmacy*. September: 9 (4), 2018.

Anonim,(2022).https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_tar%C4%B1m#:~:text=T%C3%BCrkiye'de%20tar%C4%B1m%2C%20istihdam%2C,t%C3%BCr%20tar%C4%B1m%20%C3%BCr%C3%BCn%C3%BC%20ihra%C3%A7%20etmi%C5%9Ftir.(Erişim Tarihi: 07.02.2022).

Caferoğlu, E.B., (2009). Tarımsal uygulamaların çevre kirliliğine etkisi ve çözüm önerileri. (Yüksek Lisans Tezi) Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı. Erzurum.

Carriger, J.F., Rand, G.M., Gardinali, P.R., Perry, W.B., Tompkins, M.S., Fernandez, A.M. (2006). Pesticides of potential ecological concern in sediment from South Florica canals: An acological risk prioritization for aquatic Arthropods. *Soil and Sediment Contamination*, 15 (1): 21-45.

Dağ, S.S., Aykaç, V.T., Gündüz, A., Kantarcı, M., Şişman, N. (2000). Türkiye'de tarım ilaçları endüstrisi ve geleceği. Kongre 2000 Kitabı, *TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları*, Ankara.

De, A., Bose, R., Kumar, A., Mozumdar, S. (2014). Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles. New Delhi, Heidelberg, New York Dordrecht London. *Springer*, 99 pp.

Efecan, H. (2014). Halfenprox pestisitinin mutajenik aktivitesinin ames test sistemi ile belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi) Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon.

Katip, A. (2019). Bursa İli tarımsal pestisit kullanımının değerlendirilmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. Araştırma Makalesi. 8 (1): 197-205

Kaymak, S., Serim, A.T. (2015). Pestisit sektöründe araştırma ve geliştirme, *Meyve Bilimi*. 2 (1): 27-34.

Mahmood, I., Imadi, S.R., Shazadi, K., Gul, A., Hakeem, K.R. (2016). Plant, soil and microbes, in effects of pesticides on environment. Edited by Hakeem, K.R. et al., *Springer, International Publishing*, Switzerland, 253-269 pp.

Matthews, G.A. (2004). How was the pesticide. *Applied Crop Protection*. 23: 651-653.

Meb, (2012). T.C. Milli eğitim Bakanlığı, Çevre Sağlığı, *Pestisitler*, Ankara, 48 ss.

Mostafalou, S., Abdollahi, M. (2012). Concerns of environmental persistence of pesticides and human chronic diseases. *Journal of Clinical and Experimental Pharmacology*, 01 (S5), 10-11. DOI: 10.4172/2161-1459.S5-e002.

Pretty, J., Bharucha, Z.P. (2015). Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects*, 6 (1): 152-182.

Sande, D., Mullen, J., Wetzstein, M., Houston, J. (2011). Environmental impacts from pesticide use: A case study of soil

fumigation in Florida. *International Journal Environmental Research Public Health*, 8 (12): 4649-4661.

Sayıncı, B., Demir, B., Açık, N. (2019). Pülverizatör memelerinde damla sıklığı ve pülverizasyon karakteristiklerinin tahminlenmesi. *YYÜ Tarım Bilimleri Dergisi (Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences)*. 29 (3): 458-465.

Smith, R.F. (1980). Consideration on safety of certain biological agents for arthropod control, *Bulletin of the World Health Organization*, 48: 685-698.

Tanış, M. (2019). Bitkisel ilaçlamada sprey karakteristiklerinin taguchi yöntemi ile optimizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi) Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

TOB, (2019). Tarım ve Orman Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü Verileri. www. https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/tarim-ilaci-pestisit-kullanimi-i-85834 (Erişim Tarihi: 08.02.2022)

UNL, (2022). University of Nebraska Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources. https://water.unl.edu/article/crop-production/what-pesticide

WHO (World Health Organization) (2009a). The who recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification.http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_2009.pdf. (Erişim tarihi: 03.02.2022)

WHO (World Health Organization) (2009b). The who recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification.http://www.who.int/ipcs/publications/pesticides_2009.pdf. (Erişim tarihi: 04.02.2022)

WHO (World Health Organization) (2022). Guidelines on public health pesticide management policy. SEA-CD-214. New Delhi: (WHO), Regional Office for South-East Asia; 2010. http://www.who.int/ whopes/resources/ SEA_CD_214.pdf (Erişim tarihi: 03.02.2022)

Yıldırım, E. (2000). Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve Kullanılan İlaçlar. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları*, No: 219, Erzurum, 344 s.

Yıldırım, E. (2012). Tarımsal Zararlılarla Mücadele Yöntemleri ve İlaçlar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, No: 219, Erzurum, 330 s.

BÖLÜM 3

MİKROORGANİZMALARIN TARIMSAL KİRLİLİKTEKİ ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Barış ENEZ[1]

[1] Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Bingöl, Türkiye., 0000-00003-4730-3458, benez@bingol.edu.tr

Giriş

Son yıllarda çeşitli endüstriyel ve tarımsal kaynaklardan dolayı birçok çevresel sorun meydana gelmektedir. Bu kirlenmeler canlıların yaşamını olumsuz etkilemektedir (Sönmez ve Demir, 2011). Ağır metaller, bitkisel atıklar, aşırı gübreleme, boyalar ve petrol ürünleri bu kirleticilerin başında yer almaktadır. Bu kirletici maddeler oldukça toksik ve kanserojendir. Günümüzde bu maddelerin uzaklaştırılması ve etkinliklerinin yok edilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta yakma, UV kullanımı ve atıkların bir deliğe boşaltılması gibi yöntemler uygulanmasına rağmen bu yöntemlerin etkinliğinin az olması, yüksek maliyet ve komplike yapıya sahip olmasında alternatif yöntem arayışlarına neden oldu. Bu yöntemler yerine yeni bir teknoloji yöntemi olan biyoremediasyon kullanılmaya başlandı (Aybar ve ark., 2015). Biyoremediasyon, kirletici maddelerin mikroorganizma ve enzimler kullanılmasıyla daha az toksik bir maddeye dönüştürülmesi veya ortadan kaldırılması olarak ifade edilebilir (Dua ve ark., 2002). Bu yöntemi uygulama yeteneğinde olanlar; bakteriler, çeşitli arkea türleri, mantarlar, bitkiler ve bitkilerle ilişkili olan bazı bakteri türleri sayılabilir. Bu yöntem güvenli ve daha ucuzdur (Karigar ve Rao, 2011).

Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar gözle görülemeyen ve genellikle tek hücreli olan canlılardır. Mikroorganizmaların çok çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar; bakteriler, yeşil algler, arkealar, mantarlar (mayalar ve küfler), planktonlar ve protistalar bu grupta yer almaktadır. Mikroorganizmalar dünyanın her yerinde bulunmaktadırlar (Rybicki, 1990; Lwoff, 1957). Bu yerlere örnek olarak atmosferin üst tabakaları, buzullar, toprak, hava, su, yerin en derin kısımları, besinler ve canlı vücudu gibi birçok yer verilebilir. Genellikle mikroorganizmaların zararlı olduğu bildirilir ancak birden fazla yararları vardır. Toprak kirliliklerinin giderilmesi, biyolojik atık su arıtımı, gıda sektörü içerisinde birçok alan da (alkollü içecek üretimi, üzüm suyundan sirke üretimi, sütten kefir-yoğurt-peynir üretimi), maden yatakların ıslahı, B ve K vitamin sentezi ve hayati öneme sahip olan döngüler özellikle azot bağladıklarından dolayı azot döngüsünün en önemli elamanlarıdır. (Töman ve Çeker, 2019)

Şekil 1. Bakterilerin azot döngüsündeki rolü (Anonim 2022a)

Toprak Mikroorganizmaları

Toprak denen yapı, kara yüzeylerini kaplayan ince örtülü ve kaya malzemelerinin taşınarak getirdiği mineral maddelerin birikmesiyle oluşan yapıdır (Nortcliff ve ark., 2006). Toprağın yapısında sadece kum kil gibi organik ya da inorganik maddeler değil aynı zamanda mikroskobik ve makroskobik canlılarda bulunmaktadır. Mikroorganizmalar genellikle topraktan köken alır ve toprakla direk ilişki içerisindedirler. Toprak yapısında çok sayıda bakteri, alg, mantar ve protozoa gibi mikroorganizmalar bulunmaktadır. Toprakta çok fazla bulunmalarına rağmen tam olarak sayıları bilinmemektedir (Gülle ve Özdemir, 2015). Tablo 1' de toprak mikroorganizmalarının grupları gösterilmiştir.

Tablo 1. Toprak mikroorganizmaların gruplandırılması (Gülle ve Özdemir, 2015)

Toprak Mikroorganizmaları	
Mikrobiota	Bakteriler, Algler, Protozoalar ve Mantarlar
Mezobiota	Küçük Arthropod, Enchytroeid, Nemotot, Kollemboller ve (Saksı) Kurtları
Makrobiota	Yumuşakçalar, Arthropodlar Yer Solucanları ve Büyük Enchytroeid

Bu canlıların gelişmeleri, çoğalmaları ve hayatlarını sürdürebilmeleri için toprak uygun ortamdır. Mikroorganizmaların varlığı; toprağın

fiziksel, kimyasal ve biyolojik gelişimi ile verimliliği açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bunun nedeni, bu canlılar olmadan toprağın esas işlevini yerine getirmesi ve toprağın oluşması mümkün değildir. Toprak faunası ile işbirliğinde olan mikroorganizmalar, toprakta bulunan hayvan ve bitki kalıntılarını ayrıştırarak minerallerin açığa çıkmasına katkı sağlar. Bu süreçte oluşturdukları metabolik ürünler toprağın biyokimyasal özelliklerine olumlu katkı sunar. Bu özelliklerden bitkiler de yararlanır. Bu mikroorganizmalar bitkilerin hayati öneme sahip olan süreçleri için çok önemlidir. Ekosistem içerisinde önemli rolü olan toprak mikroorganizmaları toprak faaliyetlerini ve verimliliğini artırmaktadırlar. Toprak içerisinde ki bu canlılar genetik çeşitliliğe de katkı sağlamaktadırlar. Toprağın işlenen kısmı yüzeyden 25-30 cm olan kısmıdır. Bu kısım toprakta ki mikrobiyolojik faaliyetlerin en yoğun olduğu yerdir (Önemli ve Coşkun, 2005). 25-30 cm olan toprağın bu katmanı tarımsal ekosistem açısından oldukça önemlidir. Bu alanda bulunan organik madde miktarı mikroorganizmaların çeşitliliğini ve sayısını önemli derecede etkilemektedir. Organik maddece zengin olan bu katmanın 1 m^2'sinde bulunan mikroorganizmaların ağırlığı ortalama 400-500 gramdır. Tarımın yoğun yapıldığı topraklarda bulunan mikroorganizma kütlesi ve sayısı incelendiğinde; aerobik bakteriler %70'ni, anerobik bakteriler %14'nü, Aktinomisetler %13'nü, mantarlar %2,8'ni, algler, virüsler ve protozoalar ise %0,2'sini oluşturmaktadır (Syed, 2005).

Mikroorganizmalar aracılığıyla çeşitli hidroliz ve sentez işlemlerinden sonra bitkiler için önemli olan karbon, azot, fosfat, demir ve

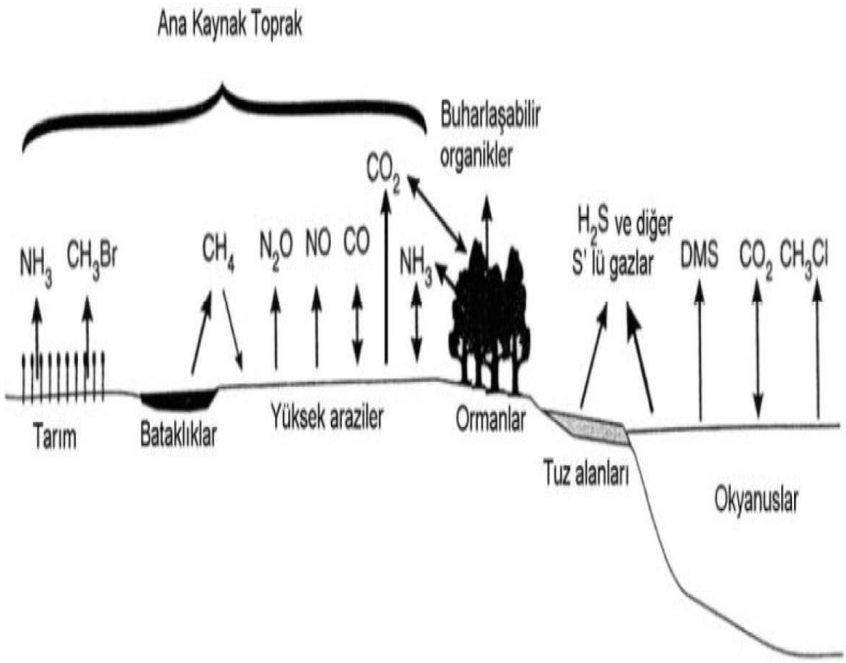
magnezyum gibi elementler ortaya çıkar. Bundan dolayı toprakta bulunan mikroorganizmalar bitki gelişim ve verimliliği açısından oldukça önemlidir. Mikroorganizmalar normal koşullarda bu süreçleri kendi enerji ve beslenmeleri için yaparlar ancak toprakta yetişen bitkilerde bunları kullanarak verimliliklerini artırırlar. Toprakta ki bu canlılar hayvan ve bitkilerin toprağa karıştıktan sonra humus oluşumunu gerçekleştirir. Bu oluşum meydana gelirken aynı zamanda bitkiler için gerekli olan CO_2 de oluştururlar. Toprak mikroorganizmaları, kendi bünyesinde depo ettikleri maddeleri humusa vererek bitkilerin gelişmesine katkı sağlayan hormon gibi maddelerin oluşmasını sağlar. Bunun dışında mikroorganizmalar toprakta tampon görevi görerek toprağın havalanması ve su tutma kapasitesinin artmasına yardımcı olurlar. Toprakta bulunan mikroskobik ve makroskobik canlılar toprağın özelliklerini olumlu yönde etkilediklerinden ekosisteme de faydaları olmaktadır (Karapire ve Özgönen, 2013).

Ekosistemlerde, toprak içerisinde bulunan mikroorganizmaların sayısı ve çeşidi toprakta bulunan organik madde ile ilişkilidir. Bitki ve hayvan kalıntılarını ayrıştıran mikroorganizmalar topraktaki organik madde miktarının artmasını da sağlar. Bunun yanı sıra hasat sonrası oluşan artık maddeler toprakta fazla olması mikroorganizma sayısının o oranda artması ve verimli toprakların meydana gelmesini sağlanmaktadır. Karasal ekosistemlerden olan orman ve çayır alanları organik madde bakımından oldukça zengindiler. Bundan ötürü, mikroorganizmalar buralarda daha baskın ortaya çıkmaktadır (Gülle ve Özdemir, 2015).

Orman ekosistemindeki toplam biokütlenin yaklaşık olarak %2-3'nü mikroorganizmalar oluştururken çayır ekosisteminde bu oran daha da artarak toplam biokütlenin yaklaşık olarak %15-20'sini oluşturmaktadır. Bu değerlere bakıldığında organik madde miktarını artırarak mikrobiyal kütlenin artması sağlanmış olurken buna paralel olarak da tarımsal ekosistemlerdeki verimliliğin artışı elde edilir. Bu döngü neticesinde toprağın kimyasal ve fiziksel olarak olumlu değişimi gerçekleşir (Heckrath ve ark., 2005). Böylece bitkilerin gelişimi ve veriminde de artış olur. Büyük çoğunluğu toprakta üretilen gazlar karasal ve atmosfer arasında sürekli bir döngü halindedirler. Bu gazlar şu şekildedir; Karbondioksit, metan, nitrosoksit, nitrik oksit ve karbonmonoksittir. Metan ve karbondioksit gazı toprakta üretilirken metan gazı aynı zamanda tekrardan toprakta tüketilmektedir. Özellikle dentrifikasyon ve nitrifikasyon olaylarında rol alan mikroorganizmalar NO(Nitritoksit) ve N_2O (Nitrözoksit) gazlarını üretirler. Birçok döngüde rol oynayan mikroorganizmalar ürettikleri gazlar ile atmosferin fizikokimyasal yapısına olumlu katkı sağlamaktadırlar. Bu mikroorganizmalar; sisin meydana gelmesi, ozon tüketimi ve iklimsel olayları da belli ölçüde etkilemektedir. Toprakta bulunan bu canlılar bu gazları hem meydana getirmekte hem de tükettiklerinden ortamda bulunan toplam gazların miktarına etki ederler (Okur ve Kayıkçıoğlu, 2008).

Toprak mikroorganizmaları genel olarak değerlendirildiğinde, dünya için eşsiz bir geri dönüşümcü ve çevre dostudur. Genellikle mikroorganizma deyince akla ilk gelen patojen mikroorganizmalar olsa

da bunların sayısı milyarlarca tür içinde oldukça azdır. Bu patojenlerin aksine geriye kalan çoğunluk kısım ise meydana getirdiğimiz atıkları ortadan kaldırarak diğer canlılara temiz ve steril ortam oluştururlar. Mikroorganizmalar çevreye özellikle de toprağa verilen zehirleri ve sulara bırakılan kirleticileri temizlemektedir. Ortamdaki birçok atığı ve zehri zararsız hale getirdiği gibi onu faydalı bileşene de dönüştürmektedirler (Anonim 2022b).



Şekil 2. Karasal ortamdan atmosfere giden gazların kaynakları (Okur ve Kayıkçıoğlu, 2008)

Tarımsal Kirlilik

Endüstriyel ve tarımsal kaynaklı kirlenmeler, son zamanlarda büyük artış göstererek ciddi anlamda çevresel sorunlara neden olmaktadır.

Nüfus oranın hızlı artmasıyla birlikte kirlilikte artış göstermektedir. Tarımsal uygulamaların biyotik ya da abiyotik yan ürünleri ekosistemlerin kirlenmesine ve bozulmasına neden olmaktadır. Bu tür uygulamaların, ekonomiye olumsuz etki etmesi ve insanlar üzerinde zararlı etkilere yol açması tarımsal kirlilik olarak ifade edilmektedir. Tarımsal kirliliğin kaynaklarına bakıldığın da iki önemli kaynak bulunmaktadır. Bunlar, nokta ve noktasal olmayan kaynaklar olarak ifade edilir. Hava, su, gürültü, termal veya ışık gibi tek kaynaklı olanlar nokta kaynaklı, birden fazla dağınık bir şekilde kaynaktan gelen kirleticiler noktasal olmayan kaynaklar olarak tanımlanır. (Anonim 2022c).

Toprak Kirliliği

Ergene (1993) tarafından yapılan tanıma göre toprak, kayaların ayrışmasından oluşan ürünler ile organik maddeleri bulunduran ve içerisinde hava, su ve canlıları barındıran bir madde olarak nitelendirilir. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak ürün elde edilerek beslenmeyi sağlayan topraklar, zaman geçtikçe kirlenmektedir. Toprak kirliliğine paralel olarak meyve, sebze ve diğer tarım ürünlerinin yetiştirildiği alanlar azalmaktadır (Syed, 2005). Tarımdan kaynaklı kirleticiler, endüstriyel kirleticiler, belediyelerin neden oldukları kirlilikler ve nükleer kirleticiler en fazla olan kirliliklerdir. (Alloway, 1995).

İnsan faaliyetleri neticesinde toprağın yapısal (kimyasal, fiziksel, biyolojik ve jeolojik) olarak bozulması toprak kirliliği olarak ifade edilmektedir. Bu kirlilik, toprağa bırakılan zehirli ve tehlikeli maddeler,

yanlış uygulanan teknikler, fazla kullanılan gübre ve zirai ilaçlar neticesinde ortaya çıkmaktadır (İbadullayeva ve ark., 2019).

Şekil 3. Toprak kirliliği (Anonim 2022d)

Kirlilik kaynaklarından meydana gelen kirleticilerin, birikmesi ve taşınmasına bağlı olarak toprak kirliliğine ve paralelinde ağır metal kirlenmesine, akarsu, nehir, göl kirliliğine ve yer altı sularının kirlenmesine neden olurlar (Jack, 2001). Toprağın kirlenmesi sonucunda toprak ekosistemi içerisinde yaşayan canlılar olumsuz etkilenir.

Toprak içerisinde bulunan mikroorganizmalar, uzun yıllardır organik artıkları parçalayarak toprağın verimliliğini artırmaktadır. Toprak kirliliğinin oluşması bakterileri olumsuz etkilese de toprağın arındırılması için geliştirdikleri mekanizma ile kirliliğin ortadan kaldırılmasına katkı sağlar. Toprağın verimsizleşmesine neden olan

gübre ve pestisitler bu mikroorganizmaları etkilediği gibi bitki besin maddelerinin de üretilmemesine sebep olurlar (Fiedler, 1990).

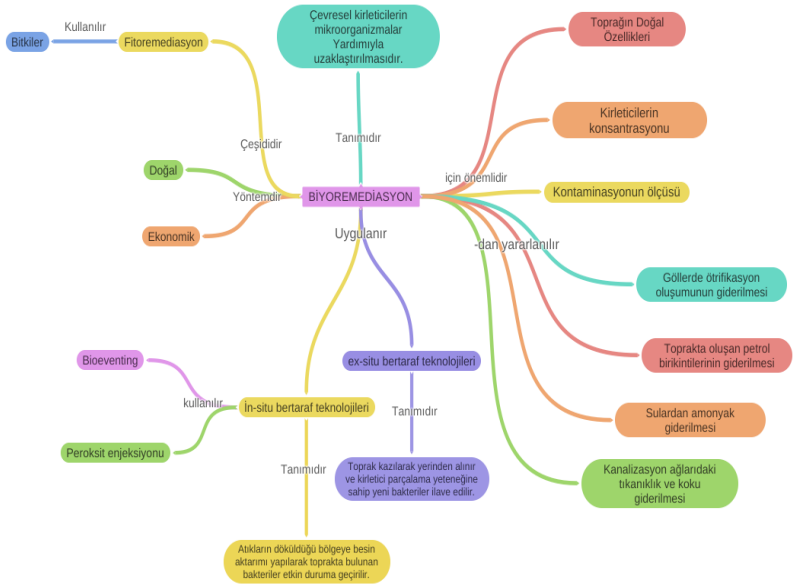
Biyolojik Yöntemler ile Toprak Kirliliğinin Giderilmesi

Hava ve su kirliliği ile ilgili konular da günümüzde birçok mühendislik uygulamaları ve metotlar geliştirilmiştir. Son yıllarda ise yeraltı katmanları ve toprağın temizlenmesinde mikrobiyolojik uygulamaların yer aldığı teorik ve pratik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Biyolojik uygulamalarla zararlı atıkların giderilmesi yeni bir konu olmasına rağmen tehlikeli atıkların giderilmesi yönetimi içerisinde hızla gelişmektedir. Özellikle fiziksel ve kimyasal yöntemlere oranla biyolojik metotların daha ucuz olduğu tespit edilmiştir. Biyolojik yöntem uygulanırken en kritik faktör, kirlenmiş olan bölge için düşünülen biyolojik iyileştirmenin uygun olup olmamasıdır. Bunun yanında temizlenmesi düşünülen alanda bulunan ya da sonradan eklenen mikroorganizmalar tarafından bu maddelerin duyarlılığı oldukça önemlidir (Eweis ve ark., 1998).

Biyolojik İyileştirme (Biyoremediasyon)

Biyoremediasyon, iki terimden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi ‘bios’ yaşam anlamına gelir ve canlı organizmayı ifade ederken ikinci terim ‘remediate’ bir sorunu çözmek anlamına gelir. ‘Bioremediate’ kirlenmiş toprak veya yeraltı suyu gibi çevresel bir sorunu çözmek için biyolojik mikroorganizmaların kullanılması anlamına gelir. Başka bir deyiş ile kirleticileri çevreden uzaklaştırarak orijinal doğal çevreyi eski haline getirmek ve daha fazla kirliliği önlemek için uygulanan bir

teknolojidir (Sasikumar ve Papinazath, 2003). Biyoremediasyon, basitçe kontamine ortamın dekontaminasyonunun biyolojik bir süreci olarak tanımlanabilir. Mikroorganizmaların çeşitli yeteneklerinden yararlanılarak kirlenmiş ortamın temizlenmesi sağlanır (Baggott, 1993).



Şekil 4. Biyoremediasyon (Anonim 2022e)

Atık ürünlerin arıtılması ve dönüştürülmesi için mikroorganizmalar uzun yıllardan beri kullanılmasına rağmen biyoremediasyon, kirlenmiş olan çevrenin dekontaminasyonu, yeni bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojinin uygulanmasının önemli bir örneği olarak belediyelerin atık suyun kontrolü için mikroorganizmalar kullanmaları ve su arıtımını sağlamalarıdır (Sardrood ve ark., 2013). Atık maddeler ve kirlilikler kalıcı olarak ortadan kaldırılabilir. Bunun yanında

kirleticileri ortadan kaldırmak için ucuz ve daha uzun süreli biyolojik sistemlerden yararlanılabilir. Biyoremediasyon tekniği entegre bir şekilde diğer yöntemlerle birlikte uygulanabilir. Biyoremediasyon doğal olarak gerçekleşen bir olaydır ve bundan dolayı toplum tarafından toprak gibi kirliliğe maruz kalmış materyaller için kabul edilebilir bir atıkları giderme süreci şeklinde algılanır. Kirletici madde ortamda olduğunda bu maddelerin artışını mikroorganizmalar azaltır. Arıtma kalıntıları karbondioksit, su ve hücre biokütlesi gibi genellikle zararsız ürünlerdir (King ve ark., 1992). Teorik olarak doğada kirleticilere karşı birden fazla uygulanacak yöntem bulunmaktadır. Biyoremediasyon çok çeşitli kirleticilerin tamamen yok edilmesinde kullanılan yararlı bir teknik olarak kabul edilebilir. Yasal olarak zararlı ve tehlikeli olarak kabul edilen birçok bileşik, zararsız ürünlere biyolojik olarak dönüştürülebilir. Bu şekilde kirlenmiş olan malzemenin işlenmesi ve bertaraf edilmesi açısından gelecekte sorun teşkil etmez. Kirleticilerin çevresel ortamlardan yer değiştirmesi yani karadan suya veya havaya aktarılması yerine tamamen yok edilmesi mümkündür. Biyoremediasyon ile tehlikeli ve riskli kirleticilerin bir ekosistemden diğerine geçişi engellenebilir. Bu yöntem, atık miktarlarının ortamdan taşınma ihtiyacını ve aktarım sırasında oluşabilecek insan sağlığı ve çevreye yönelik potansiyel tehditleri ortadan kaldırır ve diğer teknolojilerden oldukça daha ucuzdur (Sardrood ve ark., 2013; Vidali, 2001).

Bununla birlikte biyoremediasyon teknolojisinin iki dezavantajı vardır. Bunlardan ilki, çok çeşitli organik bileşikler üzerine sadece birkaç

bakteri ve mantarın hareket etmesidir. Bu dezavantaj bir yandan yeni mikrobiyal türlerin keşfi ve biyoaktivitesini tamamlayan mikroorganizmaların senkronize veya ardışık uygulaması yoluyla giderilebilir. Diğer dezavantajı ise etkisini göstermesi ve uygulanmasının uzun zaman almasıdır. Tabi ki farklı çözümler ile bu aşılabilmektedir. Genetik işleme teknikleri, yeni geliştirilmiş veya yeni biyoremediasyon aktivitesi türlerini elde etmek için paha biçilmez bir fırsattır. Başka bir çözüm ise biyoremediasyon yollarını biyokimyasal olarak güçlendirmek için ortama bazı güçlendiricilerin eklenmesi olabilir. Başarılı biyoremediasyon için gerekli olan önemli faktörler; metabolik aktivitesi iyi olan mikroorganizma topluluğu, optimum çevresel büyüme koşuları, uygun besin ve kirletici seviyeleri olarak sıralanabilir. Biyoremediasyon gelecekteki durumlar açısından incelendiğinde, mikrobiyal popülasyonlar hakkında bilgimizin gelişmesi, bunların doğal çevre ve kirleticilerle etkileşimleri ve kirleticileri parçalamak için genetik yeteneklerinin artması gibi olaylar söz konusu olmaktadır. Bu teknoloji, doğal kaynakların korunması ve gelecek nesillere aktarılmasında büyük önem arz eder (Mueller ve ark., 1996).

Biyoremediasyon Tipleri

Atık maddelerin uzaklaştırılmasında başlıca iki biyoremediasyon yolu vardır. Bunlar; *In situ* (saha içi) ve *Ex situ* (saha dışı) arıtım tekniğidir (Keshav ve ark., 2010).

In situ biyoremediasyon, çoğu zaman, kirlenmiş topraklardaki ve yeraltı sularındaki kirleticileri ortadan kaldırmak için yerinde

biyoremediasyon uygulanır. Taşıma maliyetlerinden tasarruf sağladığı ve kimyasal kontaminasyonları ortadan kaldırmak için zararsız mikroorganizmalar kullandığı için kontamine ortamların temizliğinde üstün bir yöntemdir. *In situ* biyoremediasyon bir başka avantajı ise toprak ve yeraltı suyunun eşzamanlı arıtılmasının sağlanmasıdır. Bunun ile birlikte bazı dezavantajları da vardır. Bu yöntem, diğer iyileştirme yöntemlerine kıyasla çok zaman alır ve kontrolü zor olan çevresel faktörlerdeki değişikliklere doğrudan maruz kalması sebebiyle mikroorganizmaların aktivitelerinde dönemsel değişikliklere yol açar (Alexander, 1999).

Ex situ biyoremediasyon, kontaminasyon alanından uzak bir yerde gerçekleştiğinden kirlenmiş toprağın taşınması ya da biyoremediasyon alanına yeraltı suyunun pompalanmasını gerektirir. Bundan dolayı bu tekniğin avantajlarından çok dezavantajları vardır. Biyoreaktör adı verilen büyük bir tankta kirlenmiş olan toprak ile su ve diğer katkı maddeleri karıştırılır. Doğal mikroorganizmalar toprağı kirleten maddelerle temas ettirilmesi için karıştırılır. Ortamın oksijen ve besin maddeleri gibi koşullar mikroorganizmalara göre düzenlenir. Bu işlem sonrasında su uzaklaştırılır ve katı atıklar bertaraf edilir (Sardrood ve ark., 2013).

Biyoremediasyon Teknikleri

Biyoremediasyon tekniklerini şu şekilde sıralayabiliriz (Keshav ve ark., 2010).

Biyobüyütme: Bu yöntem, kirlenmiş olan ortamlara mikroorganizma kültürünün eklenmesini içerir.

Biyofiltreler: Mikrobiyal sıyırma kolonilerini kullanarak hava emisyonlarını tedavi etmek için uygulanır.

Biyoreaktörler: Kapalı bir alanda veya reaktörde daha küçük miktarlardaki atıkların biyolojik arıtımı sağlanır (Margesin ve Schinner, 2001).

Biyostimülasyon: Toprak veya yeraltı sularında ki doğal mikroorganizma popülasyonların uyarılmasıdır.

Biyolojik havalandırma: Mikrobiyal büyümeyi ve aktiviteyi uyarmak için kontamine ortamdan oksijen alma işlemine denir.

Kompostlama: Bu yöntem, termofilik şartlarda mikroorganizmalar ile organik atıkların ayrıştırılması işlemidir (Kastner ve Mahro, 1996).

Biyolojik yığın: Kompostlama ve arazi tarımının bir melez sistemidir. Yıkama ve buharlaşma ile kirletici maddelerin fiziksel kayıplarını kontrol altında tutmaya çalışan bir tekniktir (Wischmann ve Steinhart, 1997).

Biyoremediasyon Sürecindeki Organizmaların Özellikleri

Bu süreçte yer alan organizmalar şu özelliklerde olmalıdır (Sardrood ve ark., 2013).

- Organizmalar biyoremediasyon özellikleri olan enzimlere sahip olmalıdırlar.

- Kirliliğin olduğu ortamlarda mikroorganizmalar hayatta kalabilmeli ve biyolojik aktivitesini sürdürmelidir.
- Organizmalar, katı ortamda olan veya sulu ortamda olan kirleticilere rahatlıkla ulaşabilmelidir.
- Hücrenin içinde veya dışında kirletici madde ve enzimatik sistem temas halinde olmalıdır.

Biyoremediasyonun başarılı bir şekilde gerçekleşmesi için yukarıda belirtilen koşulların sağlanması gereklidir.

Sonuçlar

Dünya nüfusu her geçen yıl giderek artmaktadır. Bu nüfus artışı beraberinde kirlilik oranında da artışa neden olur. Biyoremediasyon teknolojisi günümüz modern yaşamı için bir gereklilik haline gelmeye başlamıştır. Bu alan ile ilgili birçok ilerleme gerçekleşmiştir. Biyoremediantların çeşitliliği, mevcut tekniklerin çokluğu ve çeşitliliği, biyoremediantlar tarafından farklı türdeki sulu ve karasal habitatlarda kullanılan substratların çeşitliliği gibi gelişmeler gelecekte bu teknolojinin daha da ileriye gideceğini göstermektedir. Bundan dolayı biyoremediasyon; kırsal alanlardan kentsel ve endüstriyel alanlara kadar farklı ortamlarda artan sayılarda uygulamaları olacaktır. Bu teknoloji, farklı ortamlardan izole edilen, yüksek biyolojik çeşitlilik oranına sahip mikroorganizmaların elde edilmesinin yanı sıra genetik ve metabolik mühendislikteki son gelişmeler göz önüne alındığında biyoremediasyon kirli ortamların arıtılmasında öncü teknoloji olacaktır.

KAYNAKLAR

Alexander, M.(1999). Biodegradation and Bioremediation Second edition, Academic Press New York.

Alloway, B.J. (1995). Heavy Metals in Soils. Second edition. Chapman and Hall India, Australia

Anonim (2022a). Biyoloji Dünyası. http://www.biyolojidunyasi.net/ekoloji.htm (Erişim tarihi: 06.02.2022)

Anonim (2022b). http://www.mikrobiyoloji.org/TR/Genel/BelgeGoster.aspx?F6E10F8892433CFFAAF6AA849816B2EFC437EFF56034C308 (Erişim tarihi: 09.02.2022)

(Anonim 2022c) https://tr.history-hub.com/tarimsal-kirlilik-nedir (Erişim tarihi: 07.02.2022)

Anonim (2022d) https://www.odevbitti.com/toprak-kirliligi-ile-ilgili-sorular-ve-cevaplar-101363/ (Erişim tarihi: 09.02.2022)

Anonim (2022e) https://coggle.it/diagram/X85uFCM6PTTqMCxh/t/bi%CC%87yoremedi%CC%87asyon (Erişim tarihi: 10.02.2022)

Aybar, M., Bilgin A., Sağlam, B. (2015). Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi* 1 (1-2): 59-65.

Baggott, J. (1993). Biodegradable lubricants. A paper presented at the Institute of Petroleum Symposium: “Life cycle analysis and eco-assessment in the oil industry,” Shell, England

Dua, M., Singh, A., Sethunathan, N., Johri, A.K. (2002). Biotechnology and bioremediation: successes and limitations. *Applied Microbiology and Biotechnology* 59 (2-3): 143-152.

Ergene, A. (1993). Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:586, Ziraat Fakültesi Yayınları, No:267, Ders Kitapları Serisi No:42.

Fiedler, H.J. (1990). Bodennutzungund bodenschutz. Birkhauser Verlag, Basel-Boston-Berlin.

Gülle, F., Özdemir, S. (2015). Sağlıklı toprağın görülmeyen kahramanları: toprak mikroorganizmaları. *Sakarya Ticaret Borsası* 51: 6-8.

Heckrath, G., Djurhuus, J., Quine, T. A., Van Oost, K., Govers, G., Zhang, Y. (2005). Landscape and watershed processes. *Journal Environmental Quality* 34: 312-324.

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.

Jack, T.T. (2001). Water, air and soil Pollution. *An International Journal of Environmental Pollution* 128: 3-4.

Karapire, M., Özgönen, H. (2013). Doğada yararlı mikroorganizmalar arasındaki etkileşimler ve tarımsal üretimde önemi. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 6 (2): 149-157.

Karigar, C.S., Rao, S.S. (2011). Role of microbial enzymes in the bioremediation of pollutants: a review. *Enzyme research* 805187.

Kastner, M., Mahro, B. (1996). Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils affected by the organic matrix of compost. *Applied Microbiology and Biotechnology* 44: 668-675

Keshav, P.S., Nand, K.S., Shivesh, S. (2010). Bioremediation: Developments, current practices and perspectives, Genetic Engineering and Biotechnology Journal : GEBJ-3

King, R.B., Gilbert, M.L., Sheldon, J.K. (1992). Practical Environmental Bioremediation. Lewis, New York

Lwoff, A. (1957). The concept of virus. *The Journal of General Microbiology* 17 (2): 239-53.

Margesin, R., Schinner, F. (2001). Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments. *Applied Microbiology and Biotechnology* 56 (5-6): 650-63.

Mueller, J., Cerniglia, C., Pritchard, P. (1996). Bioremediation of environments contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons. In Crawford, R., Crawford, D. (Eds.), Bioremediation: Principles and Applications (Biotechnology Research, 125-194). Cambridge: Cambridge University Press.

Nortcliff, S., Hulpke, H., Bannick, C.G., Terytze, K., Knoop, G., Bredemeier, M., Schulte-Bisping, H. (2011). Soil, 1. Definition, Function, and Utilization of Soil. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.).

Okur, N., Kayıkçıoğlu, H.H. (2008). Toprak mikroorganizmaları tarafından üretilen küresel gazlar. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 45 (1): 49-55.

Önemli, F., Coşkun, F. (2005). Bazı ürün desenlerinin farklı toprak derinliklerindeki toplam mikroorganizma sayısı üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi* 2: 2.

Rybicki, E.P. (1990). The classification of organisms at the edge of life, or problems with virus systematics. *South African Journal of Science* 86: 182-186.

Sardrood, B.P., Goltapeh E.M., Varma, Ajit. (2013). An Introduction to bioremediation. fungi as bioremediators. Soil Biology 32: 3-27.

Sarina J.E., Daniel P.Y.C., Edward D.S., Juana, B.E. (1998). Bioremediation Principles, USA

Sasikumar, C.S., Papinazath, T. (2003.) Environmental management: bioremediation of polluted environment. In: Bunch, M.J., Suresh, V.M., Kumaran, T.V (eds) Proceedings of the third international conference on environment and health, Chennai, India, 15–17 December, Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, Chennai 465–469.

Sönmez, İ., Demir, H. (2011). Tarımsal Kaynaklı Nitrat Kirliliği ve Olumsuz Etkileri, *Uluslararası Katılımlı, I. Ali Numan Kıraç Tarım Kongresi ve Fuarı* 27-30 Nisan, Eskişehir, Türkiye.

Syed, I.B., (2005). Pollution. Islamic Research Foundation International, Inc. 7102 W. Shefford Lane Louisville, KY 40242-6462, USA

Töman, U., Çeker, E. (2019). Mikroorganizmaların özelliklerini anlama düzeylerinin belirlenmesine yönelik gelişimsel bir çalışma.

Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi 10 (3): 570-584

Vidali, M. (2001). Bioremediation. An overview. *Pure and Applied Chemistry* 73:1163-1172.

Wischmann. H., Steinhart, H. (1997). The formation of PAH oxidation products in soils and soil/ compost mixtures. *Chemosphere* 35: 1681-1698.

BÖLÜM 4

ÇEŞİTLİ KİRLİLİK ETMENLERİNİN FARKLI BİTKİ TÜRLERİNDEKİ FENOLİK BİLEŞENLERE ETKİSİ

Öğr. Gör. Merve MACİT*

*İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Botanik Doktora Programı, İstanbul, Türkiye
Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bingöl, Türkiye ORCID: 0000-0001-9648-4799, mmacit@bingol.edu.tr

GİRİŞ

Tarımsal kirlilik günümüzün yaygın olan sorunlarından bir tanesidir. Sulama sularında meydana gelen kirlilik, toprakta biriken çeşitli ağır metaller ve diğer atıklar, havada oluşan zararlı gazlar gibi çok çeşitli kirlilik etmenleri bulunmaktadır. Bitkilerin bu kirlilik etmenlerinden kaçabilmesi mümkün olmamaktadır. Kirlilik etmenleri çeşitli stres koşullarına yol açmaktadır. Bitkiler bu oluşan stres koşullarıyla baş edebilmek için bünyelerinde geliştirdikleri özel sistemlere sahiptirler. Sekonder metabolit denilen çok fazla işlevi olan bileşikler çoğu zaman bu stres koşulları altında kalınca sentezlenmektedir. Özellikle fenolik bileşikler stres koşullarına karşı farklı şekilde üretim yollarıyla sentezlenirler. Bu bölümde bazı bitkilerin kirlilik sonucu meydana gelen bu stres koşullarına fenolik bileşiklerle nasıl tepkiler oluşturduğu üzerinde durulmaktadır.

Kirlilik etmenleri ve çeşitleri

Bitkilerin maruz kaldığı çevresel şartlar sonucunda çeşitli kirlilik durumları ortaya çıkmaktadır. Hayvan gübreleri, gübreler ve pestisitlerden kaynaklanan yüzey suyu ve yeraltı suyu kirliliği; su ürünleri üretiminde kullanılan kimyasal ve biyolojik ürünlerden kaynaklanan su kirliliği; aşınmış topraklardan kaynaklanan sedimantasyon nedeniyle yüzey suyu kirliliği; pestisitler nedeniyle flora ve fauna kaybı; gübrelerdeki ağır metallerden kaynaklanan toprak ve su kirliliği; mahsul artıklarının yanmasından kaynaklanan hava kirliliği; aşırı otlatmadan kaynaklanan çölleşme ve sulanan arazilerin tuzlanması gibi etmenler bulunmaktadır (Rico ve ark., 2012; Sun ve

ark., 2012; Wang ve ark., 2013; Cheng ve ark., 2014; Cui ve ark., 2014; Li ve ark., 2014; Abler, 2015).

Su kirliliği; su kaynağının fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, su kalitesinde, balıkçılıkta ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar meydana getirecek madde veya enerji atıklarının boşaltılması olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2004). En yaygın olarak su kirliliğinin meydana gelmesi atık suların su kaynaklarına deşarj edilmesinin sonucudur. Genel olarak endüstriyel atık suların sebep olduğu kirlenmelerde ekolojik denge bozulması daha çok görülmekte ve bu bozulma genellikle geri dönüşü olmayan bir nitelik taşımaktadır (Tan, 2006).

Ağır metaller; kentsel atıklar, endüstriyel faaliyetler, madencilik, tarımda gübre ve pestisit kullanılması, motorlu taşıtların ekzoz gazları ve volkanik faaliyet gibi pek çok kaynaktan etrafa yayılmakta, tarım ve ziraat ile ormancılıkta büyük problemlere sebep olmaktadır. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, bitkiden insana hemen her çeşit organizma için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır (Kırbağ ve Munzuroğlu, 2006).

Bitkilerde stres koşulları

Bitkiler sabit organizmalar olup, genellikle büyümeleri ve üretkenlikleri üzerinde olumsuz etkileri olan çevresel stres etkenlerine sürekli olarak maruz kalırlar (Mittler, 2006). Bu nedenle bitkiler,

çevresel zorluklar altında yaşam döngülerini sürdürmek için çeşitli adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir (Soares ve ark., 2019). Bitkiler, yaşam döngülerini başarılı bir şekilde tamamlamak için patojen saldırısı, su eksikliği, aşırı sıcaklık dalgalanmaları ve yüksek ışık yoğunluğunu içeren çevresel sorunlarla başa çıkmak zorundadır. Bu parametreler kritik bir sınırı aştığında bitkiler stres altında kalır. Çevresel koşulların bu şekilde değişmesi daha sonra büyüme hızının ve üretkenliğin azalmasına yol açar. Bu durumun devam etmesi ölümcül bile olabilir. Çevresel stresler, mahsul veriminde milyarlarca dolar değerinde kayıplara yol açarak, yıldan yıla üretkenliğin büyüklüğü üzerinde etki eder (Apel ve Hirt, 2004).

Biyotik stres faktörleri arasında yabani otlar, çeşitli patojenik mikroorganizmalar, mantarlar ve diğer yırtıcı hayvanlar bulunmaktadır. Abiyotik stres faktörleri ise kuraklık, yüksek ışık yoğunluğu, hava kirleticileri, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar (donma dahil) ve mekanik hasarı içerir (Vickers ve ark., 2009).

Araştırmalar, bitkilerin genelinde sekonder metabolitleri etkileyen hayati faktörler arasında çevresel streslerin etkili olduğunu göstermiştir. Çevresel stres koşulları altında sekonder metabolitlerin gözle görülür artışına dair birçok çalışma yapılmıştır. Bazı araştırmalarda da bu etkinin kalıcı olmadığı ve bu gibi durumlarda sekonder metabolitlerde bile azalma olabileceği belirtilmektedir (Akula ve Ravishankar, 2011).

Fenolik bileşiklerin kirlilik durumundaki işlevi

Bitkiler, aromatik bir halkada bir hidroksil fonksiyonel grubu içeren birçok çeşidi olan ikincil metabolitleri üretirler. Bu tür sekonder (ikincil) maddeler fenolik bileşikler olarak bilinir. Fenolik bileşikler, aromatikler olarak bir veya daha fazla asidik hidroksil grubu taşıyan bir fenil halkasına sahip olan sekonder metabolitlerin ana grubunu oluşturmaktadır. Fenoller; kumarinler, flavonoidler, ligninler, fenolik asitler ve tanenler olarak beş alt gruba ayrılabilen geniş bir bileşik grubudur. Bunlar arasında flavonoidler ve ligninler bitkilerde en yaygın bulunan fenolik bileşiklerdir (Gümül ve ark., 2007; Achakzai ve ark., 2009; Olivoto ve ark., 2017). Bitkiler hayatlarına devam edebilmek için çevre ile etkileşime girer ve bu nedenle çeşitli çevresel faktörlerden etkilenir (Zhi-lin ve ark., 2007). Bu nedenle ikincil metabolitlerin konsantrasyonu sıcaklık, kuraklık, yükseklik, ışık, tuzluluk gibi abiyotik faktörlerin yanı sıra UV radyasyonundan da etkilenir (Gouvea ve ark., 2012).

Bitkiler ağır metal stresi altında da daha fazla fenolik asit ve flavonoid sentezleyebilir (Zhang ve ark., 2013; Jia ve ark., 2016;). Fenolik bileşiklerin; hücre duvarı yapısal değişiklikleri meydana getirme, karbon bileşiklerini kanalize etme ve depolama, çiçek renginin oluşturulması ve belirli tatlara katkıda bulunma dahil olmak üzere olumsuz çevresel şartlardan bitkileri korumak için çeşitli etkileri mevcuttur. Bitki fenolik bileşikleri ağır metalleri hidroksil (-OH) ve karboksilik asit (-COOH) ile şelatlayabilir ve zararlı reaktif oksijen türlerini (ROS) uzaklaştırabilir (Ali ve Jain, 2004; Sytar ve ark., 2013,

Ali ve ark., 2017). Kadmiyum (Cd), yüksek mobiliteye sahip en toksik ağır metallerden biridir (Javed ve ark., 2017; Alharbi ve ark., 2018; Ali ve ark., 2018). Cd'nin toksisitesi, bitki büyümesinin ve kök uzamasının inhibisyonu, fotosentezin azalması, su dengesinin kaybı, lipid peroksidasyonu, besin azalması, protein bozulması ve klorofil üretimini ve enzim aktivitesini azaltarak ikinci metabolit üretimini arttırır. Cd'nin birkaç proteinde Fe'nin yerini alabildiği, böylece serbest Fe demirini artırabildiği ve dolaylı olarak Fenton reaksiyonu yoluyla daha fazla hidroksil radikali üretimine neden olduğu ve sonuçta da bitki dokularının kırılmasına sebep olduğu çalışmalarda belirtmiştir. (Jia ve ark., 2016; Jiang ve ark., 2017).

İklim değişikliği bağlamında, fenilpropanoidler (çoğunlukla fenolik asitler ve flavonoidler) sadece ilgili enzimler ve genler değil, aynı zamanda bu metabolitlerin birikimini ve indüksiyonunu da etkileyen artan miktarlarda troposferik ozon (O_3) gibi zararlı çevre koşullarından en çok etkilenen hedeflerden biridir. Troposferik O_3, yüksek oksidatif potansiyeli nedeniyle küresel ısınmada rol oynayan, insan sağlığına ve bitkisel üretime zararlı en önemli sera gazlarından biridir (Lorenzini ve Nali, 2018).

Azot (N), bitkiler için hayati bir besindir; amino asitler, proteinler, koenzimler, nükleik asitler ve klorofil gibi çok sayıda organik bileşiğin bir bileşenidir (David Pilbeam, 2015). N eksikliğinin hücre bölünme hızlarında azalmaya ve fotosentez sürecinde bozulmaya yol açan birçok biyokimyasal ve fizyolojik rahatsızlığa neden olduğu iyi bilinmektedir (Roggatz ve McDonald, 1999). Ayrıca, son yıllarda artan dünya

nüfusunun ihtiyacını karşılamak için arazi başına ürün kütlesini artırmak amacıyla suni gübre kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Ancak aşırı azotlu gübreleme hem tarım hem de çevre için büyük bir sorundur. Bitkilerde aşırı N birikimi, methemoglobinemi, azot oksit emisyonları ve yeraltı suyunun nitrat kirliliği gibi insan sağlığı için toksisite sorunlarına neden olabilir (Ju ve ark., 2006; Hord, 2009).

Bazı bitki türlerindeki kirlilik etmenlerinin fenolik bileşiklere etkisi

Yüksek gübrelemenin bazı bitkilerin kompozisyonu ve kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada *Sesamum indicum* tohumlarının azot içeriği incelenmiştir. Bu yapılan çalışmada, yüksek düzeyde *S. indicum* azotunun bazı birincil ve ikincil metabolitler ve antioksidanlar üzerindeki etkisi değerlendirilmektedir. N arzının farklı seviyeleri altında aktivite gösterdiği belirlenmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, aşırı azot kaynağının susam tohumlarının kalitesi üzerinde ciddi bir etkisi olduğunu göstermiştir. Nitekim N gübresi, sırasıyla %49,43 ve %16,27 ile azalan yağ ve şekerler aleyhine protein birikimini %57,16'ya kadar teşvik etmiştir. Ayrıca toplam fenolik, favonoid içeriği ve antioksidan aktivitede önemli bir azalma görülmüştür (Elhanafi ve ark., 2019).

Mısırın *(Zea mays)* fenolik bileşiklerinin ağır koşullar altındaki tepkilerinin araştırıldığı bir çalışmada HPLC ile çeşitli fenoliklerin tespiti yapılmıştır. Cd, Cu ve Pb uygulamasının, kontrol gruplarına kıyasla tüm uygulamalarda toplam fenolikleri artırdığı görülmüştür. Klorojenik asit ve rutin, miktar tayini açısından ana fenolik

bileşiklerdir. Ancak tüm örneklerde kafeik asit, ferulik asit ve vanilik asit içeriğinin klorojenik asit ve rutinden nispeten daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ağır metallerin tedavisinde klorojenik asit içeriğinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Kafeik asit ve ferulik asit seviyeleri, kontrol gruplarına kıyasla tüm ağır metal maruziyetlerinde önemli ölçüde azalmıştır. Mısır yapraklarında vanilik asit içeriği ağır metal türlerine ve dozlarına göre değişmekte, düşük dozlarda Pb ve Cd vanilik asit düzeyini artırmaktadır. Mısır Pb'ye maruz kaldığında toplam fenolik içerik ve klorojenik asit ile pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir (Malcovska ve ark., 2014).

Son yıllarda, hava kirliliğinin neden olduğu ozon tabakasının incelmesiyle artan UV-B radyasyonu ve UV-B'nin ekosistem üzerindeki etkileri konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. UV-B radyasyonunun yaban mersini (*Vaccinium corymbosum* L.) üzerindeki etkilerinin incelendiği bir çalışmada, hasat sonrası UV-B uygulaması fenolik bileşiklerin oluşumunu etkilediği görülmüştür. UV-B'ye maruz kalma, yüksek UV-B dozajında (H) fenolik bileşiklerde 2 saatlik bir adaptasyon süresinde maksimum düzeyde bir artış görülmüştür (Eichholz ve ark., 2011).

Ağır metal etkisinin fenolik bileşiklere olan etkisinin incelendiği bir çalışmada, fenolik bileşiklerin yaban mersini bitkilerinde Cd'nin neden olduğu strese karşı koruyucu bir mekanizması olduğunu göstermiştir (Manquian-Cerda ve ark., 2018).

Adaçayının (*Salvia officinalis*) ozon hasarının engellenebilmesi için O3 gazının etkisinde fenilpropanoid metabolizması üzerindeki etkilerinin

hem biyokimyasal hem de moleküler seviyelerde kapsamlı tanımının verildiği bir çalışmada; tespit edilen fenilpropanoid bileşikleri (çoğunlukla fenolik asitler ve flavonoidler olarak tanımlanır) arasında, fonksiyonel çeşitliliklerinden dolayı zamanla O_3 kaynaklı değişiklikler gözlemlenmiş. Adaçayı, entegre bir savunma mekanizması olarak fenolik biyosentetik yolun aktivasyonunu düzenleyerek O_3 gazına karşı bir cevap geliştirmiştir (Marchica ve ark., 2020).

Halep çamı (*Pinus halepensis* Mill.) yapraklarında yapılan bir çalışmada çeşitli atmosferik kirletici formlarından (NO, NO_2, NO_x, O_3 ve SO_2) etkilenen 6 bölgeden toplanan örneklerle fenol konsantrasyonları (toplam ve basit fenoller) belirlenmiştir. Sonuçlar, kükürt dioksite maruz kalma ile toplam fenol içeriğinde bir artış ve nitrojen oksit kirliliğine maruz kalma ile bir azalma olduğunu göstermiştir. P-Kumarik asit, siringik asit ve 4-hidroksibenzoik asit konsantrasyonları nitrojen oksit kirliliğine maruz kalma ile artarken, gallik asit ve vanilin sırasıyla kükürt dioksit ve ozon varlığında azaldığı gözlemlenmiştir (Pasqualini ve ark., 2003).

SONUÇ

Yapılan çalışmalara bakıldığı zaman, günümüzde çok fazla kirlilik etmeninin bitkilere büyük zararı olduğu görülmektedir. Özellikle tarımsal alanlarda yetiştirilen bitkiler bu kirlilik etmenlerine maruz kalmaktadır. Bitkiler bu etmenlere karşı çeşitli şekillerde tepki vermektedir. Stres koşullarının oluşmasına yol açan bu etmenlere karşı bitkiler yapılarındaki sekonder metabolitleri sentezleme yoluna girmektedir. Sekonder metabolitlerden olan fenolik bileşikler de bu

stres koşullarında çoğu zaman bitkiye faydalı olacak şekilde bitki bünyesinde sentezlenmektedir. İleride yapılacak diğer çalışmalarda özellikle çağımızın sorunu olan ağır metal birikimi, hava kirliliği, sulama teknolojilerinde kullanılan suların kirliliği gibi çeşitli etmenlere karşı bitkilerin hangi fenolik bileşikleri tepki olarak sentezlediği üzerine çalışmaların yapılması geleceğimiz için de büyük bir öneme sahiptir.

KAYNAKLAR

Achakzai, A. K. K., Achakzai, P., Masood, A., Kayani, S. A., Tareen, R. B. (2009). Response of plant parts and age on the distribution of secondary metabolites on plants found in Quetta. *Pak. J. Bot*, *41*(5), 2129-2135.

Alharbi, O. M., Khattab, R. A., Ali, I. (2018). Health and environmental effects of persistent organic pollutants. *Journal of Molecular Liquids*, *263*, 442-453.

Ali, I., Jain, C. K. (2004). Advances in arsenic speciation techniques. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *84*(12), 947-964.

Ali, I., Al-Othman, Z. A., Alwarthan, A., Asim, M., Khan, T. A. (2014). Removal of arsenic species from water by batch and column operations on bagasse fly ash. *Environmental science and pollution research*, *21*(5), 3218-3229.

Ali, I., Alharbi, O. M., Alothman, Z. A., Badjah, A. Y., Alwarthan, A. (2018). Artificial neural network modelling of amido black dye sorption on iron composite nano material: kinetics and thermodynamics studies. *Journal of Molecular Liquids*, *250*, 1-8.

Anonim. (2004). Türkiye Çevre Atlası, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı, Ankara. s: 10.

Abler, D. (2015). Economic evaluation of agricultural pollution control options for China. *Journal of Integrative Agriculture*, *14*(6), 1045-1056.

Apel, K., Hirt H. (2004). Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. Annu Rev Plant Biol 55:373–399.

Cheng, Z., Wang, S., Fu, X., Watson, J.G., Jiang, J., Fu, Q., Chen, C., Xu, B., Yu, J., Chow, J.C., Hao. J. (2014). Impact of biomass burning on haze pollution in the Yangtze River delta, China: a case study in summer 2011. Atmospheric Chemistry and Physics, 14, 4573–4585.

Cui, Z., Dou, Z., Chen, X., Ju X, Zhang, F. (2014). Managing agricultural nutrients for food security in China: past, present, and future. Agronomy Journal, 106, 191–198.

David Pilbeam, J. (2015). Handbook of Plant Nutrition, CRC Press, Taylor and Francis Group, New York, NY, USA.

Elhanafi, L., Houhou, M., Rais, C., Mansouri, I., Elghadraoui, L. Greche, H. (2019). Impact of excessive nitrogen fertilization on the biochemical quality, phenolic compounds, and antioxidant power of Sesamum indicum L seeds. *Journal of Food Quality*.

Eichholz, I., Huyskens-Keil, S., Keller, A., Ulrich, D., Kroh, L. W., Rohn, S. (2011). UV-B-induced changes of volatile metabolites and phenolic compounds in blueberries (Vaccinium corymbosum L.). *Food Chemistry*, *126*(1), 60-64.

Gouvea, D. R., Gobbo-Neto, L., Sakamoto, H. T., Lopes, N. P., Lopes, J. L. C., Meloni, F., & Amaral, J. G. (2012). Seasonal variation of the major secondary metabolites present in the extract of Eremanthus mattogrossensis Less (Asteraceae: Vernonieae) leaves. *Química Nova*, *35*(11), 2139-2145.

Gumul. D, Korus J, Achremowicz, B. (2007). The influence of extrusion on the content of polyphenols and antioxidant/antiradical activity of rye grains (*Secale cereale* L.). Acta Sci. Pol. Technol. Alimen. 6:103-111.

Hord, N. G., Tang, Y., Bryan, N. S. (2009). Food sources of nitrates and nitrites: the physiologic context for potential health benefits, American Journal of Clinical Nutrition, vol. 90, no. 1, pp. 1–10.

Javed, M. T., Akram, M. S., Tanwir, K., Chaudhary, H. J., Ali, Q., Stoltz, E., Lindberg, S. (2017). Cadmium spiked soil modulates root organic acids exudation and ionic contents of two differentially Cd tolerant maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Ecotoxicology and environmental safety*, *141*, 216-225.

Jeppsson, N. (2000). E effects of fertilizer rate on vegetative growth, yield and fruit quality, with special respect to pigments, in black chokeberry (aronia melanocarpa) cv. 'Viking'," Scientia Horticulturae, vol. 83, no. 2, pp. 127–137.

Jia, G., Wang, H., Yan, L., Wang, X., Pei, R., Yan, T., Zhao, Y., Guo, X. (2005). Cytotoxicity of carbon nanomaterials: single-wall nanotube, multi-wall nanotube, and fullerene. Environ. Sci. Technol. 39, 1378e1383.

Jia, X., Zhao, Y., Liu, T., Huang, S. (2016). Elevated CO2 affects secondary metabolites in Robinia pseudoacacia L. seedlings in Cd-and Pb-contaminated soils. *Chemosphere*, *160*, 199-207.

Jiang, S., Weng, B., Liu, T., Su, Y., Liu, J., Lu, H., Yan, C. (2017). Response of phenolic metabolism to cadmium and phenanthrene and its influence on pollutant translocations in the mangrove plant

Aegiceras corniculatum (L.) Blanco (Ac). *Ecotoxicology and environmental safety*, *141*, 290-297.

Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., Christie, P. (2006). Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain, Environmental Pollution, vol. 143, no. 1, pp. 117–125.

Li J, Pu L, Han M, Zhu M, Zhang R, Xiang Y. (2014). Soil salinization research in China: advances and prospects. Journal of Geographical Sciences, 24, 943–960.

Lorenzini, G., Nali, C. (2018). Ozone and plant life: The Italian state-of-the-art. Environ. Sci. Pollut. Res., 25, 8069–8073.

Kırbağ, Z.F., Munzuroğlu, Ö. (2006). Ayçiçeği (Helianthus annuus L.) Fidelerinin Toplam Çözünebilir Protein, Prolin ve Klorofil Miktarları Üzerine Civa Klorürün (HgCl 2) Etkileri, Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (1), 25-30.

Kısa, D., Elmastaş, M., Öztürk, L., Kayır, Ö. (2016). Responses of the phenolic compounds of Zea mays under heavy metal stress. *Applied Biological Chemistry*, *59*(6), 813-820.

Marchica, A., Cotrozzi, L., Detti, R., Lorenzini, G., Pellegrini, E., Petersen, M., Nali, C. (2020). The biosynthesis of phenolic compounds is an integrated defence mechanism to prevent ozone injury in Salvia officinalis. *Antioxidants*, *9*(12), 1274.

Manquián-Cerda, K., Cruces, E., Escudey, M., Zúñiga, G., Calderón, R. (2018). Interactive effects of aluminum and cadmium on phenolic compounds, antioxidant enzyme activity and oxidative stress in blueberry (Vaccinium corymbosum L.) plantlets

cultivated in vitro. *Ecotoxicology and environmental safety*, *150*, 320-326.

Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. Trends Plant Sci., 11, 15–19.

Mihaličová, S., Dučaiová, Z., Maslaňáková, I., Bačkor, M. (2014). Effect of silicon on growth, photosynthesis, oxidative status and phenolic compounds of maize (Zea mays L.) grown in cadmium excess. *Water, Air, & Soil Pollution*, *225*(8), 1-11.

Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I. R., Follmann, D. N., Szareski, V. J., Ferrari, M., ... de Souza, V. Q. (2017). Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review. *African Journal of Agricultural Research*, *12*(2), 71-84.

Pasqualini, V., Robles, C., Garzino, S., Greff, S., Bousquet-Mélou, A., Bonin, G. (2003). Phenolic compounds content in Pinus halepensis Mill. needles: a bioindicator of air pollution. *Chemosphere*, *52*(1), 239-248.

Rico A, Satapornvanit K, Haque, M., Min J., Nguyen, P. T., Telfer, T. C., Brink, P. J. (2012). Use of chemicals and biological products in Asian aquaculture and their potential environmental risks: a critical review. Reviews in Aquaculture, 4, 75–93.

Roggatz, U., McDonald, A. J. S. (1999). I. Stadenberg, and U. Schurr, “Effects of nitrogen deprivation on cell division and expansion in leaves of Ricinus communis L,” Plant, Cell and Environment, vol. 22, no. 1, pp. 81–89.

Sytar, O., Kumar, A., Latowski, D., Kuczynska, P., Strzałka, K., Prasad, M. N. V. (2013). Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants. *Acta physiologiae plantarum*, *35*(4), 985-999.

Soares, C., Carvalho, M.E., Azevedo, R.A., Fidalgo, F. (2019). Plants facing oxidative challenges A little help from the antioxidant networks. Environ. Exp. Bot.161, 4-25.

Sun B, Zhang L, Yang L, Zhang F, Norse D, Zhu Z. (2012). Agricultural non-point source pollution in China: causes and mitigation measures. Ambio, 41, 370–379.

Tan, A. (2006). Atık sularda bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne. s: 34-36.

Vickers, C.E., Gershenzon, J., Lerdau, M.T., Loreto, F. (2009). A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. Nat Chem Biol 5:283–291.

Wang, F., Pan, X., Wang, D., Shen, C., Lu, Q. (2013). Combating desertification in China: past, present and future. Land Use Policy, 31, 311–313.

Zhang, P., Ma, Y., Zhang, Z., He, X., Guo, Z., Tai, R., Ding, Y., Zhao, Y., Chai, Z., (2012). Comparative toxicity of nanoparticulate/bulk Yb2O3 and YbCl3 to cucumber (Cucumis sativus). Environ. Sci. Technol. 46, 1834e1841.

Zhi-lin, Y., Chuan-chao, D., Lian-qing, C. (2007). Regulation and accumulation of secondary metabolites in plant-fungus symbiotic system. *African Journal of Biotechnology*, *6*(11).

BÖLÜM 5

BATTALGAZİ İLÇESİNDE FARKLI SU KAYNAKLARI İLE SULANAN KAYISI PLANTASYONUNDA AĞIR METAL BİRİKİMİNİN İNCELENMESİ

Ziraat Yüksek Mühendisi Didem KOŞAR[1]

Ziraat Yüksek Mühendisi Çiğdem YAVUZ[1]

Ziraat Yüksek Mühendisi Ali Rıza ŞAHİNOĞLU[1]

Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ[2]

[1]Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye, 0000-0002-1061-6481, didemarziraat@hotmail.com

[1]Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye, 0000-0002-1061-2591, h.s.c.z@hotmail.com

[1]Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye, 0000-0002-1258-8484, alirizasahinoglu@gmail.com

[2]Bingöl Üniversitesi Sağlık Hizmetleri MYO, Bingöl, Türkiye, 0000-0002-7635-4855 abengu@bingol.edu.tr

1.Giriş

Tarımsal üretimin temel yapı taşlarını toprak, su kaynakları ve üretilecek bitki materyalleri oluşturmaktadır. Üretimde süreklilik için bu materyallerin yeterli ve kullanılabilir ölçüde temiz olması gerekmektedir. Tarımsal üretim dünyada ve ülkemizde artan nüfusun beslenme ihtiyaçlarının karşılanması, tarıma dayalı sanayinin gelişmesi ve kişi başına düşen milli gelirin artırılarak insanların refah seviyesinin yükseltilmesi açısından önem arz etmektedir.

Ülkemizde tarıma elverişli yeni alanların azlığı, var olan tarım alanlarının en üst seviyede korunmasını gerektirmektedir. Tarım alanlarının kirlenmesi pek çok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Kirlenmenin kaynağı olarak radyoaktif maddeler, sanayi atıkları, evsel ve kentsel atıklar, doğal kaynakların yanlış ve lüzumsuz kullanımı, plansız kentleşme, endüstrileşme, nükleer faaliyetler ve ağır metaller gibi birçok etmenin neden olduğu bilinmektedir. Artan nüfusun ile baskılar yaşayan kentlerde çevre sorunları ve kirlilik artırmaktadır. Kirlenmenin etkisi ile her geçen gün su, hava ve toprakta biriken toksik elementler tarım alanlarını tahrip etmektedir. Ayrıca birçok canlı türünün doğal yaşam alanlarının yok olmasına neden olmaktadır. Kirlenmeye neden olan bu etmenlerin verdiği zarar tam olarak ortadan kaldırılamasa da zararın en aza indirilebilmesi için önlem ve iyileştirici faaliyetlerin hızla uygulanması daha yaşanılabilir bir dünya için elzemdir.

Kirlenme faktörlerinden birisi olan ağır metaller kurşun, kadmiyum, krom, demir, nikel, çinko ve civa da dahil olmak üzere 60'tan fazla metallik özellik gösteren ve yeryüzünde doğal olarak bulunmaları nedeniyle yok edilemeyen, bitkiler, hayvanlar ve insanlar için toksik etkileri olan elementlerdir. Toprak ve su kaynaklarında yoğun tarımsal faaliyetler, pestisitler, kimyasal gübreler, sanayileşme, maden yatakları, maden işleme tesisleri, volkanik faaliyetler, termik santrallerin bacalarından çıkan uçucu küller, çimento fabrikaları, havayolu, demiryolu, karayolu araçları tarafından salınan gazlar, ağır metal içerikli boyalar, atık çamur yakma tesisleri, endüstri atıklarının rastgele doğaya atılması gibi etmenler nedeniyle birikmektedir. Gün geçtikçe küçük partiküller halinde ya da çözünmüş olarak toprağa geçen ağır metaller başta hareket etme yeteneği olmayan bitkilerde toksisiteye neden olarak verim ve kalite kayıplarına yol açmakta ve bitkilerle beslenen canlı hayatını tehdit etmektedir (Robert, 1995; Dean, et al., 1972; Lombardo ve ark. 2001; Munzuroğlu ve Gür, 2000).

Bitki doku ve organlarında aşırı birikimi üzerine yapılan çalışmalar güçlü fitotoksik maddeler olduğunu, büyümeyi engellediğini ve hatta bazı durumlarda bitkinin tamamen ölümüne neden olduğunu ortaya koymuştur (Prasad, 1995; Salt, 2001). Bitkilerde stoma hareketleri, su alımı, fotosentez, çimlenme ve protein sentezi gibi bitkinin hayati pek çok fonksiyonun da hasara neden olmaktadır. Vejetatif ve generatif organları zarar gören bitkilerde verim ve kalite kayıplarının meydana gelmesi kaçınılmazdır (Duffus, 2002; Gür ve ark., 2004; Kennedy ve

Gonsalves, 1987). Son zamanlarda dünya genelinde artış gösteren araştırmalar arasında yer almasının en önemli nedenlerinden biri bitkiye verdiği hasar, diğeri ise; solunum yoluyla, su kaynaklarıyla, ya da bitkisel ve hayvansal gıdalar ile insan bünyesine geçerek kronik ve dejeneratif pek çok ciddi sağlık problemine neden olmasıdır (Rubio et al., 1994; Vousta, et al., 1996; Alloway, 1990; Forstner, 1984). Bu nedenle ağır metallerin toprak, su kaynağı ve bitki bünyesindeki birikim miktarının saptanması canlı hayatının sürekliliği açısından önem arz etmektedir.

Türkiye pek çok üründe dünya lideri konumunda olan ve çok geniş ürün yelpazesine sahip bir tarım ülkesidir. Dünyada lider konumunda olduğu ürünlerden biriside kayısıdır. Anavatanı Çin, Sibirya, Mançurya, İran ve Kafkasya bölgeleri olmasına rağmen Anadolu'da özellikle Malatya ve civarı illerde uygun ekoloji ve toprak koşulları nedeniyle doğal bitki örtüsü içerisinde yayılış göstermiştir. Verim ve kalite bakımından üstün özelliklere sahip genotipler selekte edilerek meyve bahçeleri kurulmuştur (Baş, 1993; Westwood, 1995; Aubert ve Chanforan, 2007). Günümüzde üretim miktarı itibariyle ülkemizde üretilen sert çekirdekli meyve türleri içerisinde kayısı ilk sıralarda yer almaktadır. İstatistiki verilere göre 2018 yılında 3.838.526 ton olan dünya yaş kayısı üretiminin 750.000 tonunu tek başına karşılayan Türkiye dünya üretiminde %20' lik paya sahiptir (FAO, 2020). Dünya kuru kayısı ihracatında liderliğini koruyan Türkiye 2019 yılında 100.137 ton ihracat ile 253.1 milyon dolar gelir elde etmiştir (ITC,

2020). Malatya ili 2019 yılında Türkiye üretiminin %46' sını karşılayarak üretimde 1. sırada yer almaktadır.

İnsan sağlığı açısından önemli bir besin ve lif kaynağı olan kayısı taze ve kuru tüketimine ek olarak reçel, marmelat, meyve suyu, pestil ve daha birçok ürünün üretiminde ana materyal ya da iz miktarda yer almaktadır. Ayrıca çekirdek kabukları kereste ve aktif karbon üretiminde içi ise de son yıllarda kayısı çekirdeği kahvesi, glütensiz çekirdek kurabiyesi, kayısı sütü gibi katma değeri yüksek gıda üretiminde kullanılmaktadır. Kullanım alanı her geçen gün artan kayısı ve ürünleri ülke ekonomisine katkı sağlayan önemli bir gelir kaynağıdır. Tüketimi ve kullanım alanı bu denli geniş olan bir ürünün canlı hayatını tehdit edecek unsurlardan arınmış olarak yetiştirilmesi ve güvenilir gıda olarak tüketiciye sunulması büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda kayısı yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapıldığı bölgelerde ağaçlarda görülen kurumalar, vejetatif gelişiminde yavaşlamalar, eksik çiçek oluşumları, verim ve kalite kayıpları gibi yetiştiricilikte istenmeyen olumsuzluklara hastalık, zararlı ve besin maddesi noksanlıklarının neden olduğu düşünülmektedir. Ancak bilim dünyasında ağır metaller ile ilgili yapılan çalışmalar bitkinin vejetatif ve generatif gelişimini olumsuz yönde etkileyerek verim ve kaliteyi düşürdüğünü göstermiştir. Örneğin; elmada ağır metallerin polen çimlenmesi ve polen tüpü gelişimi üzerine etkisinin incelendiği bir çalışma sonucunda polen çimlenmesi ve tüp büyümesini önemli oranda azalttığını tespit etmişlerdir (Munzuroğlu ve Gür, 2000). Bu

durum yetiştiricilikte ciddi verim kayıplarına neden olmaktadır. Maruziyetin miktarı kadar süreside önemlidir. Yani az miktarda uzun yıllar süren maruziyet bitkilerde toksisiteye neden olmaktadır.

Kayısı plantasyonundaki potansiyel kirlenme hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla, kayısı yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapıldığı Battalgazi ilçesinde DSİ sulama kanalı ve keson kuyu suyu ile sulanan iki farklı kayısı bahçesinde toprak, su, taze meyve, yaprak, çekirdek ve kuru meyve örneklerinde bazı toksik ve iz element miktarları incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Araştırma 2019 yılında kayısı yetiştiriciliğinin yaygın olarak yapıldığı Türkiye'nin Doğu Anadolu bölgesinde yer alan Malatya ili Battalgazi ilçesinde DSİ sulama kanalı ve keson kuyu suyu ile sulanan iki farklı kayısı bahçesinde yapılmıştır. Örneklenen bahçede 20-25 yaşlarında Hacıhaliloğlu ve Kabaaşı kayısı çeşitleri mevcuttur.

2.1. Materyal

Bitkisel materyal olarak Malatya'da kuru kayısı üretiminde yaygın şekilde yetiştiriciliği yapılan çöğür anaç üzerine aşılı Hacıhaliloğlu ve Kabaaşı kayısı çeşitleri kullanılmıştır. Çeşitlerin genel özellikleri kısaca aşağıda verilmiştir.

Hacıhaliloğlu: Malatya'nın en önemli kayısı çeşidi olup ilin toplam kayısı varlığının %60-65'ini oluşturmaktadır. Ağaçları yüksek boylu, dik-yayvan şeklinde çok kuvvetli ve çabuk büyür. Verimi orta, dona,

kurağa ve hastalıklara karşı hassastır. Meyve orta irilikte, 25-35 g ağırlıkta meyve şekli oval, simetrik, meyve kabuk ve et rengi sarı ve kırmızı yanak oluşumuna yatkındır. Meyve eti sert dokulu, az sulu, çok tatlı, aromalı, pH 4.5-4.8, SÇKM %24-28 ve toplam asit miktarı % 0.20-0.40'dır. Çekirdek şekli oval, 1.7-2.2 g ağırlığında, çekirdek meyve etine yapışık olmayıp tohumları tatlıdır. Soğuklama gereksinimi 860-1020 saat ve Malatya'da Temmuz ayının ikinci haftası olgunlaşmaktadır (Elgin, 1976; Asma, 2011).

Kabaaşı: 1970'li yıllarda Malatya'da yapılan bir seleksiyon çalışması sonucu bulunmuş kurutmalık ve sofralık olarak kullanılmakta olan bir çeşittir. İlkbahar geç donlarına diğer çeşitlere kıyasla toleranslı olması son yıllarda modern bahçe tesisini artırmıştır. Üretimi yapılan kayısı çeşitleri arasında ikinci sırada yer almaktadır. Ağaçları orta verimlilikte, dik ve kuvvetli gelişim göstermektedir. Meyveleri 35-40 g ağırlığında, oval şekilli, et rengi sarı ve kabuk rengi hafif kırmızımsıdır. Meyve tatlı, SÇKM %24-26 civarında, meyve eti sert dokulu, çekirdeği tatlı ve meyve etine bağlı değildir. Malatya'da Temmuz ayının ikinci haftası olgunlaşma gösterirken hasat tarihleri bölgelere göre değişmektedir. Ağaçları çiçek monilyasına karşı hassas olmasına rağmen çil hastalığına dayanımlarının Hacihaliloğlu çeşidine göre daha iyi olduğu belirtilmiştir (Demirtaş ve ark., 2006).

2.2. Yöntem

Kayısı Plantasyonundan toprak, su, meyve, yaprak ve çekirdek örnekleri aşağıdaki yöntemler doğrultusunda alınmış ve ağır metal analizleri ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır.

- **Toprak örneklerinin alınması:** Toprak örnekleri Kacar (2012) tarafından belirtilen kurallar doğrultusunda 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm derinliklerden bahçeyi temsil edecek şekilde alınmıştır. Alınan toprak örnekleri kurutularak 2 mm'lik eleklerden geçirildikten sonra ağır metal analizleri için hazırlanmıştır.
- **Su örneklerinin alınması:** Su örnekleri daha önceden temizlenmiş saf sudan geçirilmiş numune kaplarına akmakta olan bir miktar su numunesi ile çalkalandıktan sonra alınmıştır. Analiz yapılana kadar derin dondurucuda (-20 ^{0}C) bekletilmiştir (Kır ve ark., 2007).
- **Meyve örneklerinin alınması:** Hasat olgunluğuna gelmiş kayısı meyveleri bahçeyi temsil edecek şekilde rastgele seçilen ağaçlardan ve ağacın dört tarafından el ile hasat edilmiştir. Alınan meyve örnekleri saf su ile temizlendikten sonra analizler için hazırlanmıştır.
- **Çekirdek örneklerinin alınması:** Hasat edilen meyvelerin çekirdekleri ağır metal analizi için kullanılacaktır.
- **Yaprak örneklerinin alınması:** Yaprak örnekleri Kacar (1972)' a göre bölge için uygun görülen zamanda arazi büyüklüğüne göre tahmini 5-10 ağacın dört yönünden ve her

ağaçtan 4-8 yaprak olmak üzere aynı yıl içerisinde süren bahar sürgünlerinin meyvesiz gelişmesini tamamlamış orta kısmındaki yapraklar sapları ile birlikte alınacaktır. Alınan yaprak örnekleri saf su ile temizlendikten sonra analizler için hazırlanacaktır.

- **Ağır metal analizleri**

Projede bahçe toprağı, sulama suyu, yaprak, çekirdek taze ve kuru meyve örneklerinde yapılan ağır metal analizi için kuarz nebulizer gazlaştırıcı, cyclonic spray chember ve entegre bir auto-sampler bulunduran ICP-MS NexION® 2000 (PerkinElmer® Inc., USA) cihazı kullanılmıştır. Elde edilen okuma değerlerini cihaz ppb düzeyinde verdiği için ppm düzeyine formüller kullanılarak çevirisi yapılmıştır.

3.Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakta bulunan ağır metal konsantrasyonları

Battalgazi bölgesinde keson kuyu ve kanal suyu ile sulanan birer bahçeden 0-30, 30-60, 60-90 cm derinliklerden bahçeyi temsil edecek şekilde 6 adet toprak örneği alınmıştır. Örneklenen plantasyonlara ait ağır metal konsantrasyonları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Battalgazi'de örneklenen kayısı bahçesinin topraklarındaki ağır metal miktarları

Örnek kodları	44-S1 (0-30)	44-S2 (30-60)	44-S3 (60-90)	44-K1 (0-30)	44-K2 (30-60)	44-K3 (60-90)
Cr	84,56	116,95	103,78	71,93	65,31	68,84
Fe	27498,42	33330,92	30146,11	26114,11	23516,8	26630,69
Cu	43,74	41,27	33,21	58,13	76,87	52,45
Zn	34,04	39,36	32,17	32,43	28,71	32,58
Ag	114,08	81	61,53	59,67	47,93	43,1
Cd	0,13	0,13	0,09	0,05	0,07	0,09
Pb	106,18	144,51	69,6	112,7	93,86	140,72
Ni	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Hg	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

S: Keson kuyu, K: DSİ sulama kanalı
Cr: Krom, Fe: Demir, Cu: Bakır, Zn: Çinko, Ag:Gümüş, Cd: Kadmiyum, Pb: Kurşun, Ni: Nikel, Hg: Civa
n.d.: Tespit edilmedi

AB üyesi bazı ülkeler ve ülkemizin topraktaki ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. AB Üyesi Bazı Ülkeler ve Türkiye'de Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri

AB'ye Üye Bazı Ülkelerde Toprak İçin Ağır Metal Sınır Değerleri (mg kg^{-1}) (pH= 6-7)						**Türkiye'de Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri**	
Metaller	**86/278/EEC**	**Avusturya**	**Finlandiya**	**Hollanda**	**İspanya**	**pH= 5- 6**	**pH>6**
Cd	1 - 3	1-2	0,5	0,8	0,4	1	3
Cr	x	100	200	100	60	100	100
Cu	50-140	60-100	100	36	40	50	140
Hg	1-15	1-15	0,2	0,3	0,3	1	1,5
Ni	30-75	50-60	60	35	30	30	75
Pb	50-300	100	60	85	40	50	300
Zn	150-300	200-300	150	140	100-150	150	300

Çizelgeye göre elde edilen sonuçlardan sadece keson kuyu suyu ile sulanan plantasyonda 30-60 cm toprak derinliğinden alınmış olan örnekte bitkiler için toksik elementler arasında yer alan Krom (Cr) miktarı limit değerin üzerinde (65-116 ppm) bulunmuştur. Diğer sonuçların ise sınır değerlerin altında olduğu saptanmıştır.

Kayısı ve toprak örneklerinde eser madde tayini yapmak amacıyla Malatya'nın çeşitli bölgelerinden örnekler almıştır. Alınan toprak örneklerinde Pb, Cu, Cd, Mn, Fe, Zn, Ni ve Cr tespit etmiştir. Meyve örneklerinde ise Cu, Cd, Mn, Fe, Zn ve Ni tespit ettiğini belirtmiştir (Kaygusuz, 2009). Bakırın bitki yetiştiriciliği yapılan alanda kurşun ile birlikte bulunması kök, gövde ve yaprak gelişimini negatif yönde etkilediğinden bitki gelişimini, verim ve kaliteyi olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2004).

3.2. Sulama suyunda bulunan ağır metal konsantrasyonları

Örneklenen kayısı plantasyonlarından birisi keson kuyu ile sulanmakta diğeri ise DSİ sulama kanalına ait su ile sulanmaktadır. Kullanılan sulama suyu kaynaklarından alınan su örneklerine ait elde edilen veriler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3. Sulama suyu kaynağının ağır metal miktarları

Örnek kodları	**Keson kuyu**	**Kanal**
Cr	n.d	n.d
Fe	82,4	40,9
Cu	0,7	0,7
Zn	0,3	2,4
Ag	119,1	19
Cd	n.d	n.d
Pb	n.d	n.d
Ni	n.d	n.d
Hg	n.d	n.d

n.d.: Tespit edilmedi

Sulama suyunda keson kuyuda Fe 82.4, Cu 0.7, Ag 119.1ppm saptanmıştır. Suda bulunan ağır metal miktarıyla topraktaki miktar arasında paralel bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Sulama suyunda bulunmayan Cr, Cd, Pb' un toprakta bulunması kirliliğin tek kaynağının sulama suyu olmadığını göstermektedir.

3.2. Kayısı meyvesinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonları

Kayısı plantasyonundan alınan Hacıhaliloğlu (HH) ve Kabaaşı (KA) kayısı çeşitlerine ait meyve, yaprak, çekirdek ve güneşte kurutulan meyve örneklerine ait veriler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kayısı örneklerine ait ağır metal miktarları (ppm)

Örnekler	Fe	Cu	Zn	Ag	Cd	Pb	Ni	Hg
D.HH1	29,07	5,91	5,91	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
D.HH2	27,77	5,68	5,20	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
D.KA1	13,23	3,72	3,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
D.KA2	15,30	3,26	1,95	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Y.HH1	64,93	2,08	5,76	n.d.	n.d.	0,13	n.d.	n.d.
Y.HH2	33,88	1,57	5,32	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	n.d.
Y.KA1	45,25	1,73	4,45	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Y.KA2	38,29	1,07	2,32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T.HH1	3,97	0,43	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T.HH2	4,33	0,46	2,09	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T.KA1	1,09	0,73	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
T.KA2	1,77	0,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ç.HH1	20,14	15,63	43,78	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ç.HH2	13,18	15,89	56,82	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ç.KA1	18,41	11,70	42,64	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ç.KA2	16,82	8,75	35,82	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

D.HH: Kuru Hacıhaliloğlu çeşidi, D.KA: Kuru Kabaaşı çeşidi
Y.HH: Hacıhaliloğlu yaprağı, Y.KA: Kabaaşı yaprağı
T.HH: Taze Hacıhaliloğlu çeşidi T.KA: Taze Kabaaşı çeşidi
Ç.HH: Hacıhaliloğlu çekirdeği Ç.KA: Kabaaşı çekirdeği
1: Keson kuyu
2: DSİ sulama kanalı
n.d.: Tespit edilmedi

Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinin kuru meyve, yaprak taze meyve ve çekirdeklerinde bulunan ortalama ağır metal miktarı sırasıyla Fe'de 28.42, 49.405, 4.15 ve 16.66 ppm düzeyindedir. Cu'da 5.80, 1.82, 0.44 ve 15.76 ppm seviyesindedir. Zn'da 5.55, 5.54, 2.09 ve 50.3 ppm düzeyinde tespit edilmiştir. Ag sadece kuru Hacıhaliloğlu çeşidinde 0.025 ppm saptanmıştır. Alınan örneklerde Pb'da sadece Hacıhaliloğlu kayısı çeşidinin yapraklarında tespit edilmiştir. Ni, Hg ve Cd ise örneklerde saptanmamıştır. Yaprak, çekirdek, taze ve kuru meyve örneklerinde Fe, Cu, Zn tespit edilmiştir.

Kabaaşı kayısı çeşidinin kuru meyve, yaprak taze meyve ve çekirdeklerinde bulunan ortalama ağır metal miktarı sırasıyla Fe'de 14.26, 41.77, 1.43ve 17.61 ppm düzeyindedir. Cu'da 3.49, 1.40, 0.58 ve 10.22 ppm seviyesindedir. Zn'da 2.57, 3.38, n.d. ve 39.23 ppm düzeyinde tespit edilmiştir. Alınan örneklerde Ag, Pb Ni, Hg ve Cd ise tespit edilememiştir.

Kayısı ile ilgili yapılan bazı çalışmalara ve yapmış olduğumuz çalışmaya ait yaş meyve örneklerindeki ağır metaller ve miktarları ppm düzeyinde Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Kayısıda ağır metaller ile ilgili yapılan bazı çalışmalar

Ağır metaller	Taze meyve örnekleri (ppm)	Kaygusuz, 2009 (ppm)	Saraçoğlu ve ark., 2008 Kayseri (ppm)	Tokman, 2007 Afyonkarahisar (ppm)	Tokman, 2007 Nevşehir (ppm)
Demir	1.09-4.33	5.91-14.6	80.1	n.d.	0.206-0.313
Bakır	0.43-5.91	2.50-3.97	2.42	0.505-0.653	0.537-0.701
Çinko	n.d.-2.09	0.58-3.57	12.0	n.d.	-
Gümüş	n.d.	-	-	n.d.	-
Kadmiyum	n.d.	n.d-0.33	0.22	0.027-0.049	0.026-0.049
Kurşun	n.d.	n.d.	2.50	0.215-0.335	-
Nikel	n.d.	2.33-7.07	3.66	n.d.	-
Civa	n.d.	-	-	n.d.	-

n.d.: Tespit edilmedi

Çalışma sonuçlarına göre bitkilerdeki birikim miktarını toprak yapısı, çeşit, sulama suyu kaynağı, çevre koşulları ve kirlilik düzeyleri, sanayi ve kirletici diğer kaynaklara olan mesafe gibi pek çok etmen birikim miktarını etkilemektedir. Saraçoğlu ve ark. (2008)'nın yapmış olduğu çalışmada Fe 80.1 ppm düzeyinde tespit edilmişken çalışmamızda 1.09-4.33 ppm arasında değerler saptanmıştır. Malatya'nın Yeşilyurt ilçesine bağlı Görgü mahallesinde yapılan bir araştırmada ise; 112 adet toprak ve içerisinde kayısının da bulunduğu 23 farklı bitki örneği almıştır. Kayısı örneklerinde; Ag, As, Cd, Cu, Pb, Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğunu ve topraktaki miktar ile bitki bünyesinde ki miktarın Cu hariç diğer elementlerde uyumlu olduğunu ve kayısının dal, yaprak ve meyvesinde ağır metallerin tespit edildiğini belirtmiştir. Topraktaki en düşük miktarı 24 ppm olan Cu'ın ağacın dal, yaprak ve meyvesinde ki miktarının sırasıyla 33 ppm, 4,8

ppm ve 6,4 ppm olduğunu ifade etmiştir (Kırat, 2009). Araştırmacının yapmış olduğu çalışma ile toprakta düşük konsantrasyonlarda ağır metal bulunsa bile bitki bünyesinde fazla miktarlarda bulunabileceğinin bir göstergesidir.

4. Sonuç

Farklı sulama suyu kaynakları ile sulanan kayısı plantasyonlarında Malatya'nın kuru kayısı üretiminde ve ihracatında en önemli iki çeşidi olan Hacıhaliloğlu ve Kabaaşı kayısı çeşitlerinde ağır metal birikimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma neticesinde toprak ve sulama suyu kaynağında bulunan ağır metallerin bitkide daha düşük konsantrasyonlarda ya da hiç bulunmadığını ve aynı yetiştirme koşullarında ki farklı çeşitlerde miktarın değiştiğini göstermiştir. Nitekim Hacıhaliloğlu çeşidinde Ag tespit edilmişken Kabaaşı çeşidinde olmadığı görülmüştür. Bitkinin farklı kısımlarında birikim miktarı da çeşitler arasında farklılık göstermiştir. Örneğin Zn miktarı meyve ve yaprağa kıyasla çekirdekte daha fazla tespit edilmiştir.

Kayısı ülkemiz için önemli bir ihracat ürünü ve üreticilerimiz içinde gelir kaynağıdır. Son yıllarda yaşanan kükürt dioksit, pestisit kalıntısı gibi sorunlara ek olarak birde toksik element sorunu yaşamaması adına önlemlerin alınması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Alloway, B. J., (1990). Heavy Metal in soils Blackie Glasgow UK, 368 p.

Asma, B.M., 2011. Her Yönüyle Kayısı. İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü. ISBN: 978-605-88309-7-4. Malatya. 366 sayfa.

Aubert, C., Chanforan, C., 2007. Postharvest Changes in Physicochemical Properties and Volatile Constituents of Apricot (Prunus armeniaca L.) Characterization of 28 Cultivars. Journal Agricultural Food Chemistry, 55, 3074-3082.

Baş, M., 1993. VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı. Bahçe Bitkileri Özel İhtisas Komisyonu Kayısı Raporu. 25s.

Caf, A., Koç, A., Yilmaz, S.. 2017. Kentleşmenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi; Bingöl İli Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 7:3, 231-238.

Dean, J. G., Bosqui, F. L. and Lanouette, V. H., (1972). Removing heavy metals from waste water: Environmental Science and Technology, 6, 518-522.

Demirtaş, M. N., Öztürk, K., Fidan, Ş., Çolak, S., Şahin, S., Yılmaz, K. U., Gökalp, K., 2006. Kayısı Yetiştiriciliği. Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No:2, 47s.

Duffus, J. H., (2002). Heavy metals a meaningless term, Pure Appl. Chem., 74, 5, 793- 807.

Elgin, İ., (1976). Kayısı Yetiştirilmesi. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları, Ongun Matbaası, Ankara.

Forstner, U., (1984). Changing metal cycles and human health, Springer Verlag, Berlin, 71-94.

Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö ve Çobanoğlu, D., (2004). "Ağır Metal İyonlarının (Cu +2 , Pb +2 , Hg +2 , Cd +2) Clivia sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri", F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi, 16(2): 177-182.

Kacar, B., (1972). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri II. Bitki Analizleri A.Ü.Z.F. Yayınları. 453. A.Ü. Basımevi, Ankara, 1972.

Kacar, B.,(2012). Toprak Analizleri (Üçüncü Basım). Nobel Yayın No:484, Fen Bilimleri No:043, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Kaygusuz, İ., (2009). Kayısı Ve Toprak Örneklerinde Atomik Absorpsiyon Spektrometresi İle Eser Metal Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.

Kennedy, C.D. and Gonsalves, F.A.N., (1987). "The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots", Journal of Experimental Botany, 38: 800-817.

Kır, İ., Tekin Özan, S., Tuncay, Y., (2007). Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, cilt 24, sayı (1-2) 155-158.

Kırat, G., (2009). Görgü (Yeşilyurt - Malatya) Pb – Zn Yatakları ve Çevresindeki Metallerin Bitkilere Yansımaları. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. 210 s.

Lombardo, M., Melati, R. M. and Orecchio, S., (2001). Assessment of the quality of the air in the city of Palermo through chemical and cell analyses on Pinus needles Atmospheric Environment 35: 6435-6445.

Munzuroğlu, Ö., Gür, Ö., (2000). Türk J Biol 24, 67-684 TÜBİTAK.

Prasad, M.N.V.,(1995). Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants, Environ. Exp. Bot. 35: 525–545.

Robert, H.M., (1995). Contaminants in the Upper Mississippi River: Boston, Butterworth Publishers, 195-230.

Rubio, M.I., Escrig, I., Martínez-Cortina, C., López-Benet, F.J., Sanz, A., (1994). Cadmium and nickel accumulation in rice plants. Effects on mineral nutrition and possible interactions of abscisic and gibberellic acids. Plant Growth Regul. 14 (2): 151–157.

Salt, D., (2001). Responses and adaptations of plants to metal stress, pp. 159–179. In: Molecular Analysis of Plant Adaptations to the Environment. Hawkesford MJ (ed.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht,

Saracoglu, S., Tuzen, M. Soylak, M., 2009. Evaluation of trace element contents of dried apricot samples from Turkey. Journal of Hazardous Materials, 167(1-3), 647-652.

Tokman, N., 2007. Çeşitli Örneklerde Eser Element Analizinde Farklı Çözme Tekniklerinin Karşılaştırılması. (Y.Lisans Tezi). Marmara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Vousta, D., Grimanins, A., Sammara, C., (1996). Trace elements in vegetable grown in an industrial areas in relation to soil and air particulate matter, Environ. Pollut., 94, 3, 325–335.

Westwood, M.N., 1995. General Environment, In: Temparate-Zone Pomology: Physiology and Culture. Timber Press, pp: 29-41, Oregon.

Zengin, F.K. ve Munzuroğlu, Ö., (2004). Effects of Leads (Pb+2) and Copper (Cu+2) on the Growth of Root, Shoot and Leaf of Bean (Phaseolus vulgaris L.) Seedlings, Gazi University, Journal of Science, 17(3), 1-10

BÖLÜM 6

TOPRAKLARDAKİ TUZLULUK TOKSİSİTESİNİN BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ziraat Yüksek Mühendisi Şeyma Akşit ÖZER[1]

[1]Erciyes Üniversitesi, Seyrani Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, FBE Doktora Öğrencisi, Kayseri, Türkiye. ORCİD: 0000-0003-1517-3943. seyma.aksitozer@tarimorman.gov.tr

1.GİRİŞ

Tuzluluk; kuraklık ve diğer stres faktörleri ile birlikte mevcut durumda bitki gelişimini kısıtlayan ve verimliliği düşüren önemli bir üretim kısıtlayıcısı haline gelmiştir (Parida ve Das, 2005). Tuzluluk, günümüzde var olan tarım topraklarının bilinçsiz uygulamalar neticesinde geri dönüşümsüz olarak kaybedilmesine neden olan mevcut sorunların başında yer almaktadır. Tarımsal sorunlar zincirleme şekilde devam edip, tarım topraklarının gün geçtikçe miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Tuzluluğun çeşitli sebeplerle topraklardaki miktarı zamanla artmakta ve verimli tarım topraklarının verimsizleşerek kaybedilmesinde büyük rol oynamaktadır.

Ülkemizde var olan toprakların %2'sinde, toplam tarım arazilerinin ise %4'ünde tuzluluk üretimi kısıtlayıcı önemli bir sorun haline gelmiştir. Dünyadaki tarım topraklarının ise yaklaşık olarak %46'lık bir kısmı kurak ve yarı kurak alanlarda bulunmakta olup, bu alanlarda var olan ve genel olarak sulu tarım sistemi uygulanan arazilerin yaklaşık olarak %50'lik kısmında ise değişen oranlarda tuzluluk sorununun yaşandığı belirtilmektedir. Dünya Toprak Haritası verileri incelendiğinde dünyada genel olarak 954 milyon ha alanda tuzluluk probleminden dolayı zarar görmüş ve verimliliği düşmüş araziler bulunduğu ifade edilmiştir (FAO, 1988; Szabolcs, 1991). Dünyada tuzluluk zararı yaşanılan topraklar Afrika 80.500.000 ha, Avrupa 50.800.000 ha, Avustralya 357.300.000 ha, Amerika 146.900.000 ha ve Asya kıtasında 319.300.000 ha olmak üzere yayılım göstermektedir (Sönmez, 2003). Dünya genelinde hemen hemen her yıl 10 milyon ha

arazi yüksek tuz seviyelerinden dolayı zarar görmekte ve üzerinde üretim yapılamaz duruma gelmektedir (Akgül, 2003).

Ülkemizde bulunan mevcut toprak varlığının %1.7'lik kısmı olan 1.518.746 ha alanda, üretime dahil olan alanların ise %3.8'lik kısmı olan 837.405 ha alanda tuzluluk toksisitesi sebebiyle üretimde sorunlar yaşanmaktadır. Bu bağlamda bir başka açıdan bakıldığında çorak alanların toplamı ülkemizin toplam yüzölçümünün %2'lik kısmını oluşturmakta ve toplam tarım yapılan alanların %5.48'lik kısmı olan 27.699.003 ha alana denk gelecek bir miktara sahip olmaktadır. Çorak araziler sınıflandırıldığında bu alanların %74'ü tuzlu, %25.5'i tuzlu-alkali ve %0.5'i alkali olarak belirlenmektedir (Anonim, 1980). Artan tuzluluk problemi karşısında tuzluluğun nedenleri azaltılmasının yolları ve bu topraklardan ekonomik olarak kazanç sağlayabilmek adına dayanıklı bitki türlerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde topraktaki tuzluluk toksisitesinin azaltılmasının mümkün olmadığı bölgelerde özellikle tuza dayanımı yüksek olan bitki türlerinin ekiminin yaygınlaştırılması tuza karşı geliştirilmiş mücadele yöntemlerinden bir tanesidir.

Ülkemizde tuzluluk probleminin yoğun olduğu alanlar değerlendirildiğinde Harran, Amik, Konya ve Aşağı Seyhan ovası öne çıkmaktadır. Örnek olarak Harran Ovasının sulamaya açılmasıyla birlikte tuzlu, tuzlu sodyumlu ve sodyumlu alanların miktarında artış meydana geldiği belirlenmiştir (DSİ, 1971). Örnekten de anlaşılacağı üzere sulama suyu kalitesi ve kaynağı, alanların topoğrafik ve iklim yapısı tuzluluğu üretimde önemli bir kısıtlayıcı haline gelmesine sebep

olmakta ve tuzluluk artan alanlarda önemli verim kayıpları ortaya çıkmaktadır.

Tarım alanlarında tuzluluğun bir toksiste haline gelmesi sonucunda toprak yapısı bozulmakta, bitki gelişimini olumsuz şekilde etkileyerek yetiştirilen üründe kalite ve verim düşüklüğüne sebep olmaktadır. Tuzluluk; bitkilere zarar verebilecek düzeyde çözünen tuzların ya da değişebilir sodyumun bulunması veya her ikisinin birden bulunması anlamına gelmektedir. Tuzlu olarak nitelendirilen topraklarda pH $\leq$8.5 ise elektriksel iletkenlik (EC) değeri 15dS m^{-1}'den daha yüksek olmaktadır (Munsuz ve ark., 2001). Tuzluluk problemi olan topraklardan bahsederken sadece kurak ve yarı kurak alanlarla birlikte tropik bölgelerden kutuplara kadar çok farklı iklim bölgelerinde rastlanabileceği ifade edilmelidir. Bu durum değerlendirildiğinde tuzluluk problemi kaynaklarına göre farklılık göstermekle birlikte denize sınır olan yerlerden rakımı çok yüksek olan alanlara kadar birçok alanda büyük bir problemdir. Bu kavramlar birlikte değerlendirildiğinde tuzluluk sadece kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde sınırlı bir problem olmaktan çıkıp tüm bölgeleri ilgilendiren bir sorun haline gelmektedir (Singh ve Chatrath, 2001).

Sulama amacı ile kullanılan tüm suların kaynağı ne olursa olsun içeriğinde değişik miktarlarda tuz bulundurmaktadır. Sulama suyu ile topraklara tuz geçişinin olması tarım toprakları üzerinde tuzluluk probleminin daha da yaygınlaşmasına neden olmakta ve alternatif çözümler araştırılmasını bir gereklilik haline getirmektedir.

Bitkiler yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için uygun koşullara ihtiyaç duymaktadırlar. Uygun koşullar sağlanmazsa eğer bitkiler strese girer ve yaşam döngülerini sağlıklı bir şekilde tamamlayamazlar. Genellikle bitkilerde kendi metabolizmalarının tolerans mekanizmalarının izin verdiği eşiğe bağlı olarak, anlık ya da iklime bağlı olarak ortaya çıkan mevsimsel değişimlere rağmen tolerans mekanizmalarını devreye sokup büyüme seyirlerini normal olarak devam ettirebilirler ancak ekstrem koşullara uzun süreli olarak maruz kalmaları sonucunda bitkilerde hastalıklar, hasarlar ya da fizyolojik değişimler meydana gelebilir (Shao ve ark., 2008).

2.TOPRAKTA TUZLULUK TİPLERİ VE NEDENLERİ

Topraktaki tuzluluk sebepleri detaylı olarak incelendiğinde tuz bileşiklerinin toprakta ve yeraltı sularında uzun süre birikmesi sonucunda meydana gelen tuzluluk "primer tuzluluk" olarak adlandırılmaktadır. Bu tuzluluk tipinin oluşumunda iki doğal sebep bulunmaktadır. Bu sebeplerden ilki, çözünebilen tuzları içinde bulunduran ana kayanın aşınması neticesinde bu kayaların içeriğindeki klorür, sülfat ve karbonat tuzlarının toprağa geçişi sonucu meydana gelmektedir. Sözü geçen tuzlar içerinde sodyum klorür en yüksek çözünürlüğe sahiptir (Kadıoğlu, 2011). Primer tuzluluğun meydana gelmesindeki diğer doğal sebep ise denizlerde ve okyanuslarda bulunan suyun içeriğindeki tuzların yağmur ve rüzgar ile topraklara taşınarak yapısına karışmasıdır. Genel olarak iç bölgelerde rüzgarlarla taşınan bu tuzlara "siklik tuzlar" denilmektedir ve bu tuzlar genellikle NaCl tipindedir. Bununla birlikte yağmurlarda bir miktar

tuz içermekte olup toprağın yapısına tuz karışmasına sebebiyet vermektedir.

“Sekonder tuzlanma” ise insan faaliyetleri neticesinde ve mevcut yağış ile bitkilerin su tüketimi arasında ortaya çıkan miktar farkından yani hidrolojik dengenin bozulmasından dolayı meydana gelir. Bu durumun en yaygın nedenleri; arazide çok yıllık bitki yetiştiriciliği yerine tek yıllık bitki yetiştiriciliğinin yaygınlaştırılarak tek yıllık bitkilerin miktar olarak artması, drenajın yetersizliği ve sulama amacıyla kullanılan suların içeriğindeki tuz miktarı olarak sıralanabilir. İnsanlarının tarımsal faaliyetlerinin doğurduğu sonuçlar dışında ise kurak alanlarda bitki su tüketimi ve mevcut yağış miktarı arasında bir uyum bulunmaktadır (Kadıoğlu, 2011). Çok yıllık bitkilerin daha derine inen bir kök sistemleri olması sebebiyle, çok yıllık bitkiler, toprak taban suyu miktarının derinlerde fazla olmasına neden olmaktadırlar.

Topraktaki üretim deseninin değiştirilmesi ve sulama suyu miktarındaki değişiklikler sebebiyle toprak su miktarı bitkilerin kullanabileceği düzeyin üzerine çıkmaktadır. Sonuç olarak toprak taban suyunun yükselmesi neticesinde toprak altı sularında bulunan tuz toprak yüzeyine çıkar ve bitki kök bölgesine taşınır. Bitkilerin suyu kökleriyle alması ve toprak yüzeyinden suyun buharlaşması ile tuz bileşikleri toprak yüzeyinde birikerek bir tabaka oluşturur. Oluşan bu tabaka bitki köklerinde ozmotik strese sebep olur. Meydana gelen bu stres sonucunda bikri köklerindeki var olan suyu alamayarak

fizyolojik kuraklık yaşar. Yüzeyde biriken tuzlar toprak altına inerek yeraltı sularına da karışabilir. (Kadıoğlu, 2011).

Tuzluluk problemi yaşanan topraklar genel olarak sodyum, kalsiyum, magnezyum, potasyum katyonları ile birlikte, klor, sülfat, bikarbonat, karbonat ve nitrat anyonlarını içermektedirler (Tanji, 2002). Sulama yapılan nerdeyse her alanda, fazla sulama ve drenajın yetersiz olması nedeniyle taban suyu yüksek seviyelere çıkmaktadır. Tarımda sulama amaçlı olarak kullanılan suların kaynağı ve kalitesi ne olursa olsun toprak yapısında bir miktar tuz birikimine neden olur. Örnek olarak sulama amaçlı olarak kullanılan su yapısında 500 ppm tuz bulundurduğu durumda, her 1,000 m^3 su kullanımında toprakta yıllık olarak 0.5 ton tuz birikimine neden olmaktadır. Bitkiler yıllık bir hektarda yaklaşık olarak 6,000- 10,000 m^3 suya gereksinim duyarlar, bu ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda 1 hektar alana yıllık olarak 3-5 ton tuz birikimi meydana gelmektedir (Doğru ve Canavar, 2020). Bitkilerin yaşamsal faaliyetleri neticesinde topraktan uzaklaştırdıkları tuz miktarı çok düşük olmakla birlikte topraktaki tuz miktarı azalmayıp üzerine sürekli olarak tuz birikimi gerçekleştiğinden bu tuzun topraktan uzaklaştırılması ancak bitkinin ihtiyaç duyduğundan fazla suyun verilmesi sonucuna topraktan yıkanma şeklinde olacaktır. Böyle durumlarda genellikle topraktaki drenaj zayıflığı sebebi ile fazla su bitki kök bölgesine taşınmakta ve ihtiyaç fazlası sulama ile de toprakta su baskınları ve bitkilerde verim düşüşleri gözlemlenmektedir (Kadıoğlu, 2011). Toprak Tuzluluğunun kaynakları aşağıdaki tabloda detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Toprak Tuzluluğunun Kaynakları.

TOPRAK TUZLULUĞU	
1. OKYANUSLAR	Okyanuslarla birleşen verimli ovalar, gel-gitler, deniz serpintileri ve tuz içeren suların topraklara karışması yoluyla tuzluluğa sebep olmaktadır (Terry, 1997).
2. ANA KAYA	Önceden denizin altında bulanan ve bazı jeolojik değişimler neticesinde suyun çekildiği alanlarda çok uzun zaman deniz suyuyla fazla miktarda aşınan kayaların, ana kaya içerisinde olan mevcut tuzların, suya ve farklı fiziksel, kimyasal etkilere maruz kalması sonucunda çözülmeleri nedeniyle tuzluluğa sebep olurlar (Terry, 1997).
3. ARAZİ TOPOĞRAFYASI İLE DRENAJI	Arazilerin kapalı havzalarda bulunması, topraklarda bulunan geçirimsiz katmanlar nedeniyle topraktan suyun akışının engellenmesi sonucunda taban

	suyunda meydana gelen yükselme ve toprak yüzeyinden suyun buharlaşarak uzaklaşması neticesinde topraktaki tuzluluk miktarı artmaktadır. (Ergene, 1996; Terry, 1997).
4. İKLİM	Tuzluluk genellikle kurak ve yarı kurak alanlarda sorun olmaktadır. Yağışlı bölgelerde toprakta tuz birikimi daha az olmakta biriken tuzlar yağış suları ile yıkanarak yer altı suyuna geçerek buradan okyanuslara ve denizlere ulaşmaktadır. Bu durumun aksine kurak ve yarı kurak alanlarda yağışın yetersiz olması nedeniyle tuz topraktan yıkanamamakta, yer altı suları denizlere ulaşamayıp daha fazla birikim meydana getirmektedir.

5. SULAMA SUYU KALİTESİ	Tuz yükü olarak adlandırılan; belirli bir zaman aralığında sulama amacıyla kullanılan suyun toprakta bırakacağı tuz miktarının yüksekliği ile tuzluluğa sebep olmaktadır.
6. KÜLTÜREL İŞLEMLER	Hatalı ve gereğinden fazla yapılan sulama gübreleme gibi kültürel işlemler tuzluluğa sebep olmaktadır.
7. MONOKÜLTÜR TARIM	Tek tip bitki yetiştiriciliği yapılarak, toprağın farklı katmanlarındaki suların kullanılamaması sebebi ile tuzluluğa sebep olmaktadır.

3.TOPRAK TUZLULUĞUNUN BİTKİ GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Kültür bitkilerinin tuza dayanımları farklı seyirler göstermektedir. Bazı tür ve çeşitler tuzluluk konusunda çok dayanıklı iken bazıları son derece hassas olup, çok düşük tuz konsantrasyonlarında bile yeterli gelişim gösterememektedirler. Bitkiler bu bakımdan; Halofitler ve Glikofitler olarak ikiye ayrılmaktadır (Mayber ve Lerner, 1994). Bu iki kavram tanımlandığında; halofitler genellikle yaşamının her evresinde kritik tuz yoğunluğuna dayanım göstermekte olup, halofitler

hem tuzlu ortamda hem de glikofitlerin yetiştiği ortamda yaşamını sürdürebilmektedir. Ancak halofitlerin birçoğu yabani olarak yetişmekte ve bir kısmı hayvan beslemede kullanılabilmekte ve yeterince besleyici olmamaktadır. Tüm kültür bitkileri glikofitler grubunda yer almaktadır. Bu grupta yer alan kültür bitkilerinin bazılarının tuza dayanımı yüksektir. Bu bakımdan iki grubu birbirinden ayrılması ve tuza dayanımlarının belirlenerek farklılıklarının açıklanması gereklilik göstermektedir (Turhan ve Başer, 2001).

Her bitki türünde tuzluluk stresine karşı olan tepkiler farklıdır. Hatta aynı türün farklı çeşitlerinde de tuzluluğa olan tepkiler farklılık göstermektedir. Tuzluluk bitkilerin toprak altı ve toprak üstü aksamlarına etki etmekte ve kök bölgesinde meydana gelen olumsuzluklar toprak üstü bitki gelişim aktivitelerine yansımaktadır. Diğer bir deyişle toprak üstü bitki aksamları toprak altındaki aktivitelerin bir aynasıdır.

Toprak tuzluluğunun bitki gelişimi üzerine etkileri sınıflandırılacak olursa;

3.1. Doğrudan etki

3.1.1.Ozmotik etki

Bitkilerin kök bölgesinde çözünmüş tuzların konsantrasyonunun artması sonucunda ozmotik basınçta da artış meydana gelmektedir. Bitkiler gelişimleri için ihtiyaç duydukları suyu almakta güçlük çekmeye başlar ve bazı iyonlardaki artışlar nedeniyle tuz toksisitesi

gözlenmekte ve bitkilerde stres meydana gelmektedir (Gürel ve Avcıoğlu, 2001). Ozmotik stres yani bitkilerdeki su eksikliği ile bitkilerde meydana gelen olumsuz durumlar; bitkilerin mevcut suyu tuz yoğunluğu sebebiyle alamaması nedeniyle ortaya çıkan fizyolojik kuraklık; bitkilerin ihtiyaç duyduğu ve aldıkları su arasında dengesizlikler meydana gelmesi sonucunda bazı yaşamsal faaliyetleri yerine getirememeleri, stomaların kapanması ile transprasyonun azalması, stomaların açılması ile transprasyonun yükselmesi, bitki gelişiminin yavaşlaması hatta bazı durumlarda durması ve bitkisel üretimde ortaya çıkacak olan verim kayıpları olarak sıralanabilir.

Ozmotik etkiyle ilgili önemli konulardan bir tanesi de fide gelişimi ve çimlenme döneminde bazı kültür bitkilerinin çok hassas olmasıdır (Bayraklı, 1998). Çimlenme ortamındaki tuz yoğunluğu arttıkça, ozmotik basınç artmakta ve dolayısıyla ortamdaki tohum çimlenme için yeterli suya ulaşamamaktadır (Day ve Uzun, 2016).

3.1.2.Özel iyon etkisi

Bu etki iki başlık altında toplanmaktadır.

3.1.2.1.Bitki beslenmesi

Ortamında bulunan bazı iyonlar, diğer bazı iyonların bitki tarafından alımını etkiler. Tuz stresinin olduğu ortamlarda bitkilerde genellikle toksisiteye neden olan iyonlar sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-) iyonlarıdır (Maas, 1986). Bu iyonların diğerlerine oranla daha yüksek olması çok düşük konsantrasyonlardaki besleyici elementlerin alımı açısından sorunlara yol açabilir ve bitkilerde besleyici elementlerin

eksikliklerine rastlanır. İyon toksisitesi sebebiyle bitki ihtiyaç duyduğu besleyici iyonları topraktan alamaz bitki besin elementi eksiklikleri ortaya çıkabilir.

Tuzlu ortamlardaki toksik iyon yoğunluğu bitkilerin kalsiyum ve potasyum alım mekanizmalarını etkileyebilmekte ve besin elementi eksikliğine sebep olabilmektedir. Yüksek oranda sodyum bulunması bitkilerde kalsiyum, potasyum ve magnezyum eksikliğine neden olmaktadır (Maas, 1986). Ortamda tuzluluktan kaynaklı olarak bulunan Na^+ ve Cl^- iyonların diğer iyonlara baskınlığı nedeni ile bitki beslenme mekanizmasına zarar vermektedir.

Bilhassa, kalsiyum içeriği yüksek olan topraklarda ise sodyum ve klorun antagonistik etkisi nedeniyle genellikle magnezyum noksanlığına rastlanmaktadır (Eryüce ve ark., 1998). Bütün bunlar birlikte değerlendirildiğinde tuz stresi yoğunluğu ve süresine bağlı olarak bitki beslenme mekanizmasına zarar vermekte ve bitkilerde büyüme, gelişme, çimlenme, hücre bölünmesi, fotosentez gibi bir takım bitki biyolojik aktivitesine zarar vermektedir (Bressan, 2008).

3.1.2.2.Toksik etki

Özel iyon etkisi için toksik etki iki şekilde ortaya çıkabilir. Belirli konsantrasyonlardaki sodyum, klor, sülfat veya diğer iyonlar büyümeyi yavaşlatabilir ya da bitki metabolizmasında hasarlara neden olabilir. Tuz iyonlarının özellikle sodyum iyonlarının yüksek oranda bitki bünyesinde bulunması bitkilerde toksik etkiye sebep olabilir. Bu toksik etkiler bitkilerde mitoz bölünmede yavaşlama, bazı enzimlerin

inaktive olması olarak sıralanabilir (Demir ve Kocaçalışkan, 2002). Sodyum ve klorun, hücre zarına ve protoplazmaya etki şekli doğrudan toksik etkidir ve bitkilerin bu toksik etki sebebiyle meydana gelen su kaybını azaltmak amacıyla tuz ve bir takım çözünebilir metabolizma ürünlerinin bünyelerinde biriktirmelerine sebep olmaktadır (Parida, 2005). Meydana gelen bu durum bitkide ortaya çıkan zararın daha çok artmasına sebep olur. Bitkilerde meydana gelen iyon toksisitesinin göstergeleri; büyümenin yavaşlaması, dokularda ölümler meydana gelmesi, geri dönüşümü olmayan birçok dokunun kaybedilmesi ve yanıklar, turgor kaybı, yapraklarda dökülme ve bitkinin ölümü gibi göstergelerdir.

Tuz stresinin bitki gelişimini sınırlaması genellikle metabolizmasında biriken toksisite sebebiyle metabolizmanın işleyişinin bozulması sonucunda meydana gelmektedir. Bunlar; ozmotik dengenin bozulması, bitki besin elementi alım dengesizlikleri, hücre büyümesi ve bölünmesinin yavaşlaması protein sentezinde yavaşlama, fotosentezde azalma, organik eriyik birikimi, hormonal dengesizlikler, dokularda hasar ve bitkilerin toprak suyunu ihtiyaçları düzeyinde kullanamamasıdır.

3.2. Dolaylı etki

3.2.1 Toprağa etkisi

Toprakta oluşan ESP değeri toprağın kalitesi hakkında bilgi vermektedir. Bu değerde değişim meydana gelmesi yani toprakların zayıf toprak sınıfına girmesi ile toprak yapısı bozulmakta ve

topraktaki teksel yapı nedeniyle su ve hava geçirgenliği azalacak bitkiler bu mevcut koşullardan olumsuz olarak etkilenecektir. Toprak kök bölgesi ya da toprak üstü bitki aksamları ıslak kalacaktır. Bu durumların etkisi ile bitki kök bölgesi gelişimi zayıflayarak bitki gelişimi yavaşlayacaktır.

Sulama ve yağışlar ile ıslanma ve kuruma ile toprak kabuk tabakası bağlama ve büyük çatlakların oluşumu meydana gelecek ve çimlenmenin azalması hatta genç fidelerin gelişiminin yavaşlaması gibi durumlar meydana gelecektir. Böylelikle toprakta meydana gelen tuzluluk ile toprak yapısında meydana gelen olumsuzluklar neticesinde bitki gelişimi ve verimi de olumsuz etkilenecektir.

4.BİTKİLERİN TOPRAK TUZLULUĞUNA KARŞI GÖSTERDİKLERİ DAYANIM MEKANİZMALARI

Tuz toksisitesinin mevcut olduğu topraklarda yani çözünmüş tuzların konsantrasyonunun yüksek olduğu topraklarda bitkilerin hayatta kalmak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktivitelerini devam ettirmeleri bitkilerin tuza karşı geliştirdiği tolerans mekanizmalarını ifade etmektedir. Bitkiler yüzsek oranda tuza maruz kaldıkları durumlarda toksisiteyle başa çıkabilmek için ilgili olan savunma mekanizmalarını devreye sokmaktadırlar (Parida ve Dass, 2005). Bitkilerin tuza karşı oluşturdukları tolerans mekanizması aslında bitkilerin tuzluluğa dayanım şeklinin bir göstergesi olmakla birlikte bu durum genotiplere göre ve birçok etmene göre farklılık gösterebilmektedir (Gürel ve Avcıoğlu 2001).

Bitkilerde tuza dayanım mekanizması iki farklı yolla çalışmaktadır (Marschner, 1995). Bunlardan ilki, tuzdan sakınım (exclusion) mekanizmasıdır. Tuz toksisitesinden bu yolla korunan bitkiler genellikle kendi bünyelerine tuz alımını sınırlandırma yolu tuz stresinden korunma sağlayabilirler. İkincisi ise tuzu kabullenme (inclusion) diye adlandırılmakta olup bitkilerin sodyum ve klora doku toleransı göstermesi yöntemiyle çalışır. Geçmişten bugüne kadar yapılan çalışmaların birçoğu bitkilerin tuzdan etkilenme derecelerinin çevresel faktörlere, genotipe ve bitkinin gelişim devresine göre farklı olabileceğini göstermektedir.

Bitkilerin tuz stresine karşı geliştirdikleri önemli tolerans mekanizmalarından biri ise meydana gelen reaktif oksijen türlerinden hücreye zarar gelmesini önlemek amacıyla, bazı antioksidanları ve antioksidatif enzimleri devreye sokmaktır (Zhu, 2005). Bazı tür ve çeşitlerde bitkilerin tuzluluğa ve diğer abiyotik stres koşullarından sakınım amacıyla birçok protein biriktirdikleri gözlenmektedir. Proteinler, genellikle tuzluluk toksisitesi altında tuzluluk stresine maruz kalan bitkilerde ozmotik düzenlemede etkili olarak bitkilerin tuz stresiyle başa çıkmasına yardımcı olurlar (Ashraf, ve Haris, 2004).

Bitkilerin tuz stresine karşı yanıtları biyolojik olarak değerlendirildiğinde çok karmaşık olduğu gözlenmektedir. Birçok çeşidin tuz iyonlarına karşı verdiği tepkiler farklıdır. Bu duruma ek olarak farklı türlerin farklı çeşitlerinin de gelişim dönemlerinin evrelerine göre tuza olan toleransları farklılık göstermektedir. Ayrıca diğer ortam faktörleri ile tuz iyonlarının interaksiyonları ve çevresel

etmenlerde bitkilerin tuz tolerans seviyelerini oldukça etkilemektedir. Örneğin tuz stresine maruz kalan bitkilerde yapraklar daha küçük ve yaprakların sayıları daha azdır. Ayrıca yapraklar üzerindeki mumsu tabaka kalınlaşmaktadır. İletim dokuları azalmıştır. Bu durumun en temel sebebi bitkide meydana gelen su kaybının azaltılmasıdır (Lonstretch ve Nobel, 1979). Su kaybının önlenmeye çalışılmasının sebebi ise hücre içindeki tuz yoğunluğu artışını engellemektir. Bütün bunlara ilave olarak bitkilerin toprak altı organlarında toprak üstü organlarına nazaran daha az olmakla birlikte azalmalar meydana gelmekte olup bitkiler bazen tuzluluğun üst yapraklara taşınmasına engel olarak alt yapraklarda biriktirir bazen de bünyesine daha az alırlar. Fakat tuza uzun süreli olarak maruz kalan bitkilerde hücrelerdeki tuz yoğunluğu artarak zararlı olan düzeye ulaşabilmektedir.

5.SONUÇ

Tuzlu toprakların bitkide meydana getirdiği başlıca zararlar; çimlenmenin yavaşlaması ve azalması, solma ve kuruma, fizyolojik kuraklık, bitki boyunda kısalma, yapraklarda küçülme, gövdede ve dallarda kısalma, yapraklarda renk değişikliği meydana gelmesi, çiçeklenmede yavaşlama, açan çiçek sayısında azalma ve tohumlarda küçülme meydana gelmesi olarak sıralanabilir. Bu etkilerin azaltılması ve günümüz standartlarında güvenilir gıdaya olan ihtiyacın artması sebebiyle bitkisel üretimde sürekliliğin sağlanması amacıyla ve tuzluluğun çeşitli kaynaklar vasıtasıyla geri dönüşümü olmayan tarım topraklarının kaybedilmesi konusunda öncelikli sebeplerden olması

sebebiyle tuzlulukla mücadele yöntemlerinin iyi kavranması ve dayanıklı çeşitler geliştirilmesinin gerekliliğinin gün geçtikçe artması kaçınılmazdır.

Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak üretimde de artış sağlanabilmesi mevcut tarım topraklarının daha etkin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Tuz açısından sorunlu topraklarda en önemli unsur arazilerin tesviyesinin düzgün yapılarak arazilerde bitki kök bölgesinde biriken suyun azaltılması amacıyla drenajın sağlanması, Topraktaki mevcut olan tuzun belirli aralıklarla süzümünün gerçekleştirilmesidir. Bilinçsiz gübrelemenin önüne geçilmeli ve sulama suyu kalitesine özen gösterilerek daha az tuz içeren sulama sularının kullanılması sağlanmalı, tuza dayanıklı ve ekonomik değeri yüksek çeşitler geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

Anonim (1980). Toprak Kaynakları İl Envanter Raporları. TOPRAKSU Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Akgül, H. (2003). Tuzluluk. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*. Sayı 340. Ankara.

Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199: 361-376.

Bayraklı, F. (1998). Toprak Kimyası. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No: 26, 1. Baskı, 214s, Samsun.

Bressan, R.A. (2008). Stres Fizyolojisi. Editörler: Taiz, L., Zeiger, E., Çeviri Editörü: Türkan İ., ‘‘Bitki Fizyolojisi’’, Palme Yayıncılık, 591-620.

Day S., Uzun S. (2016) Farklı tuz konsantrasyonlarının yaygın fiğ (*Vicia sativa L.)* çeşitlerinin çimlenme ve ilk gelişim dönemlerine etkileri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknolojisi Dergisi, 4:636-641.*

Demir, Y. ve Kocaçalıskan İ. (2002). Effect of NaCl and Proline on Bean Seedlings Cultured İnvitro. *Biologia Plantarum*, 45 (4): 597-599.

Doğru A. ve Canavar S. (2020). Bitkilerde tuz toleransının fizyolojik ve biyokimyasal bileşenleri. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 8(1): 155-174

DSİ. (1971). Aşağı Fırat Projesi Urfa-Harran Ovası Planlama Arazi Tasnif Raporu. DSİ 10. Bölge Müd. Proje No:2108.03.01, Diyarbakır.

Ergene, A. (1996). Toprak Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Erzurum.

Eryüce, N., Gürel, A. ve Hakerlerler, H. (1998). Farklı su stresi koşullarının bitkilerde besin alınımı üzerine etkileri. Bitkilerde Stres Fizyolojisinin Moleküler Temelleri. E.Ü. Ziraat Fak. Tarla Bitk. Böl. & EBİLTEM, Seminer Notları, p:97-104.

FAO. (1988). Soilmap of theworld. Revisedlegend, by FAO–UNESCO–ISRIC. World Soil Resources Report No. 60. Rome.

Gürel A. ve Avcıoğlu, R. (2001). "Bitkilerde Strese Dayanıklılık Fizyolojisi", 21. bölüm, Editörler: Özcan, S., Gürel, E., Babaoğlu, M., ''Bitki Biyoteknolojisi II, Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları'', Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları, 308-313.

Kadıoğlu, A. (2011). Bitki Fizyolojisi. Efsen Ofset Matbaacılık, Trabzon.

Kanber, R., Çullu, M.A., Kendirli, B., Antepli, S., Yılmaz, S. (2005). *Sulama, Drenaj ve Tuzluluk. VI. Türkiye Ziraat Mühendisliği Kongresi.* S. 213-253. Ankara.

Longstretch, D.J. and Nobel, P.S. (1979). Salinity effect on leaf anotomy. *Consequences of Photosynthesis Plant Physiology*, 63:700-703.

Maas, E. V. (1986). Salt Tolerance of plants. *Applied Agricultural Research* 1 (1): 12-26.

Marschner, H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.

Munsuz, N., Çaycı, G. ve OK, S. S. (2001). Toprak Islahı ve Düzenleyiciler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.

Myaber, A.P. and Lerner, H.R. (1994). Plants in Saline Enviroments. In: M. Pessarakli (Editor), *Plant and Crop Stress*, New York, USA, pp. 3-11.

Parida A.K., Das A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol and Environ Safety*, 60: 324-49.

Shao, H-B.,Chu, L-Y., Jaleel, C.A. ve Zhao, C-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3): 215-225.

Singh K. N. and Chatrath, C. (2001). Salinity Tolerance. CIMMYT, Mexico.

Sönmez, B. (2003). Türkiye çoraklık kontrol rehberi. Toprak Ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Teknik Yayın No: 33, Ankara.

Szabolcs, I. (1991). Desertification and salinisation. I. A. V. Hassan II-ISESCO. Plant Salinity Research, 3-18.

Tanji, K. K. (2002). Salinity İn The Soil Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Terry, R. (1997). Soil salinity. Brigham Young University, Collage of Biology and Agriculture Publishing. No: 282.

Topaloğlu, R. (2006). *Harran ovasında tuzluluk sonucu pamuk ve buğday üretiminde ortaya çıkan ekonomik kaybın belirlenmesi üzerine bir araştırma* (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 54s.

Turhan H. ve Başer İ. (2001). Toprak tuzluluğu ve bitki gelişimi. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 14 (1): 171-179.

Zhu, J-K. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45: 437-448.

BÖLÜM 7

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ BİTKİLERİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih DEMİREL[1*], Arş. Gör. Serap DEMİREL[2],

Dr. Öğr. Üyesi Barış EREN[3]

[1*] Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6846-8422, drfdemirel@gmail.com
[2] Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Van, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1877-0797 serap_comart@hotmail.com
[3] Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Iğdır, Türkiye, ORCID: 0000-0002-3852-6476, bariseren86@gmail.com

GİRİŞ

Bir organizmanın genomunun değiştirilmesi veya farklı bir canlıdan alınan ya da sentetik gen(lerin) aktarılması (klonlama) yoluyla, canlıların kalıtsal özelliklerinin değiştirilmesi, onlara yeni işlevler kazandırılmasına yönelik araştırmalar yapan bilim alanına genetik mühendisliği denilmektedir (Şakiroğlu, 2010). Biyoteknoloji çoğunlukla canlı organizmalarda moleküler düzeyde değişikliklere olanak sağlamaktadır. Biyoteknolojinin Mısırlılar ve Sümerler tarafından fermantasyon, ekmek yapımı, bira yapımı ve peynir yapımının ve daha sonra Yunanlılar tarafından aşılama tekniklerinin geliştirilmesine kadar dayanan uzun bir geçmişi vardır. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte son yıllarda genetik mühendisliği ve tarım teknolojileri oldukça hız kazanmıştır (Ekinci ve ark., 2005). Tarım teknolojileri, binlerce yıldır insanlığı desteklemekten, nüfus artışından, toplumların ihtiyacına cevap verme ve besin kalitesinin arttırılmasından sorumlu olmuştur (Bennett et al., 2013).

Tarımsal biyoteknoloji ile özellikle genetiği değiştirilmiş (Genetic modification/GD) ürünlerin geliştirilmesi beraberinde potansiyel olumsuz çevresel veya sağlık etkilerine yol açacağı endişelerini gündeme getirmiştir. Bunun yanı sıra tarımsal biyoteknoloji daha fazla tarım şirketleşmesine yol açacağı endişeleri de dahil olmak üzere çeşitli nedenlerle günümüzde tartışma konularından biri olmuştur. Tüm bu endişelere rağmen, tarımsal biyoteknoloji ile üretilen ürünlerin geçmişi ve uzun yıllara dayanan veriler göz önüne alındığında, GD ürünlerin ekonomik ve çevresel etkileri hakkında

bilgiler daha güvenilir hale gelmeye başlarken, günümüzde GD ürünlerinin kamu tarafından benimsenmeye başlandığı ve GD ürünlerinden birçok fayda elde edildiği bilinmektedir (Bennett et al., 2013).

Artan insan nüfusunun temel gıda ihtiyaçlarının karşılanması ve genel yaşam kalitesinin arttırılması dünya genelinde ülkelerin ortak bir problemi olmaya başlamıştır. Kültürü yapılan ürünlerin genetik olarak iyileştirilmesi ile birlikte mekanizasyon, toprak gübreleme ve zararlıların-hastalıkların kimyasal kontrolünü içeren tarımsal uygulamalar baskın olmaya başlamıştır. Ürün verimliliğindeki en büyük ilerlemelerden bazıları, yeni tarımsal uygulamaların kasıtlı olarak genetik iyileştirmelerle bütünleştirilmesini içermektedir. En iyi bilinen örnek, gübre yönetimine artan bağımlılığı yeni cüce buğday ve pirinç çeşitleriyle bütünleştiren Yeşil Devrim'dir. Daha az bilinen bir örnek, hem yoğun çiçeklenme hem de sert meyve için yetiştirilen domates çeşitleriyle mekanik hasatın entegrasyonudur (Schmitz ve Seckler, 1970). Her ikisi de ürün verimini ve üretim verimliliğini optimize etmek için genetik ve agronomik teknolojilerin entegrasyonunu vurgulamaktadır. Moleküler biyoloji ve biyoteknolojinin, ürünleri iyileştirmek için markör destekli seçim, bitkilerin *in vitro* çoğaltılması, mikro çoğaltım yoluyla embriyo kurtarma ve genomlarda indüklenmiş lokal lezyonları hedefleme gibi özel mutasyon oluşturma stratejileri (TILLING: Targeting induced local lesions in genomes) dahil olmak üzere birçok önemli uygulaması bulunmaktadır (McCallum ve ark., 2000; Jena ve Mackill, 2008). Bu

yeni teknolojiler, ürünlerin iyileştirilmesi için mevcut olan gen havuzunu, birbiriyle yakından ilişkili bitki türlerinin dar bir tabanından teorik olarak sonsuz bir gen havuzuna genişletmiştir ve tamamen sentetik genlerin yanı sıra tüm organizmalarda bulunan genleri de içine barındırmıştır. Gen havuzunu genişletmeye ek olarak, genetik mühendisliği geleneksel bitki ıslahına kıyasla, yeni özelliklerin kültürü yapılan bitkilere nispeten hızlı ve kesin transferine izin vermektedir. Kitabın bu bölümünde yeni teknolojiler ile geliştirilmiş tarımsal ürünlerin çevre kirliliğini önlemedeki etkileri ve bazı tahmin edilen riskleri üzerine değinilmiştir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ BİTKİLER

Dünya genelinde yetiştirilmekte olan genetiği değiştirilmiş ürünlerin ekim alanları incelendiğinde ilk beş sırada ABD, Brezilya, Arjantin, Kanada ve Hindistan'ın geldiği görülmektedir. Toplamda 190.4 milyon hektar alanda ve 29 ülkede genetiği değiştirilmiş ürünlerin yetiştirildiği bildirilmektedir. Üretimi en fazla yapılan ürün soya bitkisi olmakla beraber mısır, pamuk ve kanola bitkileri başı çekmektedir (Anonim, 2019). Çin dahil olmak üzere diğer önemli ticaret ülkelerinin genetik mühendisliği uygulanan tesislerine ve ürünlerine uyarlanmış belirli bir düzenleyici yaklaşım yayınlamadığını, birkaç ülke tarafından alınan çeşitli yönergeleri kullanarak kendi bünyelerinde yayınladıkları tahmin edilmektedir (Entine ve ark., 2021). Ülkelerin bu tarz yaklaşımları dünya genelinde genetiği değiştirilmiş ürünlere karşı kamuda şüphenin artmasına neden olabileceğini düşündürmektedir.

Genetik düzenleme süreçlerinden bazıları, DNA şablonlarının (cisgenik veya transgenik) kullanımı yoluyla DNA'nın eklenmesini içermektedir. Bunların her biri, ülkelerin yetki alanına bağlı olarak farklı bir düzenleyici yaklaşım ortaya çıkarabilir. Bu "genom düzenleme" tekniklerinden bir veya daha fazlasını kullanarak geliştirilmiş yeni bitki çeşitlerinin geliştiricileri, dünya çapında farklı araştırma, yasal düzenleyici ve pazarlama gereksinimleriyle karşı karşıya kalmaktadır (Entine ve ark., 2021).

Bitki genetik mühendisliğindeki ilk başarılar, mahsul araştırmalarında önemli bir dönüm noktası olmuştur. Özellikle 1990'larda, tarımsal biyoteknolojiye özel sektör yatırımlarında bir artış olmuştur. İlk ürünlerden bazıları, izole edilmiş bir gen (Bt) tarafından kodlanan bir böcek öldürücü proteini sentezleyebilen bitki çeşitleriydi. *Bacillus thuringiensis* bakterisinden aktarılan Bt genli pamuk, mısır ve diğer ürünler artık ticari olarak yetiştirilmektedir. Ayrıca herbisitlere toleranslı kültürü yapılan farklı cins ve türlerde çeşitler de vardır. Araştırmacılar, minimum toprak işlemeli toprak korumasında bu ekinlerin değerini vurgulamaktadır (Serageldin, 1999).

GD keten ve kanola ile saha denemeleri Kanada'da 1986'da başlamış ve Kanada'nın yenilikçi bitki yetiştirme teknolojilerini düzenleme konusunda 35 yıllık deneyime sahip olmasıyla sonuçlanmıştır (Smyth ve McHughen, 2008). Düzenleyici onay alan iki GD ürün 1995'te iki herbisite toleranslı (HT) kanola çeşidi olmuştur (Entine ve ark., 2021).

Tarımsal biyoteknoloji ürünlerinin üretilmesi için Arjantin düzenleyici çerçevesi tarafından Tarımsal Biyoteknoloji Ulusal Komisyonu'nun (CONABIA: Comisión Nacional de Biotecnología Agropecuaria) belirlediği düzenlemeler 1991 yılında başlatılmıştır. Ülke daha sonra, diğer beş öncü ülke ile eş zamanlı olarak 1996 yılında GD mahsullerin ticari olarak piyasaya sürülmesini başlatmıştır. Günümüzde Arjantin, biyoteknolojik mahsullerin üçüncü küresel yetiştiricisidir. 2014 yılından bu yana Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations), CONABIA'yı Genetiği Değiştirilmiş Organizmaların Biyogüvenliği için Referans Merkezi olarak tanımaktadır (Entine ve ark., 2021). ABD'de, 1996'da GD ürünlerin ilk olarak yetiştirildiği, bugüne kadarki toplam mısır, pamuk, soya fasulyesi ve şeker pancarı mahsullerinin %75'inden fazlası artık herbisit ve böcek direnci için genetik olarak değiştirilmiştir. 2020'de, genetik mühendisliği ürünleri ve tohumlarının küresel pazarının yaklaşık 28 milyar ABD Doları iken 2027 yılına kadar bunun 45 milyar ABD Dolarına ulaşması beklenilmektedir (Anjanappa ve Gruissem, 2021).

GD bitkiler oluşturmanın yöntemlerinden biride transgenik yaklaşımdır. Transgenik yaklaşım ile GD bitkilerin üretilmesi, DNA vektöründe promotör ve kodlama dizileri içeren gen ekspresyon kasetlerinin inşasını, dönüştürülecek bir doku için uygun bir transformasyon yönteminin seçimini ve ayrıca etkili seçim ve rejenerasyon yöntemlerinin belirlenmesi gibi bir dizi süreci içermektedir. Fonksiyonel transgenik bitkiler oluşturmanın başarısı,

spesifik dokularda ve uygun gelişim zaman noktalarında veya çevresel koşullarda yeterli veya optimal transgen ekspresyon seviyelerine sahip ekspresyon kasetlerinin tasarlanmasında yatmaktadır. Tipik bir ekspresyon kaseti, uygun düzenleyici sekanslar, yani bilinen ekspresyon paternlerine (indüklenebilir veya dokuya özel) sahip promotörler ve bir transkripsiyon terminatörü tarafından kontrol edilen ilgili bir veya daha fazla gen için kodlama sekanslarından oluşur. Kodlama dizilerinin, ifade bağlamında transgenlerin transkripsiyonunu ne ölçüde etkileyebileceğini tahmin etmek zordur ve deneysel olarak belirlenmelidir. Bu nedenle, transgen ekspresyonu için gerekli ve temel düzenleyici bileşenlerin seçimi çok önemlidir ve ekspresyon kasetlerinin oluşturulması için kodlama dizilerinin seçimi kadar önemlidir. Bugüne kadar, mevcut genom dizileri ve transkriptom verileri genellikle promotör bölgelerinin tanımlanması için kullanılmıştır. Seçilen promotör bölgelerinin çoğu, transgenik bitkilerde aktiftir, ancak transgen aktivitesinin seviyesi, sıklıkla seçilen promotör bölgelerinin uzunluğuna bağlıdır. (Hernandez-Garcia ve Finer, 2014). Ek olarak, birkaç promotör dışında, bunların çoğu, izole edildikleri bitki türlerinde bulunanlarla diğer bitki türlerinde aynı aktiviteyi göstermezler. Bu nedenle, dönüştürülecek olan hedef bitki veya mahsulün genetik arka planında seçilen promotörlerin aktivitesini deneysel olarak doğrulamak gerekli olabilir.

Kültürü yapılan türler arasında şu anda mevcut olan ve rapor edilen dokuya özgü veya herhangi bir duruma duyarlı promotör seçimi hala oldukça sınırlıdır ve özellikle metabolik bir yol tasarlarken, kültür

bitkilerinin genetik mühendisliğinde hızlı ilerlemesini kısıtlayan bir darboğazı mevcuttur (Basso ve ark., 2020). Bu sınırlamayı bir dereceye kadar hafifletmek için fonksiyonel olarak tanımlanmış DNA dizi modüllerinin rolü, sentetik promotörlerin tasarlanması ve oluşturulması günümüzde giderek daha önemli hale gelmektedir. Güçlerini ve özgüllüklerini (yapısal, uzaysal-zamansal, uyarılabilir veya hatta dokuya özgü; Hernandez-Garcia ve Finer, 2014) belirleyen işlevsel genetik modüller içeren genetik mühendisliği ile tasarlanmış promotörler GD ürünlerin geliştirilmesi stratejilerinde artan bir önem kazanmaktadır (Ali ve Kim, 2019; Dey ve diğerleri, 2015).

GD ÜRÜNLERİN SERA GAZI EMİSYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Tarımsal üretimin yoğunlaştırılması yani aynı arazi alanından daha yüksek verimin elde edilmesi ile yeni tarım arazilerine olan ihtiyacı kısıtlayarak habitat tahribatını önlemektedir. Ayrıca bitkilerin verim bakımından iyileştirmeleri gelecekteki sera gazı emisyonları azaltmak için önemli bir strateji konumundadır (Burney ve ark., 2010).

Genetiği değiştirilmiş (GD) ürünlerin yaygın olarak kullanılması sonucunda tarımın çevre üzerindeki olumsuz etkisini değiştirebileceği düşünülmektedir. GD ürün teknolojisinin verim artışlarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılmasında doğrudan bir etkisi olduğu bildirilmektedir (Wesseler ve ark., 2011). GD ürün teknolojisi ile pestisit kullanımının azaltıldığı ve sonuç olarak, bu ürünler üzerinde herbisit ve böcek ilacı kullanımıyla ilişkili çevreye

olan zararlı etkinin de azaldığı görülmüştür (Brookes ve Barfoot, 2012). Herbisite toleranslı GD ürün çeşitlerinin benimsenmesi, toprak erozyonunu ve sera gazı emisyonlarını azaltan düşük toprak işlemeli ve toprak işlemesiz uygulamaların benimsenmesine katkıda bulunabilir. GD bitkiler toprak işlemesiz uygulamalara olanak sağlamaktadır. Toprak işlemeli uygulamalara nazaran toprak işlemesiz uygulamaların benimsenmesi yakıt tüketimini düşürerek sera gazı emisyonlarının azalışına katkı sağlayacağı bildirilmektedir (Brookes ve Barfoot 2012).

GD ÜRÜNLERİN PESTİSİT KULLANIMI ÜZERİNE ETKİLERİ

İhtiyaç kaynaklı tüketim için yetiştirilen ürünlerin verimliliği, zararlıların, özellikle yabani otların, patojenlerin ve hayvan zararlılarının istilası nedeniyle risk altındadır. Bu zararlı organizmalardan kaynaklanan ürün kayıpları çoğunlukla önemlidir ve ürün koruma yöntemleri ile önlenebilmekte veya azaltılabilmektedir (Oerke, 2006).

Yaklaşık 10.000 yıl önce tarımın başlangıcından bu yana, yetiştiriciler zararlı organizmalar – hayvan zararlıları (böcekler, akarlar, nematodlar, kemirgenler, sümüklü böcekler ve salyangozlar, kuşlar), bitki patojenleri (virüsler, bakteriler, mantarlar, kromista) ve topluca zararlı olarak adlandırılan yabani otlar (yani rekabetçi bitkiler) ile rekabet etmek zorunda kalmışlardır. Bu organizmalar, fiziksel (yetiştirme, mekanik ayıklama vb.), biyolojik (çeşit seçimi, ürün

rotasyonu, antagonistler, avcılar, vb.) ve kimyasal önlemler (pestisitler) uygulanarak kontrol edilebilir. Ürün kayıplarının abiyotik nedenleri, özellikle büyüme mevsiminde su eksikliği veya fazlalığı, aşırı sıcaklıklar, yüksek veya düşük ışınım (sadece dar sınırlar içinde kontrol edilebilen faktörler) ve besin kaynağı olduğu gibi biyotik nedenler de ürün verimini azaltma potansiyeline sahiptir.

Bugüne kadar ticarileştirilen başlıca GD bitkiler insektisit veya herbisit yönetimine odaklanarak geliştirilmiş ilk nesil GD bitkilerdir. Bu özellikteki bitkilerin kimyasal pestisit ihtiyacını (herbisitler ve insektisitler dahil) değiştirebileceği veya azaltabileceği tahmin edilmektedir (Bennett et al., 2013).

Pestisit uygulamaları sırasında çiftçilerin ve kırsal işçilerin ailelerinde birçok zehirlenme vakası meydana gelmiştir. Bu zehirlenme olayları, sentetik kimyasalların insan sağlığı üzerindeki etkileri ile ilgili raporlarda belgelenmiştir. Kasıtsız zehirlenmelerin her yıl dünya çapında yaklaşık 355.000 kişiyi öldürdüğü bilinmektedir. Bu tür zehirlenmelere aşırı maruz kalma ile toksik kimyasalların uygunsuz kullanımı arasında güçlü bir ilişkili olduğu bildirilmiştir (Alavanja, 2009; Alavanja ve Bonner, 2012). Çevrede bulunan pestisit kalıntılarının dağılarak arılar, kuşlar, amfibiler, balıklar ve küçük memeliler gibi canlıların toplu ölümlerine neden olduğu rapor edilmiştir (Köhler ve Triebskorn, 2013; Paoli ve ark., 2015). Yıllar içinde, bu kimyasalların çevredeki davranışlarını anlamak için, döngüleri ve akıbetleri ile ekoloji üzerindeki toksisiteleri de dahil olmak üzere önemli bir araştırma çabası geliştirilmiştir. Kimyasalların

dozajı ve en iyi uygulama süreleri dahil olmak üzere pestisit uygulamaları için düzenlemelerin geliştirilmesine ek olarak GD bitkiler tam da bu noktada alternatif bir yaklaşım olmuştur.

Genetik modifikasyon, yabancı ot kontrolünün zor olduğu düşünülen ekinlere geniş spektrumlu herbisitlere direnç kazandırmak için bir araç sağlamıştır. Owen (2000), bu yaklaşımda aşağıdaki faydaları tanımlamıştır:

- Herbisit uygulamasının zamanlamasında daha fazla esneklik
- İyileştirilmiş yabani ot yönetimi
- Herbisite dayanıklı yabani otlar için yönetim stratejisinin bir parçası olarak kullanmak, olarak sıralamıştır.

Herbisite dayanıklı transgenik bitkilerin potansiyel yararlarını Kuiper ve ark. (2000) aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Daha az herbisite dayalı daha basit yabancı ot yönetimi
- Herbisit kullanımında azalma
- Ekosistemin daha az kirlenmesi
- Çevre dostu herbisitlerin kullanımı
- Mekanik toprak işleme ihtiyacının azaltılması
- Daha az mahsul yaralanması
- İyileştirilmiş yabancı ot kontrolü

Bitkilerin böcek saldırılarına karşı direnç kazanması için genetik modifikasyon oldukça ileri düzeydedir ve başta ABD'de olmak üzere birçok ürün için çeşitler ticari olarak mevcuttur. *Bacillus*

thuringiensis'ten bir böcek toksininin ekspresyonu, böceklere karşı dirençli ilk transgenik mahsulleri sağlamıştır. Bu çeşitler verimi arttırmayı amaçlamaz, aksine zararlı türlerin popülasyonunu azalttığı için verim kaybını önlemektedir. Mahsullere direnç kazandırılabilirse, çevrede insektisit kullanımının azaltılmasında potansiyel faydalar olabilir (Gianessi ve Carpenter, 1999). Burkness ve ark. (2001) geleneksel böcek öldürücülerin kullanılmadığı *Bt* tatlı mısır hibritlerinin, iki lepidoptera zararlısı *Ostrinia nubilalis* ve *Helicoverpa zea*'ya karşı mükemmel kontrol sağlayabildiği sonucuna varmıştır.

OLASI RİSKLER

Genetiği değiştirilmiş organizmaların (GDO) tarımda kullanımına karşı öne sürülen çevre üzerindeki olası olumsuz etkiler bazı araştırmacıların ve kaynakların raporlarından faydalanılarak aşağıdaki gibi sıralanmıştır (Tabashnik, 1994; Butler ve ark., 1999; Hall ve ark., 2000; Diouf, 2001; Anonim, 2013):

- Genler beklenmedik yerlere gidebilirler: Gen kaçışı yoluyla aynı türün diğer üyelerine ve belki de başka türlere geçebilirler. GDO'larda tanıtılan genler istisna değildir ve gen, hücre, bitki ve ekosistem düzeyinde etkileşimler meydana gelebilir. Örneğin, herbisite dirençli genler yabani otlara bulaşırsa problemler ortaya çıkabilir. Şimdiye kadar, bu konudaki araştırmalardan bu şekilde sonuç alınmamış ve bilim adamları bu konuda bölünmüş durumdadır. Ancak, bir kez yaygın olarak serbest bırakıldığında, güvenliği hala bilimsel tartışmaya konu

olan transgenleri veya yabancı DNA dizilerini geri çağırmanın mümkün olmayacağı konusunda bilimsel bir fikir birliği vardır.

- Genler zararlı etkiyle mutasyona uğrayabilir: Yapay genlerin eklenmesinin bir organizmanın dengesini bozup bozmayacağı, mutasyonları teşvik edip etmeyeceği veya eklenen genin bitkide nesiller boyunca sabit kalacağı henüz bilinmiyor. Bu konuda kesin bir veri bulunmamaktadır.
- "Uyuyan" genler yanlışlıkla devreye girebilir ve aktif genler "sessiz" hale gelebilir: Organizmalar, belirli koşullar altında, örneğin; patojenlerin saldırısı veya şiddetli hava koşulları altında, aktive olan genler içerir. Yeni bir gen eklendiğinde, onu açmak için bir "destekleyici" gen de eklenir. Bu, uygun olmayan koşullarda bir "uyuyan" geni aktive edebilir. Bu, özellikle ağaçlar gibi uzun ömürlü organizmalar için de geçerlidir. Bazen genlerin ifadesi, eklenen gen ile bilinmeyen etkileşimlerin bir sonucu olarak "susturulur".
- Yabani ve yerli popülasyonlarla etkileşim: GDO'lar yabani türlerle rekabet edebilir veya üreyebilir. Özellikle çiftlik balıkları bunu yapabilir. GD ürünler, özellikle o ürünün menşei merkezi olan bölgelerde yetiştirilirse, ürünün biyolojik çeşitliliği için bir tehdit oluşturabilir. Ek olarak, GD ürünler, yerel streslerle başa çıkmak için yetiştirilmiş veya evrimleşmiş geleneksel çiftçi çeşitleri ve yabani akrabaları ile rekabet edebilir ve bunların yerini alabilir. Örneğin, Latin Amerika'daki yerel çeşitler, 1840'larda İrlanda'daki patates hastalığından kurtulmaya olanak sağlamıştır. Bugün bu tür bitkiler genellikle

iklim toleransını ve hastalık direncini geliştirmeye yardımcı olabilir. Genetiği değiştirilmiş ürün çeşitleri bunların yerine geçerse, bunlar kaybolabilir, ancak aynı şey geleneksel yetiştirme yöntemleriyle geliştirilen gelişmiş çeşitler için de geçerlidir.

- Kuşlar, böcekler ve toprak biyotası üzerindeki etki: Kuşlar, tozlayıcılar ve mikroorganizmalar gibi hedef olmayan türlere yönelik potansiyel riskler de bir diğer önemli konudur. Arıların bağırsaklarına GD polenin yatay akışının veya bitkilerdeki yeni gen dizilerinin mantarlara, toprağa ve bakterilere etkisini kimse tam olarak bilmiyor. Ayrıca, GD ürünlerin yaygın kullanımının GD ürünlere maruz kalan böcek popülasyonlarında direnç gelişimine yol açabileceğinden korkulmaktadır. GDO *Bt* ürünlerinin yaygın olarak büyümesi nedeniyle böcek popülasyonlarının direnç geliştirme riskini azaltmak için Böceğe duyarlı çeşitlerle "sığınak" alanların dikilmesi tavsiye edilmektedir.

Ayrıca herbisite dayanıklı transgenik ürünlerin potansiyel risklerini Kuiper ve ark. (2000) ise aşağıdaki gibi sıralamıştır:

- Yabancı ot kontrolü için herbisitlere daha fazla güven
- Herbisit kullanımında artış
- Su, toprak ve havanın daha fazla kirlenmesi ve maruz kalma modellerinde kayma
- Yabancı ot türlerinde transgenlerin introgresyonu ile direnç gelişimi

- Yabani ot popülasyonunda daha toleranslı türlere doğru kayma
- Gönüllü problemlerinde artış
- Hedef dışı türler üzerindeki olumsuz etkiler

SONUÇ

Genom düzenleme teknikleri hızla geliştirilmekte olup tarımsal ve gıda üretim amaçlarına hizmet etmek için uygulanmaktadır. Tarımda ve gıdada genom düzenlemesi, yeni geliştirilmiş bitkilere yol açmaktadır. Genetik mühendisliği teknikleri kullanılarak geliştirilen ürünlerden sağlıklı olarak faydalanmak için makul, bilime dayalı ve güvenlik düzenlemelere uygun olması gerekmektedir. Transgenik ürünler, tarımsal açıdan potansiyel olarak muazzam bir değere sahiptir, ancak kullanımlarının çevresel sonuçları konusunda belirsizlikler vardır. Risk değerlendirmesi eksiktir ve genetiği değiştirilmiş mahsullerin etkisi tam olarak anlaşılmadan önce çok daha fazla kanıta ihtiyaç vardır. Olası çevresel etkilerin bilinçli bir değerlendirmesi ancak çalışmalar tamamlanıp yayınlandıkça yapılabilir. Biyoteknolojik gelişmelere ayak uydurmak ve GD ürünlerinin etkilerini belirlemek için ekolojik ve çevresel değerlendirmelerin hızlandırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Alavanja, M. C. R. 2009. Pesticides use and exposure extensive worldwide. *Rev. Environ. Health* (24): 303– 309.

Alavanja, M. C. R., and M. R. Bonner. 2012. Occupational pesticide exposures and cancer risk: a review. *J. Toxicol. Environ. Health B* (15): 238– 263.

Ali, S., & Kim, W. C. (2019). A fruitful decade using synthetic promoters in the improvement of transgenic plants. *Frontiers in Plant Science* (10): 1433.

Anjanappa, R. B., & Gruissem, W. (2021). Current progress and challenges in crop genetic transformation. *Journal of Plant Physiology* (261): 153411.

Anonim (2013). Advisory Committee on Releases to the Environment (ACRE), https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20020417220914/http://www.defra.gov.uk:80/environment/acre/background/risk/index.htm (Erişim tarihi: 30.01.2022).

Anonim (2019). International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), https://isaaa.org, (Erişim tarihi: 30.01.2022).

Basso, M. F., Arraes, F. B. M., Grossi-de-Sa, M., Moreira, V. J. V., Alves-Ferreira, M., & Grossi-de-Sa, M. F. (2020). Insights into genetic and molecular elements for transgenic crop development. *Frontiers in Plant Science* (11): 509.

Bennett, A. B., Chi-Ham, C., Barrows, G., Sexton, S., & Zilberman, D. (2013). Agricultural biotechnology: economics, environment,

ethics, and the future. *Annual Review of Environment and Resources* (38): 249-279.

Brookes, G., & Barfoot, P. (2012). Global impact of biotech crops: environmental effects, 1996–2010. *GM Crops & Food* 3(2): 129-137.

Burkness, E. C., Hutchison, W. D., Bolin, P. C., Bartels, D. W., Warnock, D., & Davis, D. W. (2001). Field efficacy of sweet corn hybrids expressing a Bacillus thuringiensis toxin for management of Ostrinia nubilalis (Lepidoptera: Crambidae) and Helicoverpa zea (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 94(1): 197-203.

Burney, J. A., Davis, S. J., & Lobell, D. B. (2010). Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the national Academy of Sciences* 107(26): 12052-12057.

Butler, D., Reichhardt, T., Abbott, A., Dickson, D., & Saegusa, A. (1999). Long-term effect of GM crops serves up food for thought. *Nature* 398(6729): 651-6.

Dey, N., Sarkar, S., Acharya, S., & Maiti, I. B. (2015). Synthetic promoters in planta. *Planta* 242(5): 1077-1094.

Diouf, J. (2001). Genetically Modified Organisms, Consumers, Food Safety, and the Environment. Food and Agriculture Organization. Rome.

Ekinci, M. S., Akyol, İ., Karaman, M., & Özköse, E. (2005). Hayvansal biyoteknoloji uygulamalarında güncel gelişmeler. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi* 8(2): 89-95.

Entine, J., Felipe, M. S. S., Groenewald, J. H., Kershen, D. L., Lema, M., McHughen, A., ... & Wray-Cahen, D. (2021). Regulatory approaches for genome edited agricultural plants in select

countries and jurisdictions around the world. *Transgenic Research* 1-34.

Gianessi, L. P., & Carpenter, J. E. (1999). Agricultural biotechnology: Insect control benefits. Washington, DC: National Center for Food and Agricultural Policy.

Hall, L., Topinka, K., Huffman, J., Davis, L., & Good, A. (2000). Pollen flow between herbicide-resistant Brassica napus is the cause of multiple-resistant B. napus volunteers. *Weed Science* 48(6): 688-694.

Hernandez-Garcia, C. M., & Finer, J. J. (2014). Identification and validation of promoters and cis-acting regulatory elements. *Plant Science* (217): 109-119.

Jena, K. K., & Mackill, D. J. (2008). Molecular markers and their use in marker-assisted selection in rice. *Crop Science* 48(4): 1266-1276.

Köhler, H. R., and R. Triebskorn. 2013. Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond? *Science* (341): 759-765.

Kuiper, H. A., Kleter, G. A., & Noordam, M. Y. (2000). Risks of the release of transgenic herbicide-resistant plants with respect to humans, animals, and the environment. *Crop protection* 19(8-10): 773-778.

McCallum, C. M., Comai, L., Greene, E. A., & Henikoff, S. (2000). T argeting I nduced L ocal L esions IN G enomes (TILLING) for plant functional genomics. *Plant Physiology* 123(2): 439-442.

Oerke, E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144(1), 31-43.

Owen, M. D. K. (2000). Current use of transgenic herbicide-resistant soybean and corn in the USA. *Crop Protection* (19): 765-771.

Paoli, D., F. Giannandrea, M. Gallo, R. Turci, M. S. Cattaruzza, F. Lombardo, et al. 2015. Exposure to polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene, semen quality and testicular cancer risk. *J. Endocrinol. Invest*. (38): 745-752.

Schmitz, A., & Seckler, D. (1970). Mechanized agriculture and social welfare: The case of the tomato harvester. *American Journal of Agricultural Economics* 52(4): 569-577.

Serageldin, I. (1999). Biotechnology and food security in the 21st century. *Science* 285(5426): 387-389.

Smyth SJ, McHughen A (2008) Regulating innovative crop technologies in Canada: the case of regulating genetically modified crops. *Plant Biotechnol J*. 6(3):213-225.

Şakiroğlu, M. (2010). Fırsatlar ve korkular arasında GDO'lar. *SETA Analiz Dergisi* (14): 3-17.

Tabashnik, B. E. (1994). Evolution of resistance to Bacillus thuringiensis. *Annual Review of Entomology* 39(1): 47-79.

Wesseler J, Scatasta S, Fall E. 2011. The environmental benefits and costs of (GM) crops. *See Ref.* (137): 173-99.

BÖLÜM 8

NANOTEKNOLOJİK YÖNTEMLERLE ATIK SULARI ARITMA OLANAKLARI

Arş. Gör. Hasan ER [1,2],

Öğr. Gör. Serhat KOÇYİĞİT[3]

[1] Bingöl Üniversitesi, Arı ve Doğal Ürünler AR-GE ve ÜR-GE Uyg. ve Arş. Merkezi / Rektörlük, Orcid: 0000-0002-7880-8697, hasaner@bingol.edu.tr

[2] Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Orcid: 0000-0002-7880-8697, hasaner@bingol.edu.tr

[3] Bingöl Üniversitesi, Proje Koordinasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi, Orcid: 0000-0003-0172-6180, skocyigit@bingol.edu.tr

GİRİŞ

Dünyada nüfusun ve kuraklığın hızlı bir şekilde artmasından dolayı mevcut su kaynakları azalmaktadır. Son zamanlarda hızlı nüfus arıtışına sahip ülkeler su sıkıntısı ile karşı karşıya kalmaktadırlar (Lu et. al. 2019). Dünyada mevcut suların %97,5'i deniz ve okyanuslarda tuzlu su olarak bulunmakta iken, sadece %2,5'lik kısmı tatlı su kaynağı olarak yer almaktadır (Shiklomanov et al. 2003). Bu sebeple doğal kaynaklarımızı daha doğru kullanmamız gerekmektedir. Doğal kaynaklarımızı doğru kullanmanın başında alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi gelmektedir.

Alternatif su kaynaklarından atık sular konusu gündemde olmaya devam etmektedir. Arıtılmış ve arıtılmamış atık sular, dünya çapında 20 milyon hektardan fazla kurak ve yarı kurak tarım bölgelerinin sulanmasında kullanılmaktadır. Atık suların yeniden kullanım alanları tarımsal sulama, park ve bahçe sulama, sanayide soğutma ve proses suyu, yeraltı sularının suni olarak beslenmesi sayılabilmektedir. Ayrıca, özellikle düşük gelirli ülkeler ile kurak ve yarı kurak iklime sahip yüksek gelirli ülkelerde tarımsal sulama için atık su kullanımı öne çıkmakta ve hızla yayılmaktadır (Scheierling ve ark., 2010). Birçok araştırmacı, atıksu ile sulama koşullarında toprak verimliliğinde artış olduğunu bildirmiştirler (Pellicer ve ark.,2006; Lelio ve ark., 2009; Ali ve Shakrani 2013; Yazdani ve ark., 2019). Ancak atıksuların içerisinde çevre kirleticilerin başında gelen ağır metal ve tuzlar uzun süreli kullanımlar sonucunda toprağın doğal dengesini etkileyebilmektedir (Edwars ve ark., 2001) Ağır metaller ortamlarda ve oradan geçtikleri

canlıların bünyesinde yoğunlaşan bu elementler etkili dozlarda bulunduklarında ciddi hastalık hatta ölümlere yol açabilen zehirli maddeler olarak görülmektedir (Dakiky ve ark., 2002; Hikmet ve Yılmaz 2012).

Atık suların sulama amaçlı kullanımında özellikle ağır metal ve insan sağlığını tehdit eden organizmalar açısından oluşturabileceği tehditlerin de göz ardı edilmemesi gerekir. Dolayısıyla atıksularla sulamanın sağlayabileceği avantajlar yanında oluşturabileceği risklerin bitki, toprak, insan sağlığı ve sulama sistemi performansı açısından irdelenmesi tarımda atık su kullanımının sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Tarımsal sulamada kullanılacak atık sular için izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsaryonları

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum konsantrasyonlar	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler, mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5.0	20.0
Arsenik (As)	90	0.1	2.0
Berilyum(Be)	90	0.1	0.5
Bor (B)	680	0.001	2.0
Kadmiyum (Cd)	9	0.01	0.05
Krom (Cr)	90	0.1	1.0
Kobalt (Co)	45	0.05	5.0
Bakır (Cu)	190	0.2	5.0
Florür (F)	920	1.0	15.0
Demir (Fe)	4600	5.0	20.0
Kurşun (Pb)	4600	5.0	10.0
Lityum (Li)[1]	-	2.5	2.5
Manganez (Mn)	920	0.2	10.0
Molibden (Mo)	9	0.01	0.05
Nikel (Ni)	920	0.2	2.0
Selenyum (Se)	16	0.02	0.02
Vanadyum (V)	-	0.1	1.0
Çinko (Zn)	1840	2.0	10.0

Mevcut durumda ağır metal kontaminasyonunun arıtılması için kullanılan geleneksel teknikler, temel olarak çökeltme, kimyasal oksidasyon veya indirgeme, aktif karbon üzerinde adsorpsiyon, elektrokimyasal arıtma ve iyon değişimi kullanılan yöntemler arasında görülmektedir (Lebrun ve ark.,). Bununla birlikte, bu tekniklerin yüksek maliyet ve enerji gereksinimleri ve ikincil toksik oluşumlar gibi çeşitli dezavantajları vardır. Bu nedenle, ağır metallerin kirlenmiş sulardan uzaklaştırılması için etkili ve verimli metodolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Son zamanlarda, endüstriyel proseslerden kaynaklanan atıklardan ağır metal atıklarının uzaklaştırılması için geleneksel yöntemlerin yerini almak üzere membran teknolojisi kullanılmıştır. Bu sistemlerin endüstriyel maliyetleri ve işleme için gereken toplam enerji tüketimini azaltmaya yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Bu membran sistemlerin arasında atık su arıtımlarında elektrospin yöntemi çalışmaları hızla artmaktadır (Barhate ve ark., 2006).

Elektrospin Yöntemi

Elektrospin 1902 yılında J. F. Cooley tarafından ilk kez Apparatus for electrically dispersed fibers" isimli patent başvurusu ile ortaya çıkmıştır. Bu patent başvurusu yüksek voltajlı bir güç kaynağı kullanarak iplik üretme üzerine bir yöntemden bahsedilmişti (Cooley 1902).

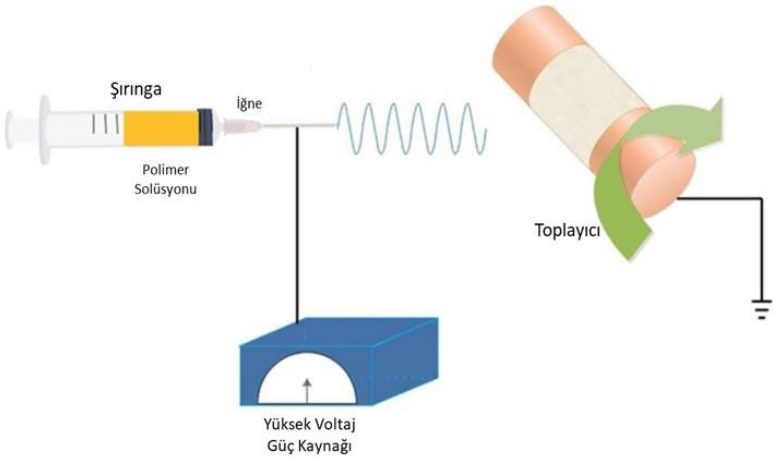
Elektrospin diğer bir adıyla elektro-eğirme yönteminde, elektrik potansiyelini kullanarak nanometre ölçeğinde ultra ince fiber üretimi sağlanabilmektedir. Diğer bir deyişle elektrospin, mikrometre

değerlerinin altından nanometre değerlerine kadar değişen çaplarda sürekli lifler hazırlamak için geliştirilmiş bir yöntemdir (Baek 2007; Varghese ve ark., 2019). Şimdiye kadar, elektrospin yöntemiyle üretilen fiberler birçok uygulamada kullanılmıştır. Filtrasyon, kompozit fiberler, karbon nanotüpler, tıbbi uygulamalar ve çevresel uygulamalar en yaygın örnekleridir (Karimi ve ark., 2015; Zarekhalili ve ark., 2017). Elektrospin yönteminin temel prensibi, sistemde oluşan elektrostatik kuvvetler ile yüzey gerilimi ve yer çekimi kuvvetlerinin arasındaki farkın eşik değere ulaşarak elektriksel alanda nano boyutta lifler oluşturmaktır (Feng ve ark., 2013).

Elektrospin yöntemi ile, nylon-6, selüloz asetat, polivinil alkol (PVA), poliaktrilonitril (PAN), polietilen tereftalat (PETP), polistiren (PS), polietersülfon (PES) ve polivinilidén florür (PVDF) gibi katkılı veya katkısız polimer çözeltilerinin elektrik alan etkisi ile nano boyutlu bir lif veya elyaf üretilmesi sağlanmaktadır (Burger ve ark., 2006; Tijing 2014). Elektrospin işlemi temelde dört ana modülden oluşmaktadır:

a. şırınga pompası veya dozajlama pompası
b. şırınga veya kılcal boru
c. yüksek voltajlı güç kaynağı,
d. iyi iletken özellikli metal malzemeden yapılmış sabit veya dönel özellikli toplayıcı/toplaç

Elektrospin yöntemi için gerekli deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 1.'de görülmektedir.

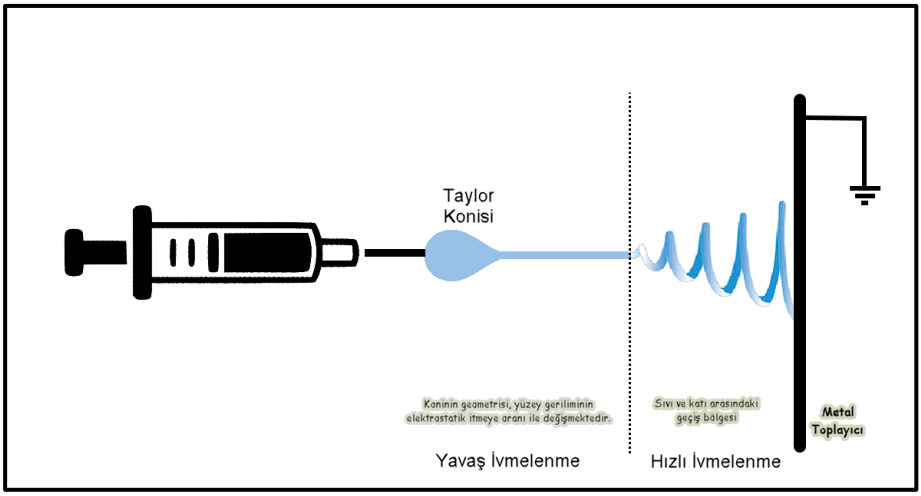


Şekil 1. Elektrospin düzeneğinin şematik gösterimi

Elektrospin yönteminde uygun nanolif/nanofiber oluşturulması için çözeltinin ve sistemin belirli parametre değerlerinde yer alması gerekmektedir. Sistem parametreleri olarak şırınga ucunda oluşan hidrostatik basınç değeri, güç kaynağındaki gerilim/voltaj değeri, çözeltinin akış hızı (ml/h), şırınga ucu ile metal kollektör arasındaki uzaklık, metal kollektörün sabit veya hareketli olması gibi parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Çözelti parametreleri olarak ise çözeltinin iletkenliği, pH değeri, yüzey gerilimi, viskozitesi, molekül ağırlığı gibi etkenler devreye girerken polimer yapısının, türünün ve derişiminin elektrospinleme yapmaya uygun olması gerekmektedir. Bunların dışında çözelti sıcaklığı, ortam sıcaklığı, bağıl nem, hava akış hızı, vakum parametreleri vs gibi çevresel etkiler de nanolif üretimi için önemli parametrelerdir (Huang ve ark., 2003; Wasim ve ark., 2019).

Elektrospin sürecinde ilk olarak spinlenecek çözelti veya sıvı hazırlanır. Daha sonra polimer solüsyonunun elektrikli yüklü jet oluşturabilmesi için yüksek voltajlı güç kaynağı kullanılmaktadır. Polimer solüsyonu, bir enjektörün veya cam bir tüp içerisine alınır. Enjektör bir şırınga pistonuna veya şırınga pompasına bağlanarak sıvının şırınga boyunca sabit bir hızda akması sağlanmaktadır. Elektrotlardan birisi spin solüsyonu içeren enjektörün metal ucuna diğeri de metal toplayıcıya bağlanır. İçinde polimerik çözelti bulunan enjektörün ucu ile metal toplayıcı arasına elektrik alan uygulanır. Sıvının/ çözeltinin yüzeyinde bir yük oluşur. Bunun sonucunda polimerik sıvı ile kapiler boru arasındaki yüzey gerilimine ters bir yönde kuvvet oluşur. Elektrik alanın şiddeti arttıkça polimer çözeltisinin hemisferik yüzeyi, kapiler tüpün ucunda ‘’ Taylor konisi’’ olarak bilinen konik bir form oluşturur. Taylor konisi yüzey gerilimi ve yüklü yüzeydeki elektronik güç arasındaki dengeyi sağlar. Elektrik alan artıkça itici elektrostatik kuvvetler yüzey gerilimini yendiği zaman kritik bir değere ulaşılır ve Taylor konisinin ucundan yüklü bir jet fışkırır. Bu yüklü jet toplayıcı üzerinde nanofiberler olarak toplanır (Güçlü 2012; Babuşoğlu 2021). Jet doğrusal olarak başlayıp sonrasında konik bir yay gibi kıvrılarak metal toplayıcıya doğru akar (Şekil 2). Böylece sıvı formda olan maddenin fiber çapları nano boyutlara kadar düşerek katı formunda karşı tarafa aktarımı sağlanır. Yani metal toplayıcıya iplik veya lifler sayesinde elyafımsı yapıların oluştuğu gözlemlenmektedir. Nanofiber membranların avantajı yüksek yüzey alanı/hacim oranına, yüksek poroziteye ve düşük por çaplarına sahip olmalarıdır. Bu nedenlerden

dolayı, nanofiberler yapıda hazırlanmış membranların daha yüksek ağır metal absorblama kapasitesine sahip olmaları beklenmektedir.



Şekil 2. Elektro-eğirme sisteminde jet oluşumu ve metal toplayıcıya aktarımı

Elektrospin ile üretilen nanolifler, biyolojik ve kimyasal ayırmalar için artan ilgi giderek artmaktadır. Çeşitli organik ve inorganik materyalden elektrospin tekniği ile farklı malzemeler elde edilmişlerdir (Kim ve Yang, 2003; Park ve Park, 2005). Bu nanolifler filtrasyon, tekstil, yakıt hücreleri, biyomedikal uygulamalar ve son zamanlarda tuzsuzlaştırma, su ve atıksu arıtımı gibi birçok farklı uygulamaların kullanımına olanak sağlamaktadır. (Huang ve ark., 2003; Li ve Xia 2004). Özellikle endüstriyel alanların su kaynaklarının kirlenmesini önlemek amaçlı filtrasyon, suya geçirgenliği olan, elektrospin membranlara ilgi bir hayli fazladır (Liu ve ark., 2015).

Elektrospin düzeneğinin karmaşık bir sistemde bulunmaması, üretilen malzemeninin homojenliğinin diğer yöntemlere oranla daha yüksek

olması, sistem ile ilişkili parametrelerin değiştirilmesi gerektiğinde kolaylıkla bu işlemin yapılabilmesi, ürettiği nanolifler sayesinde hacme göre oldukça yüksek yüzey alanına sahip olması gibi özellikleri bu sistemin avantajlarındandır (Koçyiğit, 2017). Ancak mekanik ve mukavemet özelliklerin diğer yöntemlere göre daha düşük olması, diğer yöntemlere göre çok daha uzun sürelerde malzeme üretimi yapılabilmesi ve polimer çözeltilerin şırınga ucu veya kapiler uçta tıkanma yapması gibi özellikleri sebebiyle de elektrospin yönteminin dezavantajlarındandır (Koçyiğit, 2017). Avantajlı yönlerinin daha güçlü olmasından dolayı elektrospin yönteminin atık suları arıtma alanında tercih edilme oranı da doğal olarak artış göstermektedir.

Yapılan araştırmalara bakıldığında Gopal ve ark., (2006) polivinilidin florür (PVDF) nanofiber membranı üretme üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştirler. Çalışmada üretilen nanofiber membranların sulama suyu filtrasyonundaki performanslarını test edilmiştir. Ayırma performansı için 1, 5 ve 10 µm'lik polistiren parçacıkları kullanılmıştır. 5 µm'lik parçacıkların süzülmesinde %91 giderim gözlemlenirken, 10 µm'lik parçacıklarda % 96'lık bir giderme verimi ve akı performansı tamamen geri kazanılmıştır. 1 µm'lik parçacıkların süzülmesinde filtrasyon sırasında büyük akı düşüşü yaşanmıştır. Gözlemlenen bu olumsuzluklara rağmen giderme veriminin % 98 olduğu gözlemlendiği belirtilmiştir. Araştırma sonucunda tıkanan nanofiber membran daha iyi bir giderme verimi gösterdiği ifade edilmiştir.

Bjorge ve ark. (2009) elektrospin ile oluşturulmuş nanofiber filtrelerin su arıtımında olası kullanımını değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma sulama sularında patojen giderimi, askıda katı madde giderimi, ticari olarak kullanılan membranlar ile karşılaştırma amaçlamıştır. Çalışmada poliakrilik asit, polisülfon, polietilen imin ve poliamit polimerlerini denemişlerdir. Suların arıtımı işlemi farklı membran basınçlarında akı ölçülerek belirlenmiştir. Ölçümlerde membran ile yapılan su filtrasyonunun ticari polimer membranlara göre daha yüksek değerlere sahip olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucu bu nanofiber membranların ileride ters osmoz öncesi iyi bir ön arıtma alternatifi olacağı yazarlar tarafından öngörülmektedir.

Baek ve arkadaşlarının (2007) çalışmasında, ipek ve pamuk keratoz fibroinleri çeşitli oranlarda blend edilerek yaklaşık kalınlıkları 100nm ila 1.400nm arasında değişen nanofiber yapılar elde edilmiş ve bakır metalinin pH 8,5'te %60 oranında adsorplandığı gösterilmiştir. Yine başka bir çalışmada Zhou ve arkadaşları (2011) tarafından ipek fibroinler ile selüloz asetat karışımı hazırlanmış ve yaklaşık 200nm ila 350nm arasında değişen boyutlarda nanofiber membranlar elde edilmiştir. Yapılan adsorpsiyon çalışmalarında ise artan bakır konsantrastonuna göre adsorplama kapasitesinde belli bir doyum noktasına ulaşıncaya kadar arttığı tespit edilmiştir.

Yalçın (2012) tarafından atık sulardan ağır metal giderimi için nanofiber filtrelerin hazırlanması üzerine gerçekleştirilen çalışmada elektrospin yöntemi ile ipek/naylon-6 polimerlerinin homojen karışımından nanofiber membranlar elde edilerek bakır (Cu+2) ağır metali uygulanmıştır. Çalışma sonucunda koşullarda kapalı sistem ile

elde edilen bakır adsorpsiyonunun %32, kesikli sistem ile elde edilen bakır adsorpsiyonunun ise %77 olduğu görüldüğü belirtilmiştir.

Shojae ve ark., (2015) atık sulardan ağır metal olan kurşun iyonlarının elektrospin yönetmi ile uzaklaştırılması üzerine yapılan araştırmada PAN/TiO_2 nanolifleri hazırlanmış ve sulu çözeltilerde kurşun(II) iyonlarının giderilmesinde adsorban olarak incelenmiştir. Çalışmada polyacrylonitrile (PAN) tozu, PAN lifleri ve PAN/TiO_2 karışımlarının arıtma üzerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda atık sularda PAN tozu 0.48 meq/g, PAN lifleri 0.79 meq/g ve PAN/TiO_2 1.69 meq/g Kurşun iyonunu adsorbe ettiği belirlenmiştir.

Ki ve ark., (2007) çalışmasında sularda elektrospin yöntemi ile ağır metallerin uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada elektrospin ile hazırlanmış yün ve ipek harmanlı nanolifli membranların sularda ağır metal iyon adsorbanı olarak performansları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda elektrosinlenmiş nano lifli yapının geniş yüzey alanı ve yüksek gözenekliliği nedeniyle, nano lifli membranlar, yaygın lifli filtrelere (yün şerit ve filtre kağıdı) kıyasla yüksek metal iyon kapasiteleri sergilediği belirtilmiştir. Özellikle, yün/ipek karışımı nanolifli membran, metal iyonlarının adsorpsiyonu için olağanüstü bir performans sergilediği ifade edilmiştir.

Feng ve ark., (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, PVDF nanofiber membranının hava boşluklu membran distilasyon prosesinde, ağırlıkça %6 NaCl konsantrasyonuna sahip tuzlu sudan içme suyu üretimi için (NaCl konsantrasyonu<280 ppm) kullanılabilceği bildirilmiştir. Bu yeni yaklaşım, bu prosesin, distilasyonu ve ters osmoz

gibi geleneksel deniz suyu desalinasyon prosesleri ile yarışabileceğini göstermiştir

Özbey (2020) yüksek sıcaklık ve bor içeriğine sahip jeotermal suların, hava boşluklu membran distilasyonu (HBMD) konfigürasyonunun optimum işletme koşullarının tayin edilmesi, hem ticari hem de üretilen membranlar ile elde edilen filtrasyon performans sonuçlarının karşılaştırılması, suda bulunan bor elementinin uzaklaştırılması ile sulama suyu kalitesinde su geri kazanımı ve olası çevresel etkilerinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonunda elektrospin yöntemi ile farklı nanomateryaller kullanılarak hidrofobik nanofiber membran üretimi ile gerçekleştirilen sentetik jeotermal su deneylerinde süzüntü suyu bor konsantrasyonu limit değerlerinin altında kaldığı belirlenmiş olup sulama suyu standartlarına uygun süzüntü suyu elde edildiği ifade edilmiştir. Jeotermal sular genellikle deniz sularından daha yüksek bor konsantrasyonu içermekte ve bu da yüksek bor konsantrasyonuna sahip jeotermal suların arıtılmasının çok önemli olduğu anlamına gelmektedir. Bundan dolayı jeotermal suların arıtılması, özellikle sulama amaçlı kullanımlarda tuzlu jeotermal suların alıcı ortamlara ve çevre tarım alanlarına karşı olası negatif etkilerini azaltabilmek çok büyük bir önem arz etmektedir.

SONUÇ

Su, insan sağlığı ve refahı için gereklidir. Sanayi, evsel atıklar ve tarımsal faaliyetler sonucu su kaynaklarımız doğrudan veya dolaylı olarak kirlenmektedir. Su kirliliği suyun fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerindeki değişmeler olarak ifade edilir. Dünyada su

kaynaklarının azalmasından dolayı tarımsal sulamalarda atık suların kullanılması giderek önem taşımaktadır. Atık suların sulama amaçlı kullanılırken ağır metal yönünden kirliliğe sebep olacak etkileri göz ardı edilmemelidir. Gelişen teknoloji ile beraber sularda ağır metallerin uzaklaştırılması veya arındırılması elektrospin ile nanofiber membran yöntemi mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Elektrospin yöntemi geleneksel arıtma yöntemlerine göre daha düşük maliyet ve enerji tüketimine sahip olduğu ifade edilmiştir. Farklı polimer kullanılarak elde edilen nanofiber membranlar üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde atık sularda ağır metallerin adsorbe edildiği ve filtrasyon işleminin gerçekleştiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Ali, M. F., & Shakrani, S. A. (2013, April). The effects of secondary treated wastewater irrigation on leafy vegetable growth under soil and soilless culture. In 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC) (pp. 500-505). IEEE.

Babuşoğlu, M. G. (2021). Elektrospin Yöntemi ile Nar Çekirdeği Yağının Dekstran-Jelatin Liflerine Nanoenkapsülasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Baek, D.H., Ki, C. S., Um, I.C., and Park, Y. H., 2007, Metal ion adsrbability of electrospun wool keratose/silk fibroin blend nanofiber mats, Fiber and Polymers, 8, 3 : 271-277.

Baek, D.H., Ki, C. S., Um, I.C., and Park, Y. H., 2007, Metal ion adsrbability of electrospun wool keratose/silk fibroin blend nanofiber mats, Fiber and Polymers, 8, 3 : 271-277.

Bjorge, D., Daels, N., De Vrieze, S., Dejans, P., Van Camp, T., Audenaert, W., & Van Hulle, S. W. (2009). Performance assessment of electrospun nanofibers for filter applications. Desalination, 249(3), 942-948.

Burger, C., Hsiao, B. S., Chu, B., (2006), “Nanofibrous materials and their applications”, Annu. Rev. Mater. Res., 36, 333-368.

C. Kim and K. S. Yang, Appl. Phys. Lett., 83, 1216 (2003).

Cooley, J. F. (1902) inventor; no assignee; Apparatus for electrically dispersing fluids, US 692631.

Dakiky, M., Khamis, M., Manassra, A., Mer’eb, M., “Selective adsorption of chromium(VI) in industrial wastewater”, Adv. Environ. Res., 6 (4): 553-540, 2002.

Edwards, K. A., Macklin, M. G., Miller, J. R., Lechler, P. J., “Sources, distribution and storaged of heavy metals in the Rio Pilcomayo, Bolivia”, J. Geochem. Explor., 72: 229-250, 2001.

Feng, C., K.C. Khulbe, T. Matsuura, S. Tabe, A.F. Ismail, Preparation and characterization of electro-spun nanofiber membranes and

their possible applications in water treatment, Sep. Purif. Technol., 102 (2013) 118–135.

Feng, C., Khulbe, K. C., Matsuura, T., Gopal, R., Kaur, S., Ramakrishna, S., Khayet, M., (2008), "Production of drinking water from saline water by air-gap membrane distillation using polyvinylidene fluoride nanofiber membrane", Journal of Membrane Science, 311(1-2), 1-6.

Gopal, R., Kaur, S., Ma, Z., Chan, C., Ramakrishna, S., Matsuura, T., (2006): Electrospun nanofibrous filtration membrane. Journal of Membrane Science 281, pp.581-586.

Güçlü, S. (2012). İki farklı polimerden simultane olarak elektrospinnig yöntemiyle nanolif ve membran üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 118.

H. S. Park and Y. O. Park, Korean J. Chem. Eng., 22, 165 (2005).

Hikmet, D., & YILMAZ, O. (2012). Gaziantep Sanayi Atık Sularında Arıtma Öncesi ve Sonrası Ağır Metal Düzeyleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 24(1), 19-24.

Huang, M.Z., Zhang, Y.Z., Kotaki, M. and Ramakrishna, S., (2003). A Review On Polymer Nanofibers By Electrospinning And Their Applications In Nanocomposites, Composites Science And Technology, 63, 2223-2253.

Karimi, L., Yazdanshenas, M., Khajavi, R., & Rashidi, A. (2015). Optimizing the photocatalytic properties and the synergistic effects of graphene and Nano titanium dioxide immobilized on cotton fabric. Appl. Surf. Sci., 332, 665–673.

Ki, C. S., Gang, E. H., Um, I. C., & Park, Y. H. (2007). Nanofibrous membrane of wool keratose/silk fibroin blend for heavy metal ion adsorption. Journal of Membrane Science, 302(1-2), 20-26.

Koçyiğit, S. (2017). Grafen katkılı p-tipi ve n-tipi termoelektrik nanokompozit malzeme üretimi ve karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

L. Lebrun, F. Vallee, B. Alexandre, and Q. T. Nguyen, Desalination, 207, 9 (2007).

Lelio, H., Rebora, C., & Gomez, L. (2009). Ethanol potential production from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) irrigated with urban waste water. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, 41(1), 123-133.

Li, D., Xia, Y., (2004) "Electrospinning of nanofibers: reinventing the Wheel", Advanced Materials, 16(14), 1151-1170.

Lu, Z., Mo, W., Dilkina, B., Gardner, K., Stang, S., Huang, J. C., & Foreman, M. C. (2019). Decentralized water collection systems for households and communities: Household preferences in Atlanta and Boston. Water Research, 167, 115134.

Ozbey, U. B., Gezmis-Yavuz, E., Eryildiz, B., Koseoglu-Imer, D. Y., Keskinler, B., & Koyuncu, I. (2020). Boron removal from geothermal water by nanofiber-based membrane distillation membranes with significantly improved surface hydrophobicity. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(5), 104113.

Pellicer, C., Pérez, A., Abadía, A., Rincón, L., & Gamaza, A. (2006, March). Reuse of treated municipal waste waters in artichoke crop. In VI International Symposium on Artichoke, Cardoon and Their Wild Relatives 730 (pp. 307-315).

R. S. Barhate, C. K. Loong, and S. Ramakrishna, J. Membr. Sci., 283, 209 (2006).

Scheierling, S. M., Bartone, C., Mara, D. D., & Drechsel, P. (2010). Improving wastewater use in agriculture: An emerging priority. World Bank Policy Research Working Paper, (5412)

Shiklomanov, I. A. ve Rodda, J. C.; 2003: World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Cambridge, UK, Cambridge University Press.

Shojaei, M., Sadjadi, S., Rajabi-Hamane, M., & Ahmadi, S. J. (2015). Synthesis of TiO2/polyacrylonitrile nanofibers composite and its application to lead ions removal from waste waters. Desalination and Water Treatment, 56(5), 1403-1412.

Tijing, L. D., Choi, J. S., Lee, S., Kim, S. H., Shon, H. K., (2014), "Recent progress of membrane distillation using electrospun nanofibrous membrane", Journal of Membrane Science, 453, 435-462.

Varghese, R., Sakho, E., Arani, S., Thomas, S., Oluwafemi, O., & Wu, J. (2019). Introduction to nanomaterials: synthesis and applications. In Nanomaterials for Solar Cell Applications (pp. 75-95). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Inc.

Wasim, M., Sabir, A., Shafiq, M., & Jamil, T. (2019). Electrospinning: a fiber fabrication technique for water purification. In Nanoscale materials in water purification (pp. 289-308). Elsevier.

Y. Liu, G. Zeng, L. Tang, Y. Cai, Y. Pang, Y. Zhang, G. Yang, Y. Zhou, X. He, Y. He, Highly effective adsorption of cationic and anionic dyes on magnetic Fe/Ni nanoparticles doped bimodal mesoporous carbon, J. Colloid Interface Sci., 448 (2015) 451–459.

Yalçın, E., (2012). Sulardan Ağır Metal Giderimi İçin Nanofibriler Filtrelerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı, Ankara.

Yazdani, A. A., Saffari, M., & Ranjbar, G. (2019). Effect of Application of Treated Wastewater on Seed Yield and Heavy Metals Content of Safflower Cultivars. Journal of Agricultural Science and Technology, 21(5), 1277-1286.

Zarekhalili, Z., Bahrami, S., Ranjbar-Mohammadi, M., & Milan, P. (2017). Fabrication and characterization of PVA/gum tragacanth/PCL hybrid nanofibrous scaffolds for skin substitutes. Int J Biol Macromol, 94, 679–690.

BÖLÜM 9

ARI ÜRÜNLERİNDE AĞIR METALLER

Pınar COŞKUN*

Prof. Dr. Bünyamin SÖĞÜT**

*Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arı ve Arı Ürünleri Anabilim Dalı Orcid No: 0000-0002-9170-5799 pinarcoskun55@gmail.com
**Bandırma Üniversitesi Bandırma Meslek Yüksekokulu Gıda Teknolojisi Bölümü Orcid: 0000-0002-7644-7226, bsogut@bandirma.edu.tr

Giriş

Artan dünya nüfusuna paralel olarak kentleşme, madencilik, sanayileşme ve tarımsal faaliyetler gibi insan faaliyetleri de artmakta ve çevrede kimyasal kirleticilerin konsantrasyonu artmaktadır (Atamaleki ve ark., 2020; Shaheen ve ark., 2019). Antropojenik faaliyetler, çevre üzerinde ve farklı biyolojik seviyelerde geri dönüşü olmayan bir hasara neden olabilir. Tarımda kullanılan ürünler (gübreler, herbisitler, böcek öldürücüler), yanma sırasında yayılan (PAH, SO_2, NO_x) veya diğer antropojenik faaliyetlerden (uçucu ve yarı uçucu organik bileşikler) gelen ürünler gibi farklı bileşikler çevreyi kirletebilmektedir. Buna ek olarak ekosistemdeki metal birikimleri de toprak ve bitkide birikerek kirlilik oluşturur. Metal kirliliğine maruz kalma, kirleticinin konsantrasyonuna, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak organizmanın biyolojik süreçlerine müdahale eder ve farklı tepki vermesine yol açar (Dallinger, 1994; Holmstrup ve ark., 2010). Bunların yanı sıra, kirliliğe tolerans, adaptasyon veya ölümcül olmayan tepkiler, fizyolojik özellikleri (metal alımı, eliminasyonu ve hareketsizleştirme yeteneği) ve yaşam evreleri gibi özellikleri ile yakından ilişkilidir (Morgan ve ark. 2007; Vijver ve ark., 2004).

Modern dünyanın sanayileşmesi ve kentleşmesi, diğer kirlilik faktörlerine ek olarak doğal ortamdaki toksik metal (TM) miktarında önemli bir artışa katkıda bulunmaktadır. ‘Ağır metaller’ terimi genellikle 5 g/cm^3'ten büyük bir element yoğunluğuna ve 20' den büyük atom numarasına sahip doğal olarak oluşan TM'leri ifade eder (Hazrat ve Ezzat, 2018). Çoğu ağır metal, doğal ve antropojenik kaynaklar

nedeniyle çevreye yayılmış durumdadır. Antropojenik emisyonlar, doğal emisyonlardan daha büyük bir TM kaynağıdır (Li ve Tse, 2015). Temel olarak yakıt depolama ve yakmanın yanı sıra bitki koruma ürünleri ve gübrelerin bir sonucu olarak yerel kirlilik yükselebilir. Kanalizasyon, kimyasal spreyler, tarımsal gübreler ile kirlenmiş hava, su ve topraktan yiyeceklere ve çöplüklerden sızıntı olarak içme suyuna nüfuz edebilirler (Kastrati ve ark., 2021; Wieczorek ve ark., 2018; Han ve ark., 2021).

Toprakta ve bitkilerde element (toksik ve toksik olmayan) birikimi, Avrupa'da gıda güvenliği ve gıda kalitesi araştırma alanlarında ortaya çıkan endişelerden biridir (COM, 2006). Farklı metallerin/elementlerin insan sağlığı üzerindeki etkisini ve ayrıca insan beslenmesi için bitkiler veya diğer gıdalar yoluyla ağır metallerin alınması ve biyobirikim mekanizmalarını araştırmayı amaçlayan birçok çalışma yapılmıştır (Peralta-Videa ve ark., 2019; Saracoglu ve ark., 2004; Sari ve ark., 2008; Sodre ve ark., 2007; Uluozlu ve ark., 2007). Bu elementlerden bazıları (kurşun, kadmiyum, cıva ve arsenik) potansiyel kanserojen olarak kabul edilir ve bir dizi iç hastalığın etiyolojisi ile ilişkilidir (Jarup, 2003). Pb, Cd ve As gibi potansiyel toksik elementler (PTE)' ler insanlar ve hayvanlar için gerekli değildir ve vücutta zararlı etkilere sahiptir, düşük konsantrasyonlarda bile akut ve kronik toksisitelere neden olur (Ali ve ark., 2019; Pan ve ark., 2018). ; Sall ve ark., 2020). Öte yandan, Zn ve Cu gibi bazı elementler insan sağlığı için gerekli elementlerdir (Jovanović ve ark., 2017). Cu, Fe, Se ve Zn gibi temel elementler de tolere edilebilir fizyolojik sınırların üzerindeki

konsantrasyonlarda insanlarda ve hayvanlarda toksik etkilere neden olabilir (Keil ve ark., 2011; Singh ve ark., 2011).

TM' lerin özellikle gıda yoluyla insan vücuduna girdiği tahmin edilmektedir. Olası kontaminasyonlar ve özellikle insan sağlığına olumsuz etkileri açısından kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As) ve cıva (Hg) başta gelen iz elementlerdir. Canlı organizmalarda, metabolik ve biyolojik işlevler için gerekli değildirler. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC), (2021)'e göre, As ve Cd insanlar için kanserojen (grup 1) Pb insanlar için muhtemelen kanserojen (grup 2A), Hg ise kanserojen olmayan (grup 3) olarak sınıflandırılır. Pb ve Cd, boya üretimi için kullanılabildikleri gibi elektrik ve kimya da dahil olmak üzere birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Atmosfere çimento fabrikaları, çelik fabrikaları, döküm fabrikaları, karayolu taşımacılığı (egzoz dumanları) ile birlikte endüstriyel emisyon yoluyla girerler (Kummer ve ark., 2009; Teran ve ark., 2020; Wieczorek ve ark., 2018). Hg, elektrik (lambalar), kimya (damıtıcılar) ve ilaç endüstrilerinde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yakılması, metal madenciliği, cevher işleme ve çimento üretimi sırasında meydana gelir (Li ve Tse 2015). Hg bir metaloid olduğu gibi (Hazrat ve Ezzat 2018), temel antropojenik kaynakları fosil yakıtların yakılması, madencilik, demir olmayan metallerin eritilmesi, cam eşya imalatı, endüstriyel kimyasallar, pestisitler ve ilaçlardır (Nigra ve ark., 2019 ; Yang ve ark., 2018).

Doğada toprak ve su kirliliğinde potansiyel biyolojik göstergeler olarak iyi bilinen canlılar, akarlar, solucanlar, böcekler ve yumuşakçalar gibi

birincil ve ikincil tüketiciler ile ayrıştırıcılardır (Rosenberg 1986; Cortet ve ark., 1999; Heikens ve ark., 2001). Bununla birlikte, çevresel metal kirliliğini tespit etmek ve izlemek için hem biyobirikim hem de toksik etkilerin biyolojik göstergeleri olarak tozlayıcılara olan ilgi giderek artmaktadır (Leita ve ark., 1996; Kevan, 1999; Celli ve Maccagnani 2003). Doğanın en önemli tozlayıcılardan biri ise bal arılarıdır (*Apis mellifera* L.).

Bal arıları, nektar, polen, su ve propolis toplamaya yönelik yiyecek arama davranışları nedeniyle hem doğal hem de sentetik kaynaklı çok çeşitli potansiyel toksik kimyasallara dolaylı veya doğrudan maruz kalmaktadır (Jones 1987; Devillers ve Pham-Delegue 2002; Zhelyazkova, 2012; Johnson, 2015; Döner ve Inci, 2021). Bal arıları ve ürünleri farklı kaynaklardan gelen elementlerle kirlenebilir (Spiric ve ark., 2019; Silici ve ark., 2013; Pohl ve ark. 2011). Kirlenmenin kaynağı çevre (hava, su, bitkiler ve toprak), arıcılık uygulamaları olabilir veya kirleticileri kovana sokan arıların kendileri olabilir (Costa-Silva ve ark., 2011; Bogdanov, 2006). Ayrıca bal arıları ve ürünleri de dahil olmak üzere çevresel numunelerdeki elementlerin belirlenmesi çevre kirliliği çalışmalarının önemli bir parçasıdır (Van der Steen ve ark., 2012; 2015; Bargańska ve ark., 2016; Van der Steen, 2016). Toksik metal birikimi, hem tozlaşma hizmeti ile birlikte tüm koloni sağlığı için (Hladun ve ark., 2016) hem de insan ve ekosistem sağlığı için tehlike arz etmektedir (Pacyna ve ark., 2007; Lambert ve ark., 2012; Ruschioni ve ark., 2013).

Arı ürünleri başta bal olmak üzere, arı sütü, polen, propolis, arı zehri, arı ekmeği (perga), apilarnil gibi ürünlerdir. Bal arısı ürünleri gıda

olarak tüketilebildiği gibi bazı arı ürünleri de (polen ve propolis gibi) sağlığa olan faydaları nedeniyle binlerce yıldır farklı amaçlarla kullanılmaktadır (Münstedt ve Bogdanov, 2009).

Tüm kirleticiler arı ürünlerine ve daha sonra insanların farklı dokularına geçer. İnsanlar çevresel kimyasal kirleticilere soluma, deriden emilim ve en önemlisi de kirlenmiş olan yiyecekleri yiyerek olmak üzere üç yolla maruz kalabilirler (EPA, 2021). Kirlenmiş gıda ürünlerini yemek insan sağlığı için ciddi bir tehdittir ve birçok tehlikeli hastalığın nedeni olabilir.

Bal, arılar tarafından bitkilerin nektar veya salgılarının toplanıp arıların bünyesindeki maddelerle karıştırılıp elde edilen kompleks karbonhidrat karışımından (%82.4) oluşan, doğal bir üründür (Bartha ve ark. 2020). İnsan sağlığına potansiyel riski nedeniyle en sık incelenen arı ürünlerinden biri baldır (Spirić ve ark., 2019; Kadri ve ark., 2017; Pisani ve ark., 2008; Golob ve ark., 2005; Coskun ve Inci, 2020). Balın mineral içeriği botanik faktörlerden güçlü bir şekilde etkilenir, antropojenik faaliyetler nedeniyle kirlilik bu ürüne kolayca ulaşabilir (Kastrati ve ark. 2021). Bal, toksik TM'ler içerebilir ve çevresel kontaminasyonun biyoindikatörü olarak kullanılabilir. Arılar zehirli elementleri bitkilerin kök sistemleri veya doğrudan atmosferik birikim yoluyla alabilirler (Kastrati ve ark., 2021). Belirli gıda maddelerindeki TM'ler miktar olarak (ML), 1881/2006 Sayılı Komisyon Yönetmeliği (EC) (09.08.2021) tarafından belirlenmiştir. Yönetmeliğe göre bal için sadece Pb miktarı ML olarak belirlenmiştir (100 µg/kg yaş ağırlık). Cd için, gıda maddesine bağlı olarak birçok farklı gıda kategorisi için (20-

1200 µg/kg yaş ağırlık) ML' ler oluşturulmuştur, ancak bu kategorilerde bal belirtilmemiştir (Komisyon Yönetmeliği, AB, 2021/1323, 2021). FAO/WHO (2001) standartlarına göre ise baldaki maksimum Pb içeriği 300 µg/kg'ı geçmemelidir (Demir Kanbur ve ark., 2021). As için izin verilen maksimum seviye 100–300 µg/kg iken Hg için 500–1000 µg/kg'dır (EC) 1881/2006). 27 Temmuz 2021'de DSÖ'nün bir dizi gıda türünde iki TM (Hg ve Pb) hakkında veri talep ettiği bilinmektedir (Food Safety News 2021). Ayrıca FAO/WHO (2019) tavsiyelerine göre bal, insan sağlığına tehlike oluşturabilecek miktarlarda TM' lerden arındırılmış olmalıdır.

Arı poleni, larvaların beslenmesinde kullanılan ve çiçek polenlerinin nektar (ve/veya bal) ve tükürük maddeleriyle karıştırılmasıyla üretilen bir bal arısı türevidir (Tutun ve ark., 2021). Propolis, bal arıları tarafından bitki salgılarından, balmumundan ve arı salgılarından üretilen reçineli bir maddedir (Finger ve ark., 2014). Bal arısı çiçekli bitkileri arar ve nektar, bitki reçineleri elde etmek için her gün binden fazla çiçeği ziyaret eder (Goodwin ve ark., 2011). Arı ürünlerinin temel kaynağının su olduğu, hareket alanlarının geniş olduğu, çevre ile doğrudan temasları, soluma, yutma ve yiyecek arama sırasında vücut kılları yoluyla çevreden örnekler topladığı ve kovana getirdiği düşünüldüğünde arı ürünlerindeki birikim daha iyi anlaşılacaktır (Finger ve ark., 2014; Matin ve ark., 2016). Çevrede PTE birikimi bal, polen ve propolis gibi arı ürünlerinin bileşimine yansır (Fakhri ve ark., 2019; Liberato ve ark., 2013; Tutun ve ark., 2019; Végh ve ark., 2021). Yürütülen bazı araştırmalar polen ve propoliste K, P, Mg, Al, Ca, Na,

Mn, Cu, Zn, Cl, S ve Si gibi elementlerin yaygın mineral bileşenler olduğunu, Pb, Hg, Co gibi PTE' ler olduğunu bildirmiştir. As ve Cd ise diğerlerine göre daha düşük konsantrasyonlarda olduğu belirlenmiştir (Altunatmaz ve ark., 2017; Hodel ve ark., 2020; Végh ve ark., 2021).

Bal ve diğer arı ürünlerinde TM'lerin varlığına ilişkin bilimsel araştırmalar, yaklaşık son 20 yıldır çok çalışılmış ve bu çalışmalar giderek daha da artmaktadır. Yukarıda belirtilenlerin ışığında ve bahsedilen yasal düzenlemeler ile birlikte bu dört ağır metalin toksisitesi ve arı ürünlerindeki Pb, Cd, Hg ve As varlığına ilişkin 2019-2021 yılları arasındaki 43 yayından elde edilen veriler Tablo 1'de sunulmuştur.

Bu çalışmaların birkaçında bal numunelerindeki Hg konsantrasyonlarının test edildiği ve seviyesinin 0.12 ila 100 µg/kg arasında değişmekte olduğunu, fakat sonuçların gösterilmediği bildirilmiştir (Fischer ve ark., 2021; Hungerford ve ark., 2021; Pipoyan ve ark., 2020). Üç araştırmada ise civanın saptanmadığı veya LOD değerinin altında olduğu bildirilmiştir (Bommuraj ve ark., 2019; Grainger ve ark., 2021; Bayram, 2021).

Tablo 1. Farklı coğrafi bölgelerden arı ürünlerinde tespit edilen Pb, Cd ve As kalıntılarına genel bakış (2019-2021 yılları arasında değerlendirilmiştir) (Nowak ve Nowak, 2021).

Ülke	**Kaynak/örnekler**	**Ortalama konsantrasyon [µg/kg]**			**Kaynakça**
		Pb	**Cd**	**As**	
Türkiye	Polen	<LOD	NA	<LOD	Bayram, 2021
	Bal	0,00–180	60–130	NA	Demir Kanbur ve ark., 2021
	Bal	80–1240	nd	na	Tutun ve ark., 2019

	Bal	NA	<LOD	NA	Alim ve Yarsan 2020
	Polen	180–640	40–190	NA	Özcan ve ark., 2019
Yeni Zelanda	Bal	9,5–76,5	6.0–51.6	NA	Grainger ve ark., 2021
Kosova	Bal	50–2100	10–40	20–120	Kastrati ve ark., 2021
	Polen	140–1690	20–150	ND–20	
	Bal	<LOD	<LOD–237	<LOD–5146	Aliu ve ark., 2020
Hırvatistan	Bal	0.458–18.1	0.044–9.17	0.088–1.45	Lazarus ve ark., 2021
	Bal	7.1–156	<1.0	<2.0	Bilandzic ve ark., 2019
	Bal	<2.0–154	<1.0	<2.0	Bilandzic ve ark., 2020
Nijerya	Bal	<LOD-2.5	ND–1.3	NA	Lekduhur ve ark., 2021
	Bal		NA	NA	Ozoani ve ark., 2020
	Bal	5–80	11–98	1.0–60	Orisakwe ve ark., 2019
Polonya	Propolis	440–1000	30–80	50–110	Matuszewska ve ark., 2021
	Polen	20–120	10–30		
	Arı sütü	90–220	2.0	10	Winiarska-Mieczan ve ark., 2021
	Bal	70	<LOD–88	NA	
		14–1007			
Arnavutluk Bulgaristan	Perga	80–320	30–140	NA	Pavlova ve ark., 2021
Etiyopya	Bal	ND–2530	ND–17	NA	Adugna ve ark., 2020
	Bal	<LOD	<LOD	NA	Nega ve ark., 2020
Romanya	Bal	760–3410	50–3810	NA	Bartha ve ark., 2020
Filipinler	Polen	17–155	53–153	4–9	Belina-Aldemita ve ark., 2020
Bosna Hersek	Bal	<261	<121	NA	Bosancic ve ark., 2020
	Bal	0.00	0,00	NA	Zenunovic ve ark., 2020
Sırbistan	Bal	5.73–18.93	1.15–3.93	1.13–1.54	Ciric ve ark., 2021
	Bal	420	20–150	ND	Dogo Mracevic ve ark., 2020
	Bal	2.0–22.3	1.00–21	1.00–10.6	Spiric ve ark., 2019
Cezayir	Bal	410–1270	19.56–29.00	6.41–12.64	Di Bella ve ark., 2020
İspanya	Nektar	1.7–36.7	6–17.8	NA	Gutiérrez ve ark., 2020
Avustralya	Bal	2.5–690	2.5–53	2.5–9.0	Hungerford ve ark., 2021
Rusya	Bal	90	40	ND	Murashova ve ark., 2020
	Polen	480	90	340	
	Propolis	2260	780	ND	
	Perga	250	70	ND	

	Arı sütü	2800	ND	20	
Ukrayna	Bal	120–290	10–40	NA	Piven ve ark., 2020
Karadağ	Bal	ND–210	ND–80	ND	Vukašinovic-Pešic ve ark., 2020
Avrupa ülkeleri	Bal	69–292	ND	NA	Adaškeviciute ve ark., 2019
	Polen	117–391	6–370	NA	
	Propolis	3210–9690	10–75	NA	
	Perga		12–61	NA	
	Arı sütü	81–468 189–480	1–4	NA	
Ürdün	Polen	30–2567	<5	<20	Aldgini ve ark., 2019
Suudi Arabistan	Bal	<1.7–240.0	<0.3–28.0	<0.2–533.7	Bazeyad ve ark., 2019
İsrail	Bal	<LOD	<LOD	<LOD	Bommuraj ve ark., 2019
İspanya, Kanarya Adaları	Bal	19–57	0–6	NA	Díaz ve ark., 2019
Yunanistan	Bal	10–470	0–<50	10–820	Louppis ve ark., 2019
Mısır	Bal	1.7–1590	1–14	NA	Malhat ve ark., 2019
Brezilya	Bal	NA	<LOD–290	<LOD–3250	Oliveira ve ark., 2019
Ermenistan	Bal	2.3–45	0.6–3.1	0–1.0	Pipoyan ve ark., 2020
Macaristan	Bal	100–600	ND	NA	Sajtos ve ark., 2019
Libya	Bal	2420–10,980	125–150	6–18	Salama ve ark., 2019

Tablo 1'e göre; incelenen 43 araştırmadan 16'sında, Pb içeriğinin ML değerini aşmadığı görülmektedir (Orisakwe ve ark., 2019), beş çalışmada ise < LOD olduğu örneklerde TM'ler tespit edilmemiştir veya test edilen numune sayısının azlığı gibi muhtemel bazı durumlardan kaynaklı olarak tespit edilememiştir (Aliu ve ark., 2020; Bayram 2021). Çeşitli çalışmalarda bireysel numunelerde yüksek Cd seviyeleri tespit edilmiştir. As kontaminasyon seviyelerinin 2 ile 17 kat aşıldığı durumlar gözlemlenmiştir (Aliu ve ark., 2020 , Oliveira ve ark., 2019). Ağır metaller çoğu zaman birbirleriyle pozitif korelasyon

göstermekte ve bu yüzden aynı kaynaktan geldikleri düşünülmektedir (Bazeyad ve ark., 2019).

Arı ürünlerinde konsantrasyonları, coğrafi konum, çevredeki çevrenin kirlilik derecesi, iklim, mevsim ve hava koşullarına (rüzgar, yağmur vb.) bağlıdır (Aliu ve ark., 2020; Lau ve ark., 2019; Matuszewska ve ark., 2021). Genel olarak TM kalıntılarının ağırlıklı olarak balda, nadiren de arı ürünlerinde çalışıldığı, arı sütü ve propolisteki TM konsantrasyonlarına ilişkin sınırlı veri olduğu söylenebilir. Farklı arı ürünlerinde TM içeriği hakkında çok az karşılaştırmalı araştırma vardır (Adaškevičiūtė ve ark., 2019; Matuszewska ve ark., 2021; Murashova ve ark., 2020). Propolis ve arı poleni, kimyasal kirleticilerin biriktiği bitki dokularını içerdiklerinden, TM'ler veya diğer kirleticilerin önemli bir kaynağı olabilir (Matuszewska ve ark., 2021). Bu durum genel olarak arı sütündeki TM konsantrasyonlarının çoğunun neden propolis veya arı poleninden daha düşük olduğunu açıklar (Matuszewska ve ark., 2021) (Tablo 1). Fakat bazı durumlarda farklı sonuçlar da elde edilebilir. Örneğin Adaškeviciute ve ark. (2019) ve Murashova ve ark. (2020)'nın çalışmalarında en yüksek Pb konsantrasyonları propolis ve arı sütünde tespit edilirken, arı poleninde değerlerin 20 kat daha düşük olduğu bildirilmiştir (Tablo 1).

Yapılan çalışmada otoyolun yakınında bulunan bölgeden alınan propolis ve arı sütü örneklerinde yüksek miktarda Pb ve Cd konsantrasyonları tespit edildiği bildirilmiştir (Murashova ve ark., 2020). Bununla birlikte, genel TM konsantrasyonu propolis ve arı poleninde en yüksek, arı sütü ve balda daha düşük olduğu

bildirilmiştir. Aldgini ve ark. (2019) ve Kastrati ve ark. (2021) tarafından yapılan iki çalışmada, bazı polen örneklerinde Pb'nin ML'sinin birkaç kez aşıldığı tespit edilmiştir.

Pek çok araştırma, ekolojik olarak temiz kırsal alanlardan ve/veya kentleşmiş sanayileşmiş bölgelerden alınan örneklerde TM'lerin içeriğini incelemiştir. Ćirić ve ark. (2021), yaptıkları araştırmada farklı lokasyonlardan (doğal, endüstriyel, tarımsal) elde edilen ballarda Pb, Cd, As seviyelerinin ML' yi aşmadığını bildirmişlerdir (Tablo 1). Hungerford ve ark. (2021) kentsel, kırsal, kent çevresindeki yerleşim yerlerinden veya coğrafi alan esaslı karışık alanlardan toplanan balları test etmişlerdir. Sadece iki kırsal balda 630 ve 690 µg/kg seviyelerinde nispeten yüksek konsantrasyonlarda Pb tespit edilmiş, ancak test edilen tüm bal örneklerinde genel ortalama olarak Pb seviyesi düşük bulunmuştur (30 µg/kg). Konumun (kırsal veya kentsel) baldaki Pb içeriği üzerinde hiçbir etkisi olmadığı bildirilmiştir (Orisakwe ve ark. 2019).

Maden ocakları, kurşun/çinko eritme ve pil üretim tesislerinin bulunduğu bölgeden alınan bal ve polen örneklerinde yüksek oranda Pb tespit edilirken (yaklaşık 16 kat), Cd’ nin üç kat aşıldığı tespit edilmiştir (Kastrati ve ark., 2021). Aynı bölgelerden toplanan yüzey topraklarında kurşun oranı 15.5- 3610 mg/kg aralığında, Cd ise 0.1- 8.8 mg/kg aralığında belirlenmiştir. Bitkilerdeki TM konsantrasyonunun seviyesi üzerinde toprakların TM içeriğinin etkisi vardır. Salama ve ark. (2019), batı Libya'daki sekiz lokasyondan kaynaklanan bal örneklerinde çok yüksek seviyelerde Pb olduğunu göstermiştir (Tablo 1). Bartha ve ark.

(2020) çalışmalarında, Doğu Avrupa'nın en kirli bölgelerinden birinden biri olan endüstriyel faaliyetlerde demir dışı metallerle 60 yılı aşkın bir süredir kirlenen bir ortamdan alınan bal örneklerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda Pb ve Cd ML değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla 34 ve 76 kez aşıldığı bildirilmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışmalar, doğal ortamın balın kimyasal kirliliği üzerindeki etkisini açıkça göstermektedir.

Organik ve konvansiyonel ballardaki TM düzeylerini karşılaştıran iki çalışma yapılmıştır (Bosancic ve ark. 2020; Lazarus ve ark. 2021). Çalışmalar sonucunda organik sertifikalı üretimden elde edilen balın en düşük Pb içeriğine sahip olduğu, ayrıca organik örneklerin hiçbirinde Cd tanımlanamadığı, konvansiyonel örneklerin (termik santralin yakınından alınan) maksimum ortalama Pb ve Cd değerleri, AB mevzuatına göre izin verilen maksimum içeriği aştığı bildirilmiştir (Tablo 1) (Bosancic ve ark. 2020). Ayrıca hem organik hem de geleneksel test edilen bal örneklerinde Pb, Cd ve As ML değerlerini aşmadığı, numune alınan konumlar farklı olmasına rağmen balın bu metallerle kontaminasyon seviyelerinin benzer olduğu rapor edilmiştir (Lazarus ve ark. 2021).

Türkiye'deki on beş gezici arıcılık alanından toplanan polen ve propolis numunelerindeki potansiyel toksik elementlerin (PTE) konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir çalışmada Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Sn, V ve Zn konsantrasyonları incelenmiştir. Bu çalışma aynı zamanda halk sağlığı açısından tüketicilere yönelik potansiyel riski belirlemek için bir sağlık

risk değerlendirmesi yapmayı da amaçlamıştır. Polen ve propolis örneklerinde en çok bulunan element, ortalama 47.3 ve 390 mg kg^{-1} konsantrasyonları ile Fe olarak bulunmuş ve Al, Zn, Cu, Mn ve Sn dışındaki tüm elementlerin konsantrasyonları propoliste polenden daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Propolis numunelerindeki Fe, Al ve Zn konsantrasyonlarının, polen numunelerine göre sırasıyla sekiz, yedi ve iki katın üzerinde olduğu bildirilmiştir. Polende Se, Cd ve Hg, propoliste Se ve Cd tespit limitlerinin altında bulunmuştur. Polen örneklerinde sırasıyla 0,62, 0,06 ve 0,91 mg kg^{-1} altında Pb, Co ve Cr tespit edilmiştir. Propolis örneklerinde sırasıyla Co ve Hg 0,68'in altında ve 0,18 mg kg^{-1} tespit edilmiştir. Polen ve propoliste PTE kontaminasyon seviyesinin tespiti ve sağlık risklerinin değerlendirilmesinin, tüketimden önce kalite ve güvenliği tespit etmek için gerekli olduğu, polen ve propolisin çevre kirliliğinin PTE açısından taranması için iyi göstergeler olabileceği ve bu kirleticilerin arı ürünlerinde kabul edilebilir konsantrasyonlarını düzenleyen standartların oluşturulması gerektiği bildirilmiştir (Tutun ve ark., 2022).

SONUÇ

Literatür verilerinin analizinden sonra, ağır metallerin çoğunun genellikle şehirleşmiş ve sanayileşmiş bölgelerden kaynaklanan arı ürünlerinde, madenler, çelik fabrikaları, karayolları, demiryolları, çimento fabrikaları, pil ve metal üretim tesisleri çevresinden alınan örneklerde bulunduğu sonucuna varılabilir. Bu bilgilere dayanarak, bu tür alanların yakınında bal üretimi yapılmaması tavsiye edilebilir.

TM'lerin mevcudiyeti, yalnızca yüksek oranda kentleşmiş alanların yakınından hasat edilen arı ürünlerinde değil, aynı zamanda farklı çevrelerden elde edilen örneklerde de gözlemlenmiştir ve bu da günümüzde kirleticilerin her yerde bulunduğunu doğrular. Analiz edilen çalışmalara dayanarak, geçerli standartlara göre arı ürünlerindeki araştırmaların büyük çoğunluğunda çevresel kaynaklı toksik bileşiklerin konsantrasyonlarının, potansiyel tüketicinin sağlığına tehdit oluşturmayacak seviyelerde olduğu sonucuna varılabilir. Fakat yine de, birçoğu sanayileşmeden kaynaklı olan ağır metaller canlı organizmalar için oldukça toksik olan önemli çevresel kirleticilerdir. Toksisite, kalıcılık ve biyolojik birikim nedeniyle ağır metaller artan bir çevre kirliliği sorununa yol açmaktadır. Ayrıca, sanayileşme ve kentleşme, antropojenik faaliyetler de toksik metallerin çevreye dağılmasını artırmaktadır.

Arı ürünleri de dahil olmak üzere gıdaların kimyasal kirliliği, son yıllarda çevrenin giderek kirlenmesi ve tarım ve hayvancılık üretiminin kimyasallaşması nedeniyle bir halk sağlığı sorunu haline gelmiştir. Arı ürünlerinin sağlığı geliştirici özellikleri ve yüzyıllardır doğal tıptaki uygulamaları nedeniyle bu ürünlerin zararlı kimyasallarla kontaminasyon derecesinin izlenmesi nutrasötik açıdan önemlidir. Arı ürünlerinin çevresel kirleticilerle kontaminasyonu halk sağlığı için risk oluşturmaktadır. Bu bağlamda arı ürünlerinde toksik metallerle ile ilgili birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte, risk değerlendirmesini içeren çalışmalar sınırlıdır. Dolayısıyla daha fazla risk değerlendirme

çalışmalarına ihtiyaç olmakla birlikte ağır metallerin çevreye yayılmasını engelleyecek düzenlemelere de ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Adaškevičiūtė, V., Kaškonienė, V., Kaškonas, P., Barčauskaitė, K., Maruška, A. (2019). Comparison of physicochemical properties of bee pollen with other bee products. *Biomolecules*, *9*(12), 819.

Adugna, E., Hymete, A., Birhanu, G., Ashenef, A. (2020). Determination of some heavy metals in honey from different regions of Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, *6*(1), 1764182.

Aldgini, H. M., Al-Abbadi, A. A., Abu-Nameh, E. S., Alghazeer, R. O. (2019). Determination of metals as bio indicators in some selected bee pollen samples from Jordan. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *26*(7), 1418-1422.

Ali, H., Khan, E. (2018). What are heavy metals? Long-standing controversy over the scientific use of the term 'heavy metals'– proposal of a comprehensive definition. *Toxicological & Environmental Chemistry*, *100*(1), 6-19.

Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of chemistry*, *2019*.

Alim, E. C., Yarsan, E. (2020). Metal contents in honey samples from different regions in Ankara. *Israel Journal of Veterinary Medicine*, *75*(3), 148-52.

Aliu, H., S. Makolli, S. Dizman, S. Kadiri, Hodolli G. (2020). Impact of environmental conditions on heavy metal concentration in honey samples. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, *21*:*351–8.*

Atamaleki, A., Sadani, M., Raoofi, A., Miri, A., Bajestani, S. G., Fakhri, Y., Khaneghah, A. M. (2020). The concentration of potentially toxic elements (PTEs) in eggs: a global systematic review, meta-analysis and probabilistic health risk assessment. *Trends in Food Science & Technology*, *95*, 1-9.

Bargańska, Ż., Ślebioda, M., Namieśnik, J. (2016). Honey bees and their products: Bioindicators of environmental contamination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *46*(3), 235-248.

Bartha, S., Taut, I., Goji, G., Vlad, I. A., Dinulică, F. (2020). Heavy metal content in polyfloralhoney and potential health risk. A case study of Copșa Mică, Romania. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(5), 1507.

Bazeyad, A. Y., Al-Sarar, A. S., Rushdi, A. I., Hassanin, A. S., Abobakr, Y. (2019). Levels of heavy metals in a multifloral Saudi honey. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(4), 3946-3953.

Belina-Aldemita, M. D., Fraberger, V., Schreiner, M., Domig, K. J., D'Amico, S. (2020). Safety aspects of stingless bee pot-pollen from the Philippines. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*, *71*(2), 87-100.

Bilandžić, N., Sedak, M., Đokić, M., Bošković, A. G., Florijančić, T., Bošković, I., Hruškar, M. (2019). Element content in ten Croatian honey types from different geographical regions during three seasons. *Journal of Food Composition and Analysis*, *84*, 103305.

Bilandžić, N., Sedak, M., Đokić, M., Bošković, A. G., Florijančić, T., Bošković, I., Hruškar, M. (2020). Assessment of toxic and trace elements in multifloral honeys from two regions of continental Croatia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, *104*(1), 84-89.

Bogdanov, S. (2006). Contaminants of bee products. *Apidologie*, *37*(1), 1-18.

Bommuraj, V., Chen, Y., Klein, H., Sperling, R., Barel, S., Shimshoni, J. A. (2019). Pesticide and trace element residues in honey and beeswax combs from Israel in association with human risk assessment and honey adulteration. *Food chemistry*, *299*, 125123.

Bosancic, B., Zabic, M., Mihajlovic, D., Samardzic, J., Mirjanic, G. (2020). Comparative study of toxic heavy metal residues and other properties of honey from different environmental production systems. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(30), 38200-38211.

Celli, G., Maccagnani, B. (2003). Honey bees as bioindicators of environmental pollution. *Bulletin of Insectology*, *56*(1), 137-139.

COM (2006). CEC Thematic Strategy for Soil Protection. 231 Final Commission of the European Communities, Brussels.

Coskun P, Inci H, 2020. Propolisin Kimyasal Içerigi İle Antibakteriyel, Antiviralve Antioksidan Aktivitesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4(4), 1053-1070

Cortet, J., Gomot-De Vauflery, A., Poinsot-Balaguer, N., Gomot, L., Texier, C., Cluzeau, D. (1999). The use of invertebrate soil fauna

in monitoring pollutant effects. *European Journal of Soil Biology*, *35*(3), 115-134.

Costa-Silva, F., Maia, M., Matos, C. C., Calçada, E., Barros, A. I., Nunes, F. M. (2011). Selenium content of Portuguese unifloral honeys. *Journal of food composition and analysis*, *24*(3), 351-355.

Dallinger, R. (1994). Invertebrate organisms as biological indicators of heavy metal pollution. *Applied biochemistry and biotechnology*, *48*(1), 27-31.

Devillers, J., Pham-Delègue, M. H. (Eds.). (2002). *Honey bees: estimating the environmental impact of chemicals*. CRC Press.

Díaz, S., Paz, S., Rubio, C., Gutiérrez, Á. J., González-Weller, D., Revert, C., Hardisson, A. (2019). Toxic metals and trace elements in artisanal honeys from the Canary Islands. *Biological Trace Element Research*, *190*(1), 242-250.

Döner, Ö, Incı H, 2021. Bingöl Ilinin Farklı Bölgelerinden Elde Edilen Propolislerin Protein Oranı Ve Kül Miktarı Açısından Karsılastırılması. Ispec Tarım Bilimleri Dergisi, 5(2), 372- 380.

EPA. 2021. U.S. Environmental Protection Agency: Conducting a human health risk assessment.

Finger, D., Torres, Y. R., Quináia, S. P. (2014). Propolis as an indicator of environmental contamination by metals. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *92*(3), 259-264.

Fischer, A., Brodziak-Dopierała, B., Bem, J., & Ahnert, B. (2021). Analysis of mercury concentration in honey from the point of

view of human body exposure. *Biological Trace Element Research*, 1-9.

Food and Agriculture Organization (FAO) and the World Health Organization (WHO). Codex Alimentarius, international Food Standards, Standard for honey (CXS12-1981, adopted in 1981, revised in 1987, 2001.

Golob, T., Doberšek, U., Kump, P., Nečemer, M. (2005). Determination of trace and minor elements in Slovenian honey by total reflection X-ray fluorescence spectroscopy. *Food Chemistry*, *91*(4), 593-600.

Goodwin, R. M., Cox, H. M., Taylor, M. A., Evans, L. J., McBrydie, H. M. (2011). Number of honey bee visits required to fully pollinate white clover (Trifolium repens) seed crops in Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *39*(1), 7-19.

Grainger, M. N., Klaus, H., Hewitt, N., French, A. D. (2021). Investigation of inorganic elemental content of honey from regions of North Island, New Zealand. *Food Chemistry*, *361*, 130110.

Gutiérrez, M., Molero, R., Gaju, M., van der Steen, J., Porrini, C., Ruiz, J. A. (2020). Assessing heavy metal pollution by biomonitoring honeybee nectar in Córdoba (Spain). *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(10), 10436-10448.

Han, Y., Wang, Z., Zhou, J., Che, H., Tian, M., Wang, H., ... & Chen, Y. (2021). PM2. 5-bound heavy metals in Southwestern China:

characterization, sources, and health risks. *Atmosphere*, *12*(7), 929.

Heikens, A., Peijnenburg, W. J. G. M., Hendriks, A. J. (2001). Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates. *Environmental Pollution*, *113*(3), 385-393.

Hladun, K. R., Di, N., Liu, T. X., Trumble, J. T. (2016). Metal contaminant accumulation in the hive: Consequences for whole-colony health and brood production in the honey bee (Apis mellifera L.). *Environmental Toxicology and Chemistry*, *35*(2), 322-329.

Hodel, K. V., Machado, B. A., Santos, N. R., Costa, R. G., Menezes-Filho, J. A., Umsza-Guez, M. A. (2020). Metal content of nutritional and toxic value in different types of Brazilian propolis. *The Scientific World Journal*, *2020*.

Holmstrup, M., Bindesbøl, A. M., Oostingh, G. J., Duschl, A., Scheil, V., Köhler, H. R., Spurgeon, D. J. (2010). Interactions between effects of environmental chemicals and natural stressors: a review. *Science of the Total Environment*, *408*(18), 3746-3762.

Hungerford, N. L., Fletcher, M. T., Tsai, H. H., Hnatko, D., Swann, L. J., Kelly, C. L., Tan, B. L. (2021). Occurrence of environmental contaminants (pesticides, herbicides, PAHs) in Australian/Queensland Apis mellifera honey. *Food Additives & Contaminants: Part B*, *14*(3), 193-205.

International Agency for Research on Cancer (IARC). 2021. Monographs on the identification of carcinogenic hazards to

humans, list of classification, agents classified by the IARC monographs, volumes 1–129, update 22 July 2021.

Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, *68*(1), 167-182.

Johnson, R. M. (2015). Honey bee toxicology. *Annual review of entomology*, *60*, 415-434.

Jones, K. C. (1987). Honey as an indicator of heavy metal contamination. *Water, Air, and Soil Pollution*, *33*(1), 179-189.

Jovanović, D. A., Marković, R. V., Teodorović, V. B., Šefer, D. S., Krstić, M. P., Radulović, S. B., Baltić, M. Ž. (2017). Determination of heavy metals in muscle tissue of six fish species with different feeding habits from the Danube River, Belgrade—public health and environmental risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, *24*(12), 11383-11391.

Kadri, S. M., Zaluski, R., de Oliveira Orsi, R. (2017). Nutritional and mineral contents of honey extracted by centrifugation and pressed processes. *Food Chemistry*, *218*, 237-241.

Kastrati, G., Paçarizi, M., Sopaj, F., Tašev, K., Stafilov, T., Mustafa, M. K. (2021). Investigation of Concentration and Distribution of Elements in Three Environmental Compartments in the Region of Mitrovica, Kosovo: Soil, Honey, and Bee Pollen. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(5), 2269.

Keil, D. E., Berger-Ritchie, J., McMillin, G. A. (2011). Testing for toxic elements: a focus on arsenic, cadmium, lead, and mercury. *Laboratory Medicine*, *42*(12), 735-742.

Kevan, P. G. (1999). Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (pp. 373-393). Elsevier.

Kummer, U., Pacyna, J., Pacyna, E., Friedrich, R. (2009). Assessment of heavy metal releases from the use phase of road transport in Europe. *Atmospheric environment*, *43*(3), 640-647.

Lambert, O., Piroux, M., Puyo, S., Thorin, C., Larhantec, M., Delbac, F., Pouliquen, H. (2012). Bees, honey and pollen as sentinels for lead environmental contamination. *Environmental Pollution*, *170*, 254-259.

Lau, P., Bryant, V., Ellis, J. D., Huang, Z. Y., Sullivan, J., Schmehl, D. R., ... & Rangel, J. (2019). Seasonal variation of pollen collected by honey bees (Apis mellifera) in developed areas across four regions in the United States. *PLoS One*, *14*(6), e0217294.

Lazarus, M., Lovaković, B. T., Orct, T., Sekovanić, A., Bilandžić, N., Đokić, M., Bubalo, D. (2021). Difference in pesticides, trace metal (loid) s and drug residues between certified organic and conventional honeys from Croatia. *Chemosphere*, *266*, 128954.

Leita, L., Muhlbachova, G., Cesco, S., Barbattini, R., Mondini, C. (1996). Investigation of the use of honey bees and honey bee products to assess heavy metals contamination. *Environmental Monitoring and assessment*, *43*(1), 1-9.

Lekduhur, G. J., Onuwa, P. O., Eneji, I. S. (2021). Analysis of selected pesticide residues and heavy metals in honey obtained from

Plateau State, Nigeria. *Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation*, *11*(1), 1-13.

Li, W. C., Tse, H. F. (2015). Health risk and significance of mercury in the environment. *Environmental Science and Pollution Research International* 22 (1):192–201.

Liberato, M. D. C. T. C., Morais, S. M. D., Magalhães, C. E. D. C., Magalhães, I. L., Cavalcanti, D. B., Silva, M. M. D. O. (2013). Physicochemical properties and mineral and protein content of honey samples from Ceará State, Northeastern Brazil. *Food Science and Technology*, *33*(1), 38-46.

Louppis, A. P., Karabagias, I. K., Papastephanou, C., Badeka, A. (2019). Two-way characterization of beekeepers' honey according to botanical origin on the basis of mineral content analysis using ICP-OES implemented with multiple chemometric tools. *Foods*, *8*(6), 210.

Malhat, F., Kasiotis, K. M., Hassanin, A. S., Shokr, S. A. (2019). An MIP-AES study of heavy metals in Egyptian honey: Toxicity assessment and potential health hazards to consumers. *Journal of Elementology*, *24*(2).

Matin, G., Kargar, N., Buyukisik, H. B. (2016). Bio-monitoring of cadmium, lead, arsenic and mercury in industrial districts of Izmir, Turkey by using honey bees, propolis and pine tree leaves. *Ecological Engineering*, *90*, 331-335.

Matuszewska, E., Klupczynska, A., Maciołek, K., Kokot, Z. J., Matysiak, J. (2021). Multielemental analysis of bee pollen,

propolis, and royal jelly collected in west-central Poland. *Molecules*, *26*(9), 2415.

Morgan, A. J., Kille, P., Stürzenbaum, S. R. (2007). Microevolution and ecotoxicology of metals in invertebrates. *Environmental science & technology*, *41*(4), 1085-1096.

Murashova, E. A., Tunikov, G. M., Nefedova, S. A., Karelina, O. A., Byshova, N. G., Serebryakova, O. V. (2020). Major factors determining accumulation of toxic elements by bees and honey products. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*, *11*(3), 11A03N.

Münstedt, K., Bogdanov, S. (2009). Bee products and their potential use in modern medicine. *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, *1*(3), 57-63.

Nega, A., Mulugeta, E., Abebaw, A. (2020). Physicochemical analysis and determination of the levels of some heavy metals in honey samples collected from three district area of East Gojjam zone of Amhara region. *Ethiopia. J. Agri. Sci. Food Res*, *11*, 279.

Nigra, A. E., Olmedo, P., Grau-Perez, M., O'Leary, R., O'Leary, M., Fretts, A. M., Navas-Acien, A. (2019). Dietary determinants of inorganic arsenic exposure in the Strong Heart Family Study. *Environmental research*, *177*, 108616.

Nowak, A. and Nowak, I. (2021). Review of harmful chemical pollutants of environmental origin in honey and bee products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-23.

Oliveira, S. S., Alves, C. N., Morte, E. S. B., Júnior, A. D. F. S., Araujo, R. G. O., Santos, D. C. M. B. (2019). Determination of essential and potentially toxic elements and their estimation of bioaccessibility in honeys. *Microchemical Journal*, *151*, 104221.

Orisakwe, O. E., Ozoani, H. A., Nwaogazie, I. L., Ezejiofor, A. N. (2019). Probabilistic health risk assessment of heavy metals in honey, Manihot esculenta, and Vernonia amygdalina consumed in Enugu State, Nigeria. *Environmental monitoring and assessment*, *191*(7), 1-14.

Ozoani, H. A., Ezejiofor, A. N., Amadi, C. N., Chijioke-Nwauche, I., Orisakwe, O. E. (2020). Safety of honey consumed in Enugu State, Nigeria: A public health risk assessment of lead and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, *71*(1).

Özcan, M. M., Aljuhaimi, F., Babiker, E. E., Uslu, N., Ceylan, D. A., Ghafoor, K., Alsawmahi, O. N. (2019). Determination of antioxidant activity, phenolic compound, mineral contents and fatty acid compositions of bee pollen grains collected from different locations. *Journal of Apicultural Science*, *63*(1), 69-79.

Pacyna, E. G., Pacyna, J. M., Fudala, J., Strzelecka-Jastrzab, E., Hlawiczka, S., Panasiuk, D., Friedrich, R. (2007). Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe. *Atmospheric environment*, *41*(38), 8557-8566.

Pavlova, D., Atanassova, J., Karadjova, I., Bani, A. (2022). Pollen and chemical content of beebreads from serpentine areas in Albania

and Bulgaria. *Biological Trace Element Research*, *200*(1), 413-425.

Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *The international journal of biochemistry & cell biology*, *41*(8-9), 1665-1677.

Pipoyan, D., Stepanyan, S., Beglaryan, M., Stepanyan, S., Asmaryan, S., Hovsepyan, A., Merendino, N. (2020). Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of trace elements and POPs in honey from Shirak and Syunik regions of Armenia. *Chemosphere*, *239*, 124809.

Pisani, A., Protano, G., Riccobono, F. (2008). Minor and trace elements in different honey types produced in Siena County (Italy). *Food Chemistry*, *107*(4), 1553-1560.

Piven, O. T., Khimych, M. S., Salata, V. Z., Gutyj, B. V., Naidich, O. V., Skrypka, H. A., Rud, V. O. (2020). Contmination of heavy metals and radionuclides in the honey with different production origin. *Ukrainian Journal of Ecology*, *10*(2), 405-409.

Pohl, P., Sergiel, I., Prusisz, B. (2011). Direct analysis of honey for the total content of Zn and its fractionation forms by means of flame atomic absorption spectrometry with solid phase extraction and ultrafiltration approaches. *Food chemistry*, *125*(4), 1504-1509.

Rosenberg, D. M., Danks, H. V., Lehmkuhl, D. M. (1986). Importance of insects in environmental impact assessment. *Environmental management*, *10*(6), 773-783.

Ruschioni, S., Riolo, P., Minuz, R. L., Stefano, M., Cannella, M., Porrini, C., Isidoro, N. (2013). Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy). *Biological trace element research*, *154*(2), 226-233.

Sajtos, Z., Herman, P., Harangi, S., Baranyai, E. (2019). Elemental analysis of Hungarian honey samples and bee products by MP-AES method. *Microchemical Journal*, *149*, 103968.

Salama, A. S., Etorki, A. M., Awad, M. H. (2019). Determination of physicochemical properties and toxic heavy metals levels in honey samples from West of Libya. *Journal of Advanced Chemical Sciences*, 618-620.

Sall, M. L., Diaw, A. K. D., Gningue-Sall, D., Efremova Aaron, S., Aaron, J. J. (2020). Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(24), 29927-29942.

Saracoglu, S., Tuzen, M., Mendil, D., Soylak, M., Elci, L., Dogan, M. (2004). Heavy metal content of hard biscuits produced in Turkey. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, *73*(2), 264-269.

Sari, A., Mendil, D., Tuzen, M., Soylak, M. (2008). Biosorption of Cd (II) and Cr (III) from aqueous solution by moss (Hylocomium splendens) biomass: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*, *144*(1), 1-9.

Shaheen, S. M., Niazi, N. K., Hassan, N. E., Bibi, I., Wang, H., Tsang, D. C., Rinklebe, J. (2019). Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *International Materials Reviews*, *64*(4), 216-247.

Silici, S., Uluozlu, O. D., Tuzen, M., Soylak, M. (2016). Honeybees and honey as monitors for heavy metal contamination near thermal power plants in Mugla, Turkey. *Toxicology and industrial health*, *32*(3), 507-516.

Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., Gupta, R. (2011). Heavy metals and living systems: An overview. *Indian journal of pharmacology*, *43*(3), 246.

Sodré, G. D. S., Marchini, L. C., Zucchi, O. L. A. D., Nascimento Filho, V. F., Otsuk, I. P., Moreti, A. C. D. C. C. (2007). Determination of chemical elements in Africanized Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae) honey samples from the state of Piaui, Brazil. *Química Nova*, *30*(4), 920-924.

Spirić, D., Ćirić, J., Đorđević, V., Nikolić, D., Janković, S., Nikolić, A., Teodorović, V. (2019). Toxic and essential element concentrations in different honey types. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, *99*(5), 474-485.

Teran, K., Žibret, G., Fanetti, M. (2020). Impact of urbanization and steel mill emissions on elemental composition of street dust and corresponding particle characterization. *Journal of hazardous materials*, *384*, 120963.

Tutun, H., Kahraman, H. A., Aluc, Y., Avci, T., Ekici, H. (2019). Investigation of some metals in honey samples from West

Mediterranean region of Turkey. In *Veterinary Research Forum* (Vol. 10, No. 3, p. 181). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran.

Tutun, H., Kaya, M. M., Usluer, M. S., Kahraman, H. A. (2021). Bee pollen: Its antioxidant activity. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, *21*(1), 119-131.

Tutun, H., Aluç, Y., Kahraman, H. A., Sevin, S., Yipel, M., Ekici, H. (2022). The content and health risk assessment of selected elements in bee pollen and propolis from Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*, *105*, 104234.

Uluozlu, O. D., Tuzen, M., Mendil, D., Soylak, M. (2007). Trace metal content in nine species of fish from the Black and Aegean Seas, Turkey. *Food chemistry*, *104*(2), 835-840.

Van Der Steen, J. J., de Kraker, J., Grotenhuis, T. (2012). Spatial and temporal variation of metal concentrations in adult honeybees (Apis mellifera L.). *Environmental monitoring and assessment*, *184*(7), 4119-4126.

Van Der Steen, J. J., de Kraker, J., Grotenhuis, T. (2015). Assessment of the potential of honeybees (Apis mellifera L.) in biomonitoring of air pollution by cadmium, lead and vanadium. *Journal of Environmental Protection*, *6*(02), 96.

Van Der Steen, J. J. (2016). *Beehold: The Colony of the Honeybee (Apis mellifera L.) as a Bio-Sampler for Pollutants and Plant Pathogens* (Doctoral dissertation, Wageningen University and Research).

Végh, R., Csóka, M., Sörös, C., Sipos, L. (2021). Food safety hazards of bee pollen–A review. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 490-509.

Vijver, M. G., Van Gestel, C. A., Lanno, R. P., Van Straalen, N. M., Peijnenburg, W. J. (2004). Internal metal sequestration and its ecotoxicological relevance: a review. *Environmental science & technology*, *38*(18), 4705-4712.

Vukašinović-Pešić, V., Blagojević, N., Brašanac-Vukanović, S., Savić, A., Pešić, V. (2020). Using chemometric analyses for tracing the regional origin of multifloral honeys of Montenegro. *Foods*, *9*(2), 210.

Wieczorek, J., Baran, A., Urbański, K., Mazurek, R., Klimowicz-Pawlas, A. (2018). Assessment of the pollution and ecological risk of lead and cadmium in soils. *Environmental geochemistry and health*, *40*(6), 2325-2342.

Winiarska-Mieczan, A., Wargocka, B., Jachimowicz, K., Baranowska-Wójcik, E., Kwiatkowska, K., Kwiecień, M. (2021). Evaluation of consumer safety of Polish honey—the content of Cd and Pb in multifloral, monofloral and honeydew honeys. *Biological Trace Element Research*, *199*(11), 4370-4383.

Yang, F., Xie, S., Wei, C., Liu, J., Zhang, H., Chen, T., Zhang, J. (2018). Arsenic characteristics in the terrestrial environment in the vicinity of the Shimen realgar mine, China. *Science of the Total Environment*, *626*, 77-86.

Zenunović, A., Keran, H., Srabović, E. (2020). Content of heavy metals in different types of honey. *International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology*, *7*(5), 277-280.

Zhelyazkova, I. (2012). Honeybees–bioindicators for environmental quality. *Bulgarian journal of agricultural science*, *18*(3), 435-442.

BÖLÜM 10

ARI ÜRÜNLERİNİN SPEKTROSKOPİK YÖNTEMLERLE METAL KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ VE ÇEVREYE ETKİLERİ

Öğr. Gör. Ebubekir İZOL[1]

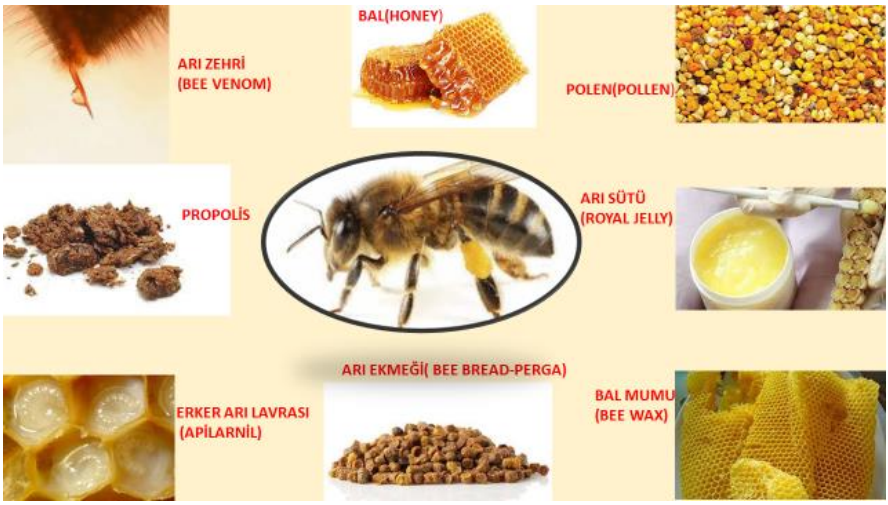
Yüksek Çevre Mühendisi İpek İZOL[2]

[1] Bingöl Üniversitesi, Arı ve Doğal Ürünler Ar-Ge ve Ür-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bingöl, TÜRKİYE Orcid: 0000-0003-0788- 4999, eizol@bingol.edu.tr
[2] Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum, TÜRKİYE Orcid: 0000-0002-9436-749X, cevre.ipek@gmail.com

GİRİŞ

Arı ürünleri günümüzde çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle besin olarak kullanımının yanında birçok farklı ilaçlara, gıda ürünlerine, kozmetik ürünlere, dermatolojik ürünlere ve hijyen ürünlerine eklenerek de kullanımı artmaktadır. Çok geniş bir alanda yaygın kullanımı arı ürünlerine olan ilgiyi arttırmaktadır.

Arı ürünleri denilince akla ilk gelen bal olmaktadır ancak diğer arı ürünlerinin çevreye olan etkilerinin baldan daha fazla olabildiği belirlenince diğer ürünlere de ilgi artmaktadır. Başlıca diğer arı ürünleri şunlardır: Arı sütü, bal, propolis, polen, arı ekmeği, arı zehri, erkek arı larvası (apilarnil), arı havası olarak adlandırılan apiair ve balmumudur. Arı ürünleri Şekil 1'de gösterilmiştir (E.İzol, 2021).



Şekil 1. Arı Ürünleri (E.İzol, 2021)

Ülkemizde bal dışındaki arı ürünleri hem azlığı hemde etkileri nedeniyle baldan çok daha pahalı satılmakta (özellikle propolis, arı sütü ve arı zehri) ve bilimsel çalışmalara yoğun bir ilgi ile konu olmaktadır.

Arı çevresel sistemler ile sürekli yoğun bir şekilde etkileşimde bulunmaktadır. Özellikle bitki, hava, su ve toprak ile sürekli etkileşim içindedir. Bu etkileşim ile birçok farklı çevre kaynaklarından etkilenmekte ve bu etkileri hem arıda hemde ürünlerinde görülmektedir. Çevresel kaynaklı kirlenmelerin, kimyasal ve biyoljik olarak arı ve arı ürünlerine etki ettiği yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir. Bu ürünlerin içeriğindeki ve arının vücudunda bulundurduğu metal konsantrasyonları büyük önem arz etmektedir (B. Yücel, 2008). Metallarin bazıları toksik özellik gösterirken bazıları ise mineral olarak belirli konsantrasyonlarda gereklidir. Ağır metaller canlı sistemlere solunum, gıda ve cilt teması ile alınmakta ve çok azı dışarı atılabilmektedir. Atılamadıklarından dolayı ağır metallerin çoğu, canlı sistemlerde birikmektedir. Canlı sistemlerde oluşan bu metal birikimi, belirli seviyelere ulaştığında önemli hastalıklara hatta ölüme kadar gidebilecek etkiler göstermektedir. Bu nedenle metal analizleri insan sağlığı, arı sağlığı ve çevre için çok büyük önem arz etmektedir.

Çevre kirliliğine neden olan temel etmenler ise sanayi, kentleşme, kimyasallar, radyoaktif maddeler ve taşıtlardır. Sanayi ve trafikdeki taşıtlar özellikle ağrı metal kirliliklerine neden olmaktadır (A. Dülgeroğlu, 2002).

Bu bölümde arı ürünleri ile yapılan çevresel konulu bilimsel çalışmalara yer verilmekle birlikte özellikle çevre kirliğinin bitki, toprak ve canlı

sistemler üzerinde ağır metal analizlerinin yapılmasında kullanılan en etkili yöntemlerden olan spektroskopik cihazlarla nasıl yapıldığı yazılmıştır. Özellikle ICP (İndüktif Eşleşmiş Plazma) cihazlarının çalışma prensipleri ve diğer cihazlara karşı avantaj ve dezavantajları, analizlerin nasıl gerçekleştirildiği ve hassaslıklarına değinilmektedir.

Arı Ürünleri İle Yapılan Çevresel Boyutlu Bazı Araştırmalar

Bingöl ili ve ilçelerinden toplanan balların ICP-MS ile alüminyum, arsenik, baryum, kalsiyum, kadmiyum, kobalt, bakır, demir, civa, magnezyum, manganez, selenyum, stronsiyum ve çinko metal elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre Merkez ve Genç ilçelerindeki ballarda Al ve Ba ve Cu tayin limiti olan lod limitinin altında olduğunda belirlenememiştir. Toksik bir ağır metal ve çevre kirleticisi olan Hg elementi tüm ballarda tespit edilememiştir ve bu elementin belirlenmemesi hem arı hemde arı ürünleri tüketicileri için oldukça önemlidir. Bal numunelerinde en yüksek konsantrasyonda K elementi (442,56±1,8 mg/kg (ppm)) bulunurken, en düşük konsantrasyonda ise As elementi (6,0±1 µg/kg) olduğu tespit edilmiştir. Sonuçta As limitinin Avrupa Birliği tarafından kabul edilen limitlere uygun olduğu ve diğer metal limitlerinin kabul edilebilir seviyede olduğu gösterilmiştir. Bingöl yöresindeki balların mineral olarak zengin olduğu görülmüş ve bazı ağır metalleri bulundurduğu fakat bu ağır metallerin limitlerinin kabul edilebilir limitler arasında olduğu literatür verileri ile belirtilmiştir (İzol ve ark., 2021).

Sırbistan'da işçi arılar, erkek arılar, arı kuluçkaları, bal mumu ve çok çiçekli ballarda metal (potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum, krom, manganez, bakır, demir, kurşun, nikel, kadmiyum, arsenik, kobalt ve çinko) konsantrasyonları ICP-MS ile belirlenmiştir. 54 koloni farklı konumlarda kullanılmış ve konumlar arasında önemli farklılıklar olduğu bulunmuştur. En yüksek element birikimi işçi arılarda bulunmuştur. Bu metal elementleri ise: Sodyum, kalsiyum, mangan, demir, kobalt, nikel, çinko, arsenik ve kadmiyum'dur. Bal mumu içinde ise en yaygın olarak bulunan elemetler krom ve kurşun olduğu belirlenmiştir. Magnezyum'un potasyum, demir, bakır ve arsenik ile önemli bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, bal arılarının (erkek arılar, işçi arılar ve arı kuluçkaları) element birikiminin (toksik ve toksik olmayan) çevresel biyoindikatörleri olarak multifloral baldan daha faydalı olabileceğini ifade edilmiştir. Ayrıca Sırp multifloral balının toksik elementlerin konsantrasyonları ile ilgili güvenlik kriterlerini karşıladığını göstermiştir (Jelena ve ark., 2021).

Rusya'da toprak, bitki, bal, propolis, polen ve arı ekmeğinde AAS ile ağır metal konsantrasyonları araştırılmıştır. Çalışmada arı ürünleri içerisinde çevre dostu olan ürünün bal olduğu görülmüştür. Ayrıca metal kirliğine maruz kalan ürünlerin en çok propolis, polen ve arı ekmeği olduğu belirlenmiştir. İki hafta boyunca yoğun polen ve arı ekmeği tüketimine bağlı olarak arıların vücudunda biriken ağır metallerin kontaminasyonunun nektar ve baldan yüzlerce kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda arı ürünlerinin çevrenin kirlilik seviyesinden etkilendiği belirlenmiştir. Ayrıca arı, polen ve

propolisin çevrenin ve çevre temizliğinin ağır metallerin içeriğinin objektif indikatörü olabileceği ifade edilmiştir (Murashova ve ark., 2020).

Polonya'da arı bölgelerindeki sabit kovanlardan elde edilen arı poleni ve arı ekmeği ürünlerinin ICP-AES ile krom, kurşun, kadmiyum ve arsenik ağır metalleri analiz yapılmıştır. Her iki arı ürününde de metal konsantrasyonları As>Cr>Pb>Cd şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Arı polenindeki konsantrasyonlar arı ekmeğinde daha yüksek bulunmuştur. Arı ürünlerindeki ortalama metal konsantrasyonları 0.138, 0.093, 0.325 ve 0.019 mg/kg olarak belirlenmiştir. Arı poleninde arsenik ve krom elementi konsantrasyon limitini aştığından dolayı en sıkıntılı element olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda: Arı ürünleri faydalı takviye edici gıdalar olarak kabul edildilğinden tüketiciler için kontaminasyonları önemli olduğu ve özellikle metal kontaminasyonların belirlenmesi insan sağlığı için önemli olduğu vurgulanmış ve arı ürünlerinin çevre kirliliğinin değerli göstergeleri olduğu belirtilmiştir (Roman ve ark., 2016).

Romanya'daki araştırmada arı ürünlerinden monofloral ve multifloral bal, propolis ve petek ürünlerinin makro ve mikro besin elementleri ve eser elementleri analizleri FAAS ile yapılmıştır. Çok çiçekli ballarda max. 685.2 mg/kg potasyum ve petekte 42.65 mg/kg kalsiyum ana elementleri belirlenmiş ve petek ve propolis max. 3.05 mg/kg ile daha fazla çinko ve maksimum 1.22 mg/kg ile demir içerdiği tespit edilmiştir. Arı ürünlerindeki krom analizi ise, orman bölgesindeki ıhlamur balında max. 0,08 mg/kg ile tarım bölgesinde akasya balında

7,24 mg/kg arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca yoğun karayolu trafiği ile kirlenen alanda multifloral balda maksimum kurşun konsantrasyonu 0.671 mg/kg olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda mineral içeriği, hem çiçek türüne hem de içinde geliştikleri toprağın bileşimine bağlı olduklarından, farklı türdeki arı ürünlerini botanik ve coğrafi kökenlerine göre ayırt etmek için önemli bir gösterge olabileceği belirtilmiştir (Barbeş ve ark. 2021).

Yapılan bir çalışmada arı ürünlerindeki ağır metal konsantrasyonları sanayi bölgelerinde, taşıt geçişinin fazla olduğu yerlerde, kentsel yerleşim yoğun olduğu alanlarda ve çöp yakım tesislerinde yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle çevre kirliliğini belirlemede bal arısı ve arı ürünlerinin biyovektör veya biyoindikatör olarak kullanılabilecekleri ifade edilmiştir (E. Sitarz-Palczak ve ark., 2015).

Tayland'da yapılan çalışmada farklı bölgelerdeki balların toksik ağır metal ve diğer metal konsantrasyonları ICP-MS ile belirlenmiştir. Ballarda eser element olarak: Gümüş (Ag), alüminyum (Al), baryum (Ba), kadmiyum (Cd), kobalt (Co), sezyum (Cs), bakır (Cu), demir (Fe), galyum (Ga), lityum (Li), magnezyum (Mg), mangan (Mn), rubidyum (Rb), selenyum (Se), stronsiyum (Sr), uranyum (U)'ya ve zehirli ağır metal olarak ise arsenik (As), berilyum (Be), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), kurşun (Pb), talyum (Tl) ve vanadyum (V) elementleri analiz yapılmıştır. Pb elementinin bir bal numunesinde kendi sağlık bakanlığı verilerinden yüksek çıktığı ve bu nedenle çevre kirleticisi kaynaklı olabileceği ifade edilmiştir. Diğer element

konsantrasyonlarının ise bakanlık limitlerini aşmadığı bulunmuştur (Wetwitayaklung P., 2018).

Tokat ilinde yapılan bir çalışmada bal, polen ve propolis ürünlerinin karayollarına uzaklığı baz alınarak ağır metal analizleri yapılmıştır. Bunun için 4 km aralıklı olacak şekilde 4 farklı arılık oluşturulmuş ve toplamda 36 arılıkdan bal, polen ve propolis numuneleri alınarak Pb, Cu, Mn, Cd, Cr, Zn ve Fe metal elemntleri ICP-AES cihazı ile analiz yapılmıştır. Üç arı ürününde de istatistiki farklılıklar çoğunlukla bulunmazken, polende Cu ve Pb metallerinde, propolisde Cd elementinde ve balda ise Cu, Cd ve Pb ağır metallerinde istatistiki farklar belirlenmiştir. Sonuç olarak ise Cd metalinin arı ürünlerinde önemli derecede kirlilik oluşturduğu ve bunun nedenin ise karayolu kenarında olan numunelerden görüldüğü için trafik kaynaklı olduğu ifade edilmiştir (S. Arslan ve A.Arıkan, 2014).

İtalya'da canlı organizmalarda toksik özellik göstererek biriken ve çevresel kirleticiler arasında yer alan cıvayı belirlemek için soğuk buharlı atomik floresan spektrometresi ile küçük kütleli arı ürünleri (balmumu, bal, polen, propolis ve arı sütü) için yeni bir analitik metot geliştirilmiştir. Cıva konsantrasyonunun insan diyeti için önemli olduğu vurgulanmıştır ve metodun kullanılabilir olduğu gösterilmiştir. Arılar ve ürünleri, antropojenik faaliyetlerin yararlı biyogöstergeleri olduğu ifade edilmiştir. Analiz edilen bal ve arı sütü örneklerindeki Hg konsantrasyonları, tüketici sağlığı etkileri için endişe kaynağı olmadığı ve bu çalışmadaki verilerin Hg konsantrasyonlarını dünyadaki diğer ülkelerle karşılaştırmak için bir referans olarak kullanılabileceği

belirtilmiştir. Hg konsantrasyonu en düşük olarak arılarda 0.53 µg/kg (ppb) olarak, en yüksek ise yine arılarda 25.3 µg/kg olarak tespit edilmiştir (Astolfi ve ark., 2021).

Metal Element Analizlerinde Spektroskopik Analiz Yöntemleri

Arı ürünlerindeki metal konsantrasyonlarını belirlemek için farklı metotlar bulunmaktadır. Spektroskopi, madde-ışın etkileşimini inceleyen bilim dalıdır. Bu nedenle madde-ışın etkileşimleri ile günümüzde bir çok farklı alanda analizler gerçekleştirilmekte ve çok faydalı çalışmalar yapılmaktadır. Spektroskopik cihazlara her geçen gün gösterilen ilgi artarak devam etmekte ve bu teknikler sürekli geliştirilmektedir. Ülkemizde, birçok farklı materyaller için yaygın olarak spektroskopik metotlar kullanılmaktadır. Bunlar genel olarak şunlardır:

- Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS)
- İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES)
- İndüktif Eşleşmiş Plazma- Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES)
- İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Bu metotların birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Analiz yönteminin seçimi yapılırken genellikle şu özelliklere dikkat edilmektedir:

- Yöntemin tekrarlanabilirliği

- Duyarlılığı ve seçiciliği
- Analiz süresinin kısalığı
- Numune ve kimyasal miktarı (J.W. Olesik, 2003)
- Ara basamak içermemesi
- Bakılan elementlerin girişime maruz kalıp kalmadığı
- Maliyet
- Aynı anda birden fazla element analizi yapabilme (C.N. Ferrarello ve ark., 2002).

Analiz yöntemi seçilirken aşağıdaki soruların sorulması ve istenen özelliklere ne kadar cevap verdiği önemlidir.

1. Gün veya haftada kaç numune analizi yapabilmektedir?
2. Numune türleri nelerdir? (Çelikler, bitkiler, sular, topraklar, dokular vb.)
3. Hangi çözme yöntemi kullanılabilir?
4. Kaç tane ve hangi unsurların belirlenmesi gerekiyor?
5. Klor önemli midir (bazı ICP-OES spektrometreleri için uzak UV seçeneği)?
6. Konsantrasyon aralıkları nelerdir?
7. Tipik olarak hangi numune hacmi mevcuttur?
8. Başka hangi seçenekler/aksesuarlar değerlendiriliyor? Neden?
9. İzotop bilgisi sizin için ne kadar önemli ve gerekli midir?

10. Gereksinimleri karşılamaya yönelik tekniklerin sahip olma maliyeti ve çalıştırma maliyetleri nedir?
11. Kullanabileceğiniz beceri operatörü seviyesi nedir?

Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS):

Ppm ve ppb limitlerinde metallerin kantitatif analizinde kullanılmaktadır. Temel prensibi yüksek sıcaklıkta gaz fazındaki elementlerin elektromanyetik ışınları absorplaması esasına dayanmaktadır. Analizi yapılacak numunenin ön hazırlık işlemleri yapılmaktadır. Genellikle asit ile yakma işlemi ve seyreltme işlemleri yapılmaktadır. Cihaza analizi yapılacak elementin oyuk katot lambası takılır. ICP tekniklerinde oyuk lambaları bulunmamaktadır. Standartlar hazırlanarak kalibrasyon eğrileri çizilerek numune analizi gerçekleştirilmektedir. Hassasiyeti ICP tekniklerine göre daha düşüktür. AAS'de farklı girişimler görülmektedir. Genel olarak ışık kaynağı, atomlaştırıcı, monokrmatör ve dedektör kısımlarından oluşmaktadır (A. Sanz-Medel ve ark., 1984).

İndüktif Eşleşmiş Plazma- Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES):

Diğer ICP teknikleri ile benzer prensiplere sahiptir. Ancak farklı olarak atomik emisyon spektrometresi bulunmaktadır. Bu teknik prensibi ise, plazmaya püskürtülerek gönderilen numune çözeltisinin iyonlarına ayrılarak oluşturulan iyonların emisyonlarının belirlenmesidir. Kalitatif ve kantitatif analiz yapılabilmektedir. Element analizlerinde

konsatrasyon limitleri µg/L seviyesinde gerçekleştirebilmektedir (Thompson ve ark., 1989).

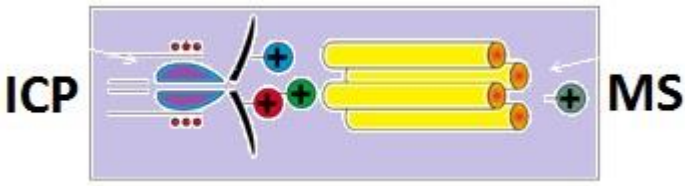
İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES):

ICP-OES tekniğinin temel çalışma prensibi atomların yüksek sıcaklık ile uyarıldıktan sonra uyarılmamış haline geçerken yayılan ışınların saptanmasına dayanmaktadır. Elementlerin kendilerine özgü enerji seviyeleri ile emisyon yapabildikleri dalga boyları bulunmaktadır ve burdaki dalga boyu ve emisyon şiddeti ölçülerek numunelerde kalitatif ve kantitatif analiz yapılmaktadır. Bazı ICP-OES spektrometrelerinin uzak UV kapasitesi, özellikle yağlarda Cl olmak üzere bazı yeni uygulamaların önünü açmıştır. Modern ICP-MS spektrometreleri artık üretim maliyetini azaltmak için negatif iyon kapasitesini ortadan kaldırmıştır. Bu, ICP-OES spektrometrelerini Cl, Br ve I'in belirlenmesi için tek atomik spektroskopi yöntemi olarak bıraktı. ICP-OES geçmişine sahip birçok kişi için ICP-MS, dedektör olarak kütle spektrometresine sahip bir plazmadır. Kütle spektroskopistleri, ICP-MS'yi bir plazma kaynağına sahip kütle spektrometrisi olarak tanımlamayı tercih eder. Her iki durumda da, teknik izotop bilgisi verme yeteneğine sahiptir. Bu bilgi, kütle spektrometresinde meydana gelebilecek birçok "spektral" girişim probleminin üstesinden gelinmesine yardımcı olabilir. İzotop seyreltme, element konsantrasyonunun çok doğru bir şekilde belirlenmesini sağlamak için numunelere bilinen bir saf izotop konsantrasyonu ile ekleme yöntemidir. Bu tekniğin ön koşulu, ilgilenilen unsurun birden fazla izotopa sahip olması gerektiğidir.

Arı ürünleri ile bu spektroskopik cihazlar kullanılarak analiz gerçekleştirirken benzer yöntemler kullanılmaktadır. İlk olarak arı ürünü asit ile yakılarak çözünürleştirilmektedir ve sonra arı ürünü yüksek asit konsantrasyonunda olduğundan cihaz ve belirlenen analiz metoduna göre seyreltme işlemi yapılmaktadır. Bu adımlar tüm tekniklerde ortaktır. Son olarak ise cihaza ve seçilen metotlara göre farklı cihaz ve farklı yazılımlar olabildiğinden analiz için standart kalibrasyon grafiği oluşturulmaktadır. Kalibrasyon grafiği oluşturulduktan sonra belirlenen konsantrasyon aralıklarına göre numune seyreltmeleri ultra saf su ile yapılarak numune cihaza verilip metal analizleri gerçekleştirilmektedir. Her yöntemin kendine özgü yazılımı ve cihaz ekipmanları bulunmaktadır. ICP-MS tekniği AAS'ye göre argon ve amonyum gazları çok tükettiğinden daha pahalıdır.

ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometresi) Cihazı

İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) iki kısımdan oluşmaktadır. ICP kısmı yüksek sıcaklıkta plazma yardımıyla iyonların oluşturulmasını sağlarken, MS ksmı ise bir malzemeyi meydana getiren atomların kütlesini kullanarak o atomları ayırarak ölçülmesini sağlamaktadır. Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. ICP-MS Mekanizması

ICP-MS teknolojisi, argon gazı kullanılarak oluşturulmuş plazmanın bir numunenin içindeki elemental türlerin ayrı ayrı tek yüklü atomlar oluşturması teorisini kullanarak çalışmaktadır. Bir kütle spektrometresinin sağlıklı çalışabilmesi için iyonlara ihtiyaç vardır. Sistemin ICP kısmı yoğunluğu tek yüklü olan iyonlar oluşturur. Bu iyonlar daha sonra kuadropol kütle spektrometresine doğru gönderilmektedir. Buradaki kütle spektrometresi, amaç yönünden monokromatörlere benzetilebilir. Fakat, ışığı dalga boylarına ayırmak yerine, kütle spektrometresi plazmada oluşturulan iyonları kütle/yük oranı değerlerine göre ayırır. Analizi yapılmak istenen kütle/yük oranı, ayrılarak dedektör yardımıyla iyon miktarı belirlenir. Numune giriş sistemi ve verileri değerlendirmek açısından ICP-MS sistemi çalışma prensibi ICP-OES sistemlerine yakındır.

ICP-MS'in avantajları ve faydaları şunlardır:

-Hızlı, çok elementli kantitatif (miktarsal) analiz

-Hızlı yarı miktarsal analiz

-Geniş dinamik aralık

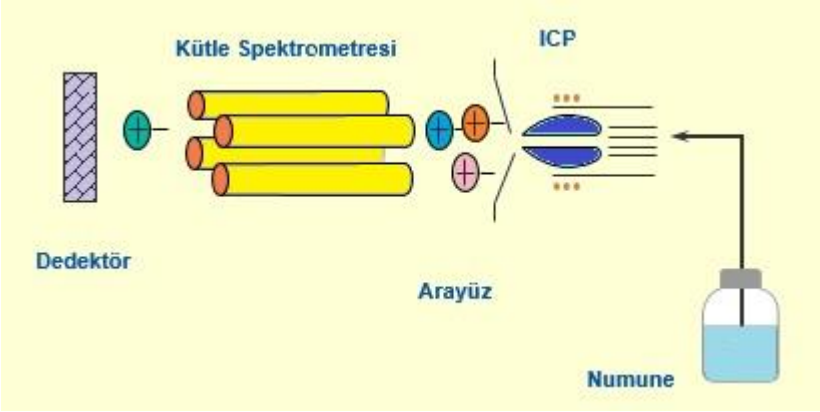
-Çok düşük tespit limitleri

-Spektral kolaylık

-İzotop analizleri

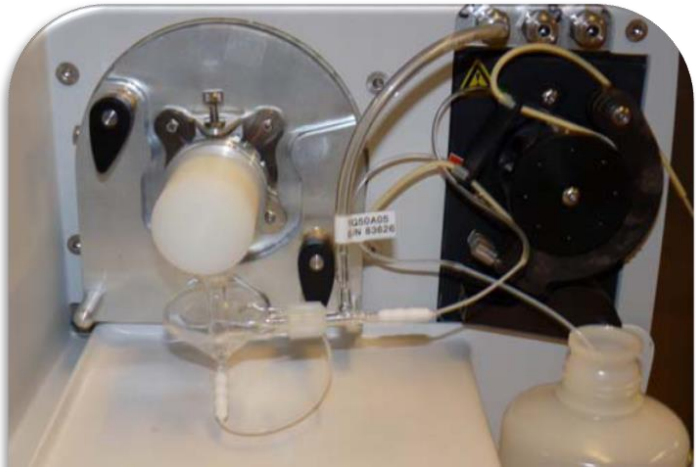
Dezavantajları olarak ise yüksek maliyet ve yüksek gaz sarfiyatı gösterilebilmektedir. ICP-MS, ICP-OES'in çok-elementli analiz kapasitesini ve geniş doğrusal aralığını, grafit fırınlı AA sistemlerinin düşük tespit limitleri ile birleştirir. Aynı zamanda ICP-MS, izotopik

konsantrasyonların ve izotop oranlarının belirlenebildiği sınırlı sayıdaki analitik teknikten bir tanesidir. ICP-MS cihazının şematize edilmiş hali Şekil 3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. ICP-MS Çalışma Prensibi

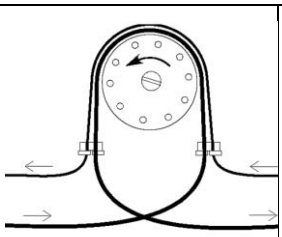
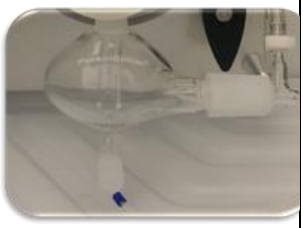
Numune, çözelti halinde numune giriş sistemi ile sıvı pompa yardımıyla nebulizöre ulaşır ve numune aerosol olarak spray chamber ile sprey odacığına iletilir ve burdan cihaz içine ulaştırılmaktadır.



Şekil 4. Numune giriş sistemi

Numune giriş sistemi numune alma tubingi, peristaltik pompa, nebulizer, spray chamber, plazma torch ve enjektöründen oluşmaktadır. Bunlar aşağıdaki Tablo 1.'de verilmiştir. Burada argon gazı akışı ile numune çözeltisi sisleştirilmektedir . 6000-7000 ^{o}K sıcaklıklardaki plazma, örneği buharlaştırır ve iyonlarına ayrıştırmaktadır. İyonlar konlar ile yüksek vakumlu bir ortamdan geçerek iyon lensleri ile kuadrupul'a şartlandırılarak kütle filtresine doğru hareket etmektedir. Kuadrapol yapısı Şekil 5.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Numune Giriş Ekipmanları

Peristaltik pompa	 Tubingler	 Spray Chamber
Nebulizer	Torch	Torch Girişi

Yalnızca bir tip iyonu diğerlerinden ayıran elektro manyetik bir alandır. Yalnızca tek bir kütle/yük kuadropolün diğer tarafına geçer. İyonlar MS kısmında kütle/yük oranı ayrıştırılmakta ve dedektör ile ölçüm gerçekleştirilmektedir.

Şekil 5. Kuadrapol

ICP-MS'in avantajlarından bazıları düşük tayin (lod) sınırı, basit spektrum ve izotop analizlerinin gerçekleştirilebilmesidir. Çoğu element için lod değeri ng/L'nin altındadır. Ayrıca çoklu element analizini aynı anda gerçekleştirmesi ve otosampler ile cihaz başında her numune için beklemeye ihtiyaç bırakmaması da ICP-MS'i cazip hale getirmektedir. Çok düşük konsantrasyonlarda (ppb, ppt) bile kalibrasyon grafikleri oluşturulabilmektedir. Böylece farklı konsantrasyonda olan elementlerin aynı anda tayini mix standartlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. ICP-MS'in kullanıldığı alanlar tıp, eczacılık, kimya, ziraat, biyoloji, gıda mühendisliği, çevre bilimi ve özellikle içme suları, atık sular, gıda, doku, hidrojeoloji, toprak, jeokimya, bitki, jeoloji ve petrokimyadır (E.İzol, 2016).

SONUÇ

Arı çevre ile sürekli etkileşim içerisinde olduğundan hem arı hem de ürünleri çevresel kirliliği belirlemede önemli rol almaktadır. Arı ve arı ürünleri farklı kaynaklardan kontamine olabilmektedir. Kirlenme arıcılık uygulamalarından veya çevreden kaynaklanabilmektedir. Bu kontaminasyonun kaynakları farklı nedenler olabilmektedir. Arı ürünleri faydalı takviyeler olarak kabul edildiğinden, tüketiciler bu ürünlerin kirliliklerinin önemli olduğunu düşünmektedirler. Ek olarak, bu ürünler çevre kirliliğinin değerli göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Çevre kirliliğinde önemli role sahip olan metaller ve özellikle ağır metaller arı ürünleri içinde sorun haline gelebilmektedir. Bu nedenle metal analizlerinin güvenilir bir şekilde yapılması çok önem arz etmektedir. Spektroskopik analiz yöntemleri bu konuda büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle spektroskopik cihazları tanımak ve analiz yöntemleri ile ilgili bilgiye sahip olmak bu alanda gerekli görülmektedir. Bu bölümde kısaca bu cihazlar ve yöntemler hakkında bilgi verilerek özellikle en gelişmiş teknik olan ICP-MS hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca arı ürünleri ile ilgili metal analizleri kapsamında yapılan bazı güncel bilimsel çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmaların bazıları çevre kirliliğini belirlemede arı ve arı ürünlerinin biyoindikatör olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle hem çevre kirliliği belirlemede hem de tüketilen ürünler olmasından dolayı insan sağlığına etki eden arı ve arı ürünlerinin içeriğindeki metal konsantrasyonlarının belirlenmesi büyük öneme sahiptir.

KAYNAKÇA

A. Dülgeroğlu, 2002. Trafik ve Çevre Etkisi. http://www.trafik.gov.tr /arastirma_inceleme/ arastirma_inceleme_bildiriler.asp.

A. Sanz-Medel, Gomis, B.D., Fuerte, E., Arribos, J.S., 1984. Extractive Fluourimetric Determination of Ultra Traces of Lead with 18-Crown-6 and Eosin. 31, 515-519, Talanta.

Astolfi, Maria Luisa et al. 2021. "An Analytical Method for the Biomonitoring of Mercury in Bees and Beehive Products by Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry." *Molecules* 26(16).

B. Yücel, 2008. Çevresel Sorunların Bal Arıları Üzerine Etkileri. Tarımsal Araştırma Yayım ve Eğitim Koordinasyonu 2008 Yılı Hayvancılık Grubu Bilgi Alışveriş Toplantısı Bildirileri, 15-18 Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü yayın no:131, 11-19. Nisan 2008, Menemen, İzmir.

Barbeş, L., Alina Bărbulescu, Gabriela Stanciu, and R. Rotariu. 2021. "Mineral Analysis of Different Bee Products by Flame Atomic Absorption Spectrometry." *Romanian Journal of Physics* 66(1–2): 1–10.

C.N. Ferrarello, M.R. Fernández de la Campa, A. Sanz-Medel. 2002. Multielement trace-element speciation in metal-biomolecules by chromatography coupled with ICP-MS, Anal. Bioanal. Chem. 373 412–421.

E. İzol. 2021. "Yenilikçi Arı Ürünleri Ve Biyolojik Önemleri." In *Tarım Uygulamalarında Yenilikçi Yaklaşımlar*, Ed. Hakan İnci, Kaan Kökten. Iksad Publications, 77–116. https://iksadyayinevi.

com/wp-content/uploads/2021/10/Tarım-Uygulamalarında-Yenılıkcı-Yaklasımlar.pdf.

E. İzol. 2016. "Determınatıon Of Heavy Metals And Seconder Metabolıtes Of Some *Allıum* (Wild Garlic) Specıes By ICP-MS And LC- MS/MS Investıgatıon Of Theır Bıologıcal Actıvıtıes." Dıcle Unıversıty.

E. Sitarz-Palczak, J. Kalembkiewicz, D. Dagmara Galas. 2015. Evaluation of the content of selected heavy metals in samples of Polish honeys. J Ecol Eng; 16(3): 130–138.

İzol Ebubekir, Enes Kaya, and Davut Karahan. 2021. "Investigation of Some Metals in Honey Samples Produced in Different Regions of Bingöl Province by ICP-MS." *Mellifera* 21(1): 1–17

Jelena, Ć et al. 2021. "Honey Bees and Their Products as Indicators of Environmental Element Deposition." : 2312–19.

J.W. Olesik. 2003. Meeting of the Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies, FACSS, Fort Lauderdale, FL

Murashova, E A, G M Tunikov, and S A Nefedova. 2020. "International Transaction Journal of Engineering , Management , & Applied Sciences & Technologies Major Factors Determınıng Accumulatıon Of Toxıc Elements By Bees And Honey Products." *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sience & Technologies* 11(3): 1–14.

Roman Adam, Ewa Popiela-Pleban, Paweł Migdał, and Wojciech Kruszyński. 2016. "As, Cr, Cd, and Pb in Bee Products from a Polish Industrialized Region." *Open Chemistry* 14(1): 33–36.

S. Arslan and A. Arıkan. 2014. "Arı Ürünlerindeki Ağır Metal Birikimine Karayollarından Uzaklığın Etkisi." *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology* 1(2): 90.

Thompson, M., Walsh, J.N., 1989. Handbook Of Introductively Coupled Plasma Spectroscopy, Chapman-Hall, New York, 42-47.

Wetwitayaklung P, Wangwattana B, Narakornwit W. 2018. Determination of trace-elements and toxic heavy minerals in Thai longan, litchi and Siam weed honeys using ICP-MS. IFRJ; 25(4): 1464-1473.

BÖLÜM 11

BİTKİ GELİŞİMİ VE METABOLİZMASI ÜZERİNE AĞIR METAL STRESİNİN ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah GÜLLER[1]

Arş. Gör. Işıl SARAÇ SİVRİKAYA[2]

[1] Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bingöl, Türkiye, eposta: aguller@bingol.edu.tr, Orcid: 0000-0003-3887-4208

[2] Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, Bingöl, Türkiye, eposta: isarac@bingol.edu.tr, Orcid: 0000-0002-5991-2173

1. GİRİŞ

Tarım ve sanayi gibi birçok alanda muazzam ekonomik gelişme ve hızlı büyüme nedeniyle küresel ekoçevre giderek daha fazla kirlenmektedir. Ekosistemdeki bu kirleticiler hem antropojenik (insan kaynaklı) hem de doğal kaynaklardan giren toksik maddeler olarak tanımlanabilir. Sentetik sanayi, kömür kullanımı ve atık maddelerin yok edilmesi gibi bazı işlemler, abiyotik (su, hava ve toprak) ve biyotik faktörler (bitkiler ve hayvanlar) çevre için geri dönüşümsüz tehlikeli sorunlara yol açmaktadır (Bhunia, 2017; Ali ve ark., 2019). Çoğu durumda çevresel toksik maddeler denildiğinde ağır metaller ve pestisitler anlaşılır ve bunlar tüm ekosistemi tehdit ederek onun işlevi ve yapısına ciddi şekilde zarar verir (Chin, 2010). Ağır metaller yüksek atom ağırlığına ve 5 g/cm$^{3'}$ten daha büyük bir yoğunluğa sahip metallerdir (Zhang ve ark., 2019). Ağır metallerin kimyasal özelliklerinin daha fazla kullnılabilir olması ve standart maksimum kalıntı limitlerini (maximum residue limits, MRL) aşması nedeniyle ortaya çıkan çevresel toksisite sorunları, dünya çapında düşünce kuruluşları tarafından dikkate alınmıştır. Başta kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve çinko (Zn) olmak üzere bir çok ağır metal, endişe verici düzeyde çevre ve sağlık sorunlarının oluşmasına neden olmaktadır (Su ve ark., 2014; Tóth ve ark., 2016). Ağır metaller, sanayi, madencilik ve tarım gibi birçok kaynaktan ortaya çıkmaktadır. Gübreleme, pestisitler, hayvan gübresi ve atık sular da ağır metal birikimleri bakımından tarım sektöründeki önemli kaynaklardır (Li ve ark., 2014). Ağır metal toksisite riski hızla artmakta ve özellikle tarım sektöründe toprakta ve bitkide birikerek

çeşitli sorunlara zemin hazırlamaktadır (Tóth ve ark., 2016). Bu sorun, son derece çözülmesi acil bir problemdir ve bunun tehlikelerini mümkün olduğunca minimize etmek için radikal ve pratik çözümlere ihtiyaç vardır.

Hem bitkilerin hem de insanların çeşitli biyokimyasal süreçlerinde ağır metallere ihtiyaç duyulmasına rağmen, konsantrasyonlarının öngörülen düzeyi aşması sonucunda toksisite ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede, ağır metallerin birincil kaynaklarının tarım, madencilik, zirai kimyasallar ve sanayi alanı olduğuna dair birçok çalışma yürütülmüştür. Xiao ve ark. (2017), tarım ve sanayinin, özellikle çimento ve galvanik fabrikalarının yakınındaki topraklar olmak üzere, tarımsal toprak ve bitkilerdeki ağır metal kirliliğini önemli ölçüde etkilediğini bildirmiştir. Başka bir deyişle, toprak yüzeyi ağır metallerin depolandığı ve daha sonra su ile birlikte kökler ve iletim demetleri sistemi aracılığıyla emilerek bitkilere aktarıldığı verimli bir yerdir. Ağır metal birikimi, ekosistemdeki elementlerin bir araya gelmesi olarak tanımlanabilir. Bitki kökleri, topraktan taşınan ağır metal iyonları için temel temas noktasıdır ve topraktaki kirleticileri stabilize etme ve bağlama eğilimindedirler. Ağır metallerin bitkilere bulaşma mekanizmaları 3 şekilde sınıflandırılır; (1) fitoekstraksiyon (bitkilerin kontamine topraktaki zararlı bileşenleri ortadan kaldırdığı fitoremediasyonun alt süreci), (2) fitostabilizasyon (ağır metallerin topraktaki hareketliliğinin azaltılması ve sabitleştirilmesi) ve (3) rizofiltrasyon (toksik maddeleri absorbe etmek için bitki köklerini kullanan bir fitoremediasyon şekli). Her ne şekilde olursa olsun bu

metaller bitkilere zarar verir ve besin zincirinde katılmak suretiyle insan sağlığına zarar verir (Cho-Ruk ve ark., 2006; Tangahu ve ark., 2011).

Son zamanlarda, hızlı gelişen teknoloji, başta pestisit (herbisitler, insektisitler ve fungisitler) olmak üzere birçok kimyasal toksik maddenin ekosistem ve canlılar üzerinde stres oluşturmasına zemin hazırladı (Pastor ve ark., 2003; Özkara ve ark., 2016). Başta tarım sektörü olmak üzere birçok alanda zararlıları kontrol etmek için kullanılan pestisitler, entegre zararlı yönetim sistemlerinde etkili silahlar olarak kabul edilir (Cooper ve ark., 2007; Damalas ve ark., 2011). Bunun aksine kontrolsüz kullanım durumunda gıda zincirlerinde biyobirikimlere ve hedef olmayan diğer organizmalar için yüksek riske yol açar. Yanı sıra, ekosistemdeki bu risk doğrudan veya dolaylı olarak dengesizliğe yol açar. Ayrıca pestisit kalıntıları bitki kısımlarında, toprakta, havada kalır ve hatta suya nüfuz eder (Rosell ve ark., 2008; Lefrancq ve ark., 2013; Liu ve ark., 2016). Bu tür kalıntılar, ekosistemin karşı karşıya olduğu en yıkıcı tehditlerden biri olarak kabul edilir; bunlar potansiyel kanserojen etkisiyle çevrede uzun süre kalabilirler (Özkara ve ark., 2016).

Genel olarak, yukarıda bahsedilen ekolojik riskler ışığında, bu kitap bölümü ağır metallerin kaynaklarını ve ağır metal toksisitesinin bitki fizyolojisi üzerine olan etkilerini kapsamaktadır. Ayrıca ağır metallerin kontaminasyonu nedeniyle tarım topraklarının özelliklerinin nasıl değiştiği ve enfeksiyondan ölüme kadar farklı bitki türleri üzerindeki zararlı etkileri ve toksisitesi ele alınmıştır. Bu çalışmanın güncelliği,

hem ağır metallerin, toprakta ve bitkide birikerek insanlara nasıl ulaştığı ve ulaşma yolları hakkında bütünleşik bir bilgi sentezi sağlayacaktır.

2. AĞIR METAL KAYNAKLARI

Bilim insanları, ağır metal kaynaklarını iki grupta kategorize etmişlerdir. Tortul kayaçlar, volkanik püskürmeler, toprak oluşumu ve kaya aşınması gibi doğal kaynaklar, diğeri ise endüstri, tarım, madencilik ve evsel atık sularından ortaya çıkan antropojenik kaynaklardır (Roozbahani ve ark., 2015). Bununla birlikte, kirlilik göstergeleri de toprak antropojenik ve jeojenik kirliliğini karakterize etmek için etkili bir mekanizmadır. Bu çalışmada, literatürde birçok ağır metal türü bildirilmesine rağmen, ağırlıklı Cd, Pb, Cu ve Zn üzerine odaklanılmıştır.

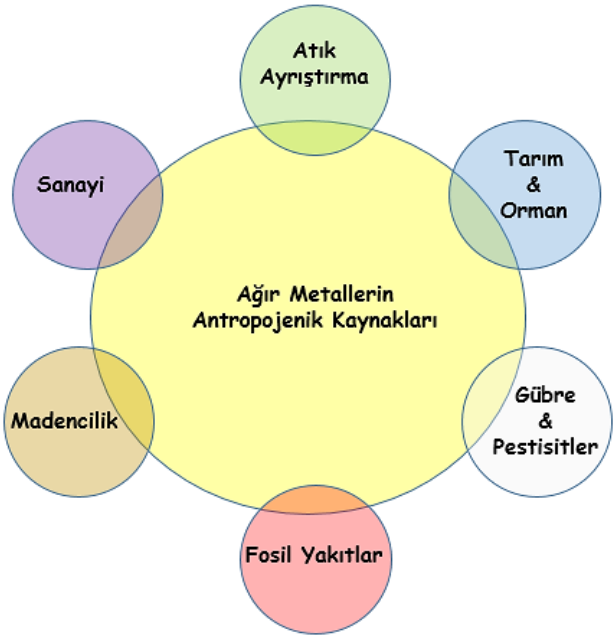
2.1. Ağır Metallerin Doğal Kaynakları

Doğal ağır metal kaynakları arasında magmatik ve tortul kayaçlar en yaygın olarak kabul edilir. Bir kaya türünde bulunan elementlerin değişen oranlarda olduğu ve farklı elementlerin oranlarının bir kaya türünden diğerine değiştiği tespit edilmiştir (Bradl, 2005). Diğer yandan, kayaların türüne ve çevredeki ekosistem koşullarına göre ağır metal konsantrasyonu belirlenebilir, Ayrıca nehir tortullarının yanı sıra toprak oluşumu da ağır metal birikiminin ana nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Sharma ve Agrawal, 2005).

2.2. Ağır metallerin antropojenik kaynakları

Fabrika işletmeleri, tarım, madencilik ve atık sular antropojenik ağır metal kaynaklarıdır. Örneğin Cu, Zn ve As'ın salınmasına neden olan

eritme işlemleri, As salınımına katkıda bulunan insektisitler, Hg üreten fosil yakıtların yakılması ve Pb salınımına yardımcı olan araba egzozu ekosistemdeki ağır metal konsantrasyonunun ve kirliliğin önemli ölçüde artmasına neden olur (Masindi ve Muedi, 2018). Ayrca çiftçilik ve imalat gibi günlük insan faaliyetleri de biyosferin dengesini bozmaktadır (He ve ark., 2005). Ağır metallerin önde gelen antropojenik kaynakları Resim 1'de göstermektedir.



Resim 1. Ağır metal kirliliğinin antropojenik kaynakları

2.3. Ağır metallerin zirai kaynakları

Agroekosistemler genellikle tarım uygulamalarının biyotik ve abiyotik yan ürünleri olarak bilinen tarımsal kirleticiler de dahil olmak üzere birçok kirletici türünden etkilenir ve sonuçta tarımsal ekosistemin kirlenmesine ve bozulmasına neden olur. Ağır metallerin tarımsal

kaynakları arasında gübreler, pestisitler ve kanalizasyon çamuru en yaygın olanlarıdır (Alloway, 2013).

Tarım arazileri ve bitkilerde ağır metal birikimi kaynağı olarak gübreler

Gübreler, bitki büyümesini ve üretkenliğini artırmaya ek olarak toprağın organik bileşenlerini yükselten maddelerdir (Meng ve ark., 2020). Gübreler organik (doğal) ve inorganik (sentetik) gübreler olarak sınıflandırılabilir. Organik (biyogübreler), anaerobik çürütme işleminden sonra amonyumlu gübreler (sülfat ve nitrat) olarak üretilir. Kimyasal işlem sonrası üretilen inorganik gübreler, inorganik maddeler ve kimyasal malzemelerin karışımından oluşur (Cai ve ark., 2019; Alengebawy ve ark., 2021). Her iki tür gübre türü de toprakta ağır metallerin birikmesinden sorumludur. Fosfor, hem gübre sentezinde yaygın olarak kullanılması hem de toprağa uygulanabilirliği nedeniyle bu birikimde önemli bir rol oynar (Chen ve ark., 2020). Özellikle fosfat içeren gübreler, kireçleme malzemeleri ve biyo-gübreler, tarım toprağında ağır metallerin salınımına katkıda bulunan ana inorganik gübre türleridir (Fan ve ark., 2018). Gübrelerin uzun süre ve aşırı kullanımı toprak verimliliğini azaltmakta ve dolayısıyla bitki büyümesini ve verimini düşürmektedir (Ai ve ark., 2020). Ağır metaller toprağı kirlettikten sonra toprak ortamını kurtarmak son derece zordur. Özellikle Cu, Zn ve Cd gibi ağır metaller uzun süreli gübre kullanımı sonucunda toprakta daha yüksek bir birikim potansiyeline sahiptir (Wang ve ark., 2020).

3. ÇEVRE KİRLETİCİ YÖNÜYLE PESTİSİTLER

2050 yılına kadar dünya nüfusunun 10 milyarı aşacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle gıdaya olan ihtiyaç artarak devam edecek ve ülke otoritesi bunun üstesinden gelmeye çalışacaktır (Gill ve Garg, 2014). Küresel olarak, yetiştirilen ürünlerdeki zararın yaklaşık 50.000'i bitki patojeni türü, 9000'i böcek ve akar türü ve 8000'i yabani ot türlerinden kaynaklanmaktadır (Zhang, 2018). Yanı sıra, bitkisel ürünlerdeki yaralanmalara bağlı kayıpların %13'ü bitki patojenleri, %14'ü böcek zararlıları ve %13'ü ise yabani otlardan ileri geldiği tahmin edilmektedir (Pimentel, 2009). Bu nedenle ekonomik açıdan zararın telafi edilmesi için pestisitlerin kullanımı kaçınılmazdır. Tahminlere göre, pestisitler dünya çapında toplam tarım ürünlerinin yaklaşık üçte birini koruyabilme yeteneğine sahiptir (Zhang ve ark., 2011). Güncel kaynaklara göre küresel olarak yaklaşık 2 milyon ton pestisit kullanılmaktadır ki bunun %47.5'i herbisitler, %29.5'i insektisit, %17.5'i fungisitler ve kalan %5.5'i diğer pestisitlerden oluşmaktadır (Sharma ve ark., 2019).

4. AĞIR METAL TOKSİSİTESİNİN TARIMSAL TOPRAK VE BİTKİLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Bilindiği üzere, yüksek düzeydeki ağır metal konsantrasyonları hem toprağı hem de bitkiyi olumsuz etkiler. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), toprak ve bitkideki ağır metal konsantrasyonlarının (mg Kg^{-1}) izin verilen limitlerini/ maksimum kalıntı limitlerini belirlemiştir (Tablo 1) (WHO, 1996). İzin verilen limitleri yüksek olan metaller güvenli kabul edilir. Toprakta, Pb'nin izin verilen sınırları en yüksek, ardından Zn ve

Cu gelirken, Cd'nin izin verilen sınırları ise en düşüktür. Bu limit değerleri, toprakta Cd birikiminin daha düşük bir konsantrasyonda bile Cu, Zn ve Pb'den daha toksik olduğu anlamına gelir. Bitkilerde Cu limiti en yüksek iken, bunu Pb, Zn ve Cd takip etmektedir. Toprağın aksine Cu en güvenli sınırlara sahipken, onu Pb ve Zn takip ederken, bitkilerde Cd birikimi en ciddi toksisiteye sahiptir.

Tablo 1. Toprak ve bitkilerdeki ağır metal konsantrasyonları için izin verilen sınırlar (WHO'dan modifiye edilmiştir).

	Ağır Metal Konsantrasyonu (mg/kg)			
	Pb	**Cu**	**Zn**	**Cd**
Bitki	2	10	0.6	0.02
Toprak	85	36	50	0.8

4.1. Ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkisi

Doğal olarak, bitki büyüme için gerekli elementlere ihtiyaç duysa da ağır metallere maruz kalmak bitkilere ciddi şekilde zarar verebilir. Ağır metaller parçalanamadıklarından dolayı, bitki içindeki konsantrasyonları optimum seviyeyi aştığında, bitkiyi hem doğrudan hem de dolaylı olarak olumsuz etkiler (Chibuike ve Obiora, 2014). Ağır metallerin bitkiler üzerindeki etkisi, metalli minerallerin ve maddelerin kök salgılarıyla etkileşime girdiği rizosferde başlar. Ağır metaller bitki hücrelerinde sitoplazmik enzimlerin inhibisyonu ve oksidatif stres nedeniyle hücre yapılarına hasar verir, ayrıca katyon değişim bölgelerinde temel besin maddelerinin değiştirilmesine neden olur (Assche ve Clijsters, 1990; Schaller ve Diez, 1991; Taiz ve Zeiger, 2002). Ayrıca topraktaki faydalı toprak mikroorganizmaları azaltarak

organik çürümeyi yavaşlatır ve bitki gelişimine müdahale edebilir, bazen bitkinin ölümüyle sonuçlanabilir (Jadia ve Fulekar, 2009). Cabala ve Teper (2007), Zn-Pb madenciliği ile kirlenen rizosfer toprakların bitki kökleri üzerine negatif etkiye sahip olduğunu ve bu süreçlerin rizosfer çözeltilerindeki metal iyon konsantrasyonlarını artırdığını bildirmiştir. Diğer yandan, bitkilerde Cd toksisitesi mineral eksikliğine neden olur (Nazar ve ark., 2012). Yüksek Pb konsantrasyonu, farklı fizyolojik ve biyokimyasal eksikliklere neden olabilir (Shahid ve ark., 2011). Ağır metaller aynı zamanda serbest radikaller üreterek hücre içi reaktif oksijen türleri (ROS) seviyelerinin yükselmesine neden olur, bu da sonuç olarak biyolojik moleküllere (örneğin proteinler, nükleik asitler, lipidler ve enzimler) zarar veren oksidatif strese neden olur. Tüm bu biyolojik moleküllerdeki kusur, DNA, hücre hasarı ve enzimsel reaksiyonların engellenmesi gibi birçok fizyolojik soruna neden olur ve sonuçta tüm bitkinin ölümüne yol açabilir (Wu ve ark., 2016).

4.1.1. Kadmiyum ve kurşun toksisitesinin bitkiler üzerine etkisi

Cd, insan kaynaklı ekosistemde var olan fakat gerekli olmayan ve tehlikeli bir ağır metal olarak kabul edilmektedir (Jibril ve ark., 2017). Hareketlilik, biyoyararlanım ve konsantrasyona göre, Cd iyonlarının çoğu bitki kökleri tarafından emilir; bununla birlikte kalan miktar doğrudan atmosfer tarafından absorbe edilebilir (Ismael ve ark., 2019). Cd, bitki hücrelerine kalsiyum (Ca) kanalları gibi diğer taşıyıcılar yoluyla da girer ve köklerde, sürgünlerde ve yenilebilir kısımlar gibi

bitkinin farklı organlarında birikir (Zhou ve ark., 2019). Bu birikim minerallerin taşınması, fotosentetik aparat ve besin alımı gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal inhibisyona yol açar (Feng ve ark., 2010). Ek olarak, demirin bitki sürgünlerine taşınmasını engelleyebilir (Schützendübel ve ark., 2002) ve bitki fenotipi (örneğin bitki ağırlığını ve kök ve sürgün uzunluğunu azaltma), sitotoksisite (örneğin klorofil içeriğini azaltma ve fotosentetik performansı engelleme) ve metabolik süreçler (örneğin kloroz ve hücre hasarı) üzerinde toksik etki yapabilir. Bununla birlikte, ağır metaller iletken dokulara ksilem tarafından taşınırken, kadmiyumun bu şekilde taşınmasının sınırlı olduğu rapor edilmiştir (Seregin ve Kozhevnikova, 2008; Gratão ve ark., 2009).

Cd ve Hg gibi, Pb de bitki gelişimi için gerekli değildir [108]. Yüksek toksisiteye sahip olan Pb, topraktan bitkiye kökler ve ksilem yoluyla taşınır ve Pb düşük konsantrasyonlarda bile bitkiler için ölümcül sonuçlara yol açar (Ashraf ve ark., 2017; Gupta ve ark., 2019; Chauhan ve ark., 2020). Bitkilerde Pb toksisitesi riski besin alımını azaltmakta, hücre zarının geçirgenliğini devre dışı bırakmakta, DNA hasarı, kök ve sürgün sistemlerinin tahrip olması ve enzimatik aktiviteleri etkilemek gibi fizyolojik sorunlara neden olmaktadır (Reddy ve ark., 2005; Gichner ve ark., 2008; Ashraf ve ark., 2015). Aynı zamanda bitkilerin yaş ağırlık ve bitki büyümesini etkilediği [116, 117], tohum çimlenmesini inhibe ettiği ve protein içeriğini azalttığı rapor edilmiştir (Ali ve Nas, 2018; Kushwaha ve ark. 2018)

4.1.2. Bakır ve çinko toksisitesinin bitkiler üzerine etkisi

Dünya çapında tüketim açısından Cu, üçüncü sırada yer almaktadır. Az miktarda Cu, bitki gelişimi, beslenme ve tohum üretimi için gerekli bir elementtir. Bununla birlikte, yüksek konsantrasyonlarda Cu çok toksik bir metal olarak kabul edilir (Chiou ve Hsu, 2019). Bitki tarafından Cu alımı, toprağın fizikokimyasal özellikleri ve bitkinin diğer fizyolojik parametreleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Bjuhr, 2007). Kök sistemi Cu iyonlarının topraktan alınmasından sorumlu olduğundan Cu konsantrasyonu köklerde (özellikle de kök epidermisinde) sürgünlerden daha yüksek seviyededir (Kopittke ve ark., 2011). Benzer şekilde Adrees ve ark. (2015) tarafından bu toksisitenin, fotosentez ve besinlerin modifikasyonu yoluyla ürün verimini azalttığı, klorofil biyosentezini düşürdüğü ve 5 mg Kg^{-1} konsantrasyonda dahi bitki verimliliğinde bir azalmaya yol açtığı rapor edilmiştir.

Zn, demirden sonra bitkiler dahil tüm organizmalar için kritik öneme sahip en kolay bulunan ve tüm enzimatik aktivitelerle ilişkili bir mikro elementtir (Broadley ve ark., 2007; Song ve ark., 2019). Çoğu durumda topraktan bitki köklerine Zn^{2+} olarak giren çinko, fotosentezin redoks tepkimelerinde hayati bir rol oynar (Hafeez, 2013). Bunun tersine kök veya sürgünlerinde mevcut yüksek konsantrasyon, bitkilerin fizyolojik süreçlerinde zararlı dalgalanmalara yol açarak bitki ölümlerine neden olur (Liang ve ark., 2019; Balafrej ve ark., 2020). Ebbs ve ark. (1997) tarafından yüksek Zn maruziyetinin bitki gelişiminin ilk dönemlerinde genç yapraklarda kloroza yol açtığını tespit edilmiştir. Hammerschmitt ve ark. (2020) ise genç şeftali ağacı üzerindeki Zn toksisitesinin bitki

kök sisteminde elementlerin yapraklara taşınmasını engellediğini ve kuru madde verimliliği de olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Diğer yandan bitkilerdeki bu kirliliğin bitki kök uzunluğunu ve fotosentez verimliliğini önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir (Song ve ark., 2019). Ağır metallerin yukarıda bahsedilen olumsuz etkilerinin bir özeti olarak, bazı ağır metallerin bitkiler üzerindeki en yaygın toksik etkileri Tablo 2'de özetlenerek liste halinde sunulmuştur.

Tablo 2. Farklı ağır metal toksisitesinin çeşitli bitkiler üzerindeki fizyolojik ve morfolojik etkisi (Chibuike ve Obiora, (2014)'ten alıntılanarak modifiye edilmiştir)

Sıra	Ağır metal	Bitki	Bitkideki Yaygın Toksik Etki	Referans
1	Cd	Buğday (Triticum sp.) Sarımsak (*Allium sativum*) Mısır (*Zea mays*) Marul *(Lactuca sativa)*	Tohum çimlenmesi, bitki besin içeriği, sürgün ve kök uzunluğunda azalma Sürgün büyümesinde düşüş ve Cd birikimi Sürgün ve kök gelişiminin inhibisyonu, bitki gelişimi ve protein içeriğinde düşüş Tohum çimlenmesini engeller, biyokütleyi azaltır, köklerin büyümesini ve gelişmesini engeller, mikrobiyal gelişimi olumsuzetkiler	[Ahmad ve ark., 2012; Yourtchi ve Bayat, 2013] [Jiang ve ark., 2001] [Wang ve ark., 2007; Ghani, 2010] [Vardhan veark., 2019]
2	Pb	Mısır (*Z. mays*) Portia ağacı (*Thespesia populnea*) Yulaf (*Avena sativa*) *Lythrum salicaria* Soya fasülyesi	Çimlenme yüzdesi, biyokütle ve protein içeriğinde azalma ve gelişim geriliği Yaprak sayısı, yaprak alanı, biyokütle ve bitki boyunda azalma ve düşüş CO_2 fiksasyonununda fonksiyonu olan enzim aktivitesinin engellenmesi Gövde ve yapraklarda ölüm (Cu ile kombine) Klorofil miktarında düşüş	[Hussain ve ark., 2013; Ghani, 2010] [Kabir ve ark., 2019] [Moustakas ve ark., 1994] [Nicholls ve Mal, 2003] [Diaconu ve ark., 2020]
3	Cu	Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) *Polygonum convolvulus* Rodos otu (*Chloris gayana*) *Lythrum salicaria*	Kök malformasyonu ve redüksiyonu Bitki ölümü; biyokütle ve tohum üretiminde azalma Kök büyümesinin azalması Gövde ve yapraklarda ölüm (Pb ile kombine)	[Cook ve ark., 1997] [Kjær ve Elmegaard, 1996] [Sheldon ve Menzies, 2005] [Nicholls ve Mal, 2003]
4	Zn	Salkım fasulyesi (*Cyamopsis tetragonoloba*) Bezelye (*P. sativum*) Çavdar otu (*L. perenne*)	Çimlenme yüzdesi, bitki boyu ve biyokütlede azalma, klorofil, karotenoid, şeker, nişasta ve amino asit içeriğinde düşüş Klorofil içeriğinde ve bitki büyümesinde azalma, kloroplast yapısında değişiklik, fotosistem II aktivitesinde azalma Yapraklarda Zn birikimi, bitki gelişimi ve besin içeriğinde gerileme, fotosentetik enerji reaksiyonlarının veriminde azalma	[Manivasagaperumal ve ark., 2011] [Doncheva ve ark., 2001] [Bonnet ve ark., 2000]
5	As	Pirinç (*Oryza sativa*) Domates (*Lycopersicon esculentum*) Kanola (*Brassica napus*)	Tohum çimlenmesi, fide yüksekliği, yaprak alanı ve kuru madde üretiminde azalma Meyve verimi ve yaprak taze ağırlığında azalma Yetersiz büyüme, kloroz vesolma	[Marin ve ark., 1993; Abedin ve ark., 2002] [Barrachina ve ark., 1995] [Cox ve ark., 1996]
6	Cr	Wheat (*Triticum* sp.) Tomato (*L. esculentum*) Onion (*Allium cepa*) Mısır (*Zea mays*)	Sürgün ve kök büyümesinde düşüş Bitki besin alımında azalma Çimlenme sürecinin inhibisyonu ve bitki biyokütlesinin azaltılması Bitki gelişimi ve protein içeriğinde düşüş	[Sharma ve Sharma, 1993; Panda ve Patra, 2000] [Moral ve ark., 1995; Moral ve ark., 1996] [Nematshahi ve ark., 2012] [Ghani, 2010]

7	Hg	Pirinç (*O. sativa*) Domates (*L. esculentum*)	Bitki boyunda azalma, yetersiz başak oluşumu, fidelerin sürgün ve köklerinde biyobirikim Çimlenme yüzdesi, bitki boyu, çiçeklenme ve meyve ağırlığında azalma, kloroz	[Kibra, 2008; Du ve ark., 2005] [Shekar ve ark., 2011]
8	Ni	Güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan*) Çavdar otu (*Lolium perenne*) Buğday (*Triticum* sp.) Pirinç (*O. sativa*)	Klorofil içeriği ve stoma iletkenliğinde azalma, Calvin döngüsü ve CO_2 fiksasyonunda görevli enzimlerin etkinliğinde düşüş Besin maddesi alımında ve sürgün veriminde azalma, kloroz Besin alımında azalma Kök büyümesinin inhibisyonu	[Sheoran ve ark., 1990] [Khalid ve Tinsley, 1980] [Pandolfini ve ark., 1980; Barsukova ve Gamzikova, 1999] [Lin ve Kao, 2005]
9	Mn	Bakla (*Vicia faba*) Nane (*Mentha spicata*) Bezelye (*Pisum sativum*) Domates (*L. esculentum*) Mısır (*Z. mays*)	Kök, sürgün ve kök uzunluğunda azalma; kloroz Klorofil a ve karotenoid içeriğinde azalma; bitki köklerinde Mn birikimi Klorofil a ve b içeriği, nispi büyüme oranı, fotosentetik O_2 evrimi aktivitesi ve fotosistem II aktivitesinde azalma Yavaş bitki gelişimi ve klorofil konsantrasyonunda azalma Bitki gelişimi ve protein içeriğinde düşüş	[Arya ve Roy, 2011] [Asrar ve ark., 2005] [Doncheva ve ark., 2005] [Shenker ve ark., 2004] [Ghani, 2010]
10	Co	Domates (*L. esculentum*) Maş fasulyesi (*Vigna radiata*) Turp (*Raphanus sativus*) Mısır (*Zea mays*)	Bitki besin içeriğinde azalma Antioksidan enzim aktiviteleri, bitki şekeri, nişasta, amino asitler ve protein içeriğinde azalma Sürgün, kök ve toplam yaprak sayısında düşüş, klorofil içeriği, bitki besin içeriği (şekeri, amino asit ve protein) ve antioksidan enzim aktivitesinde azalma Bitki gelişimi ve protein içeriğinde düşüş	[Jayakumar ve ark., 2011] [Jayakumar ve ark., 2008] [Jayakumar ve ark., 2007] [Ghani, 2010]

4.2. Ağır metal toksisitesinin tarım topraklarına etkisi

Ağır metaller toprağın bir parçası olarak kabul edilmektedir. Ancak çok yoğun olduklarında toprağa ve bitkilere ciddi zararlar verdikleri için toksik olarak kabul edilirler (Osmani ve ark., 2015). Güney Polonya'da yürütülen bir maden sahasının etrafındaki tarım ve orman topraklarında Cd, Pb ve Zn konsantrasyonları sırasıyla 200, 25 ve 20 mg Kg^{-1} olarak bulunmuştur (Chrastný ve ark., 2012). Çeşitli toprak katmanlarındaki ağır metal içeriğini belirlemek için farklı gelişmiş kirlilik

göstergelerinin kullanıldığı Güney Polonya'daki Yukarı Silezya sanayi bölgesinde yürütülen başka bir çalışmada, ağır metal konsantrasyonunun sığ katmanlarda Pb > Cd > Zn şeklinde olurken derin katmanlarda iken Zn > Cd > Pb şeklinde olduğu tespit edilmiştir (Sutkowska ve ark., 2020).

4.2.1. Kadmiyum ve kurşun toksisitesi

Gelişen tarım teknolojisi, ekonomik devrim ve endüstrinin hızlı gelişimi nedeniyle toprakta Cd birikimi her yerde görülen güncel bir sorun haline gelmiştir. Genellikle toprak pH'ı ve organik madde içeriği Cd birikiminden etkilenen başlıca faktörlerdir. Toprak pH'ının düşmesiyle, Cd biyoyararlanımı artar ve bu da toprak özelliklerinde bir sapmaya neden olmaktadır. 2015 yılında Zeng ve ark., (2015), Çin'in Hunan eyaletinin üç tarım alanında ağır metal birikimini incelemişlerdir. Her bir alandaki ağır metallerin içeriğinin incelendiği çalışmada Cd (1.40 mg kg^{-1}) ve Hg (14.9 mg kg^{-1})'nin miktarının çevresel kalite standartlarını aşacak şekilde olduğu kaydedilmiştir. Buna karşılık, batılı bir ülke örneği olarak, Chrastný ve ark. (2015), Olkusz'da (Polonya) topraktaki Cd izotop bileşimini incelemişlerdir. Çalışma kapsamındaki iki çayır ve üç orman toprağındaki Cd izotop bileşikleri, orman toprağı profilindeki üst topraklarında en ağır olduğunu ve en hafiflerin ise daha derin toprakların humus tabakasında olduğunu ortaya koymuşlardır. Liao ve ark. (2005) tarafından yürütülen kapsamlı bir çalışmada, Cd'nin çeltik toprağı özellikleri üzerindeki toksik etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmaya göre, kadmiyum topraktaki mikrobiyal aktiviteler, mikrobiyal büyüme ve mikrobiyal

metabolik süreçler üzerinde inhibitör etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Raiesi ve Sadeghi (2019) ise Cd ve tuzluluğun toprak mikroorganizmaları ve enzimatik aktiviteleri üzerinde olumsuz yönde sinerjik etki gösterdiğini rapor etmişlerdir. İkisi birlikte topraktaki mikrobiyal solunumun ve mikrobiyal biyokütle içeriğinin azalmasına da neden olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, An et al. (2004), Cd'nin toprakta oldukça hareketli olduğunu, temel mikroorganizmaları etkilediğini, mikrobiyal aktiviteleri inhibe ettiğini ve topraktaki organik maddeyi emdiğini ve ayrıca toprağın fizikokimyasal özelliklerini değiştirdiğini rapor etmişlerdir.

Ağır metal kirleticisi olarak Pb, toprak üzerinde yüksek toksisiteye sahiptir (Qi ve ark., 2018). Topraktaki Pb kontaminasyonu toprak besinlerini, mikrobiyal çeşitliliği ve toprak verimliliğini azaltmak gibi çeşitli sonuçlar doğurabilir (Dotaniya ve ark., 2020). Ayrıca, solucanlarda (*Eisenia fetida*) da Pb toksisitesine bağlı ölümler meydana gelebilir. Diğer yandan, Vega ve ark. (2010), toprak pH'sı ve katyon değişim kapasitesinin Pb birikiminden etkilenen önemli parametreler olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Kumar ve ark. (2020), Pb birikiminin bitkinin absorpsiyon sistemini etkilediğini ve Pb çözünürlüğü ile toprak pH'ı arasında negatif bir korelasyon varlığını belirtmiştir. Kurşun, toprak emme kapasitesini ve topraktaki hümik asit içeriğini de etkilemektadir (Placek ve ark., 2016). Ayrıca Khan ve ark. (2010) tarafından Pb ve Cd'nin toprak mikrobiyal topluluklarını (bakteri ve aktinomisetler) aşırı derecede etkilendiğini ve onların bazı enzim aktivitelerinde inhibisyona yol açtığını rapor etmişlerdir.

4.2.2. Bakır ve çinko toksisitesi

Bakır, bitkiler için gerekli olan önemli bir mikro besin olmasının yanı sıra toprak için de önemli bir elementtir. Fakat bakır konsantrasyonunun optimum üstü seviyelerde olması Cu toksisitesi olarak ifade edilir (Vlcek ve Pohanka, 2018). Tarım toprağında Cu varlığı genellikle toprak pH'sı gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Keiblinger ve ark., 2018). Yüksek birikim genellikle Cu bazlı fungusitlerin kullanımından veya diğer tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Doğal olarak, tarım toprağındaki Cu konsantrasyonu aralığı 5 ile 30 mg kg^{-1} arasındadır, ancak bu seviye toprağın durumuna ve konumuna bağlı olarak değişebilir (Brun ve ark., 2003). Caetano ve ark. (2016) tarafından Portekiz'de toprakta Cu toksisitesi incelenmiş ve bu kirliliğin topraktaki organik maddeleri ayrıştıran hücre dışı enzimlerden biri olan üreaz aktivitesini negatif etkilediği ortaya çıkarılmıştır (Cordero ve ark., 2016). Benzer şekilde çok sayıda çalışma, Cu toksisitesinin toprak mikrobiyal aktivitelerinde inhibisyon, mikroorganizmaların hücre zarında tahribiyet ve protein denatürasyonuna neden olabileceğini göstermiştir (El-Ghamry ve ark., 2000; Gülser ve Erdoğan, 2008). Wang ve ark. (2019), Cu'nun toprak mikroorganizmaları ve mikrobiyal biyokütleler üzerindeki toksik etkisinin Bakteriler>aktinomisetler>funguslar şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir. Frenk ve ark. (2013) ise nano ölçekli bakırın bakır oksit (CuO) formunun Rhizobiales gibi mikrobiyal toprak grupları üzerindeki olumsuz etkisini göstermiştir. Uygulanan CuO konsantrasyonu, sadece %1 olmasına rağmen oksidasyon

potansiyelinde önemli bir azalmaya yol açtığı saptanmıştır. Benzer şekilde bakırın 200 mg kg^{-1}'in üzerindeki konsantrasyonlarının tarımsal toprak fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiye yol açtığı belirlenmiştir (Shaw ve ark., 2020).

Zn, bitkilerin büyüme hormonlarını ve proteinlerini destekleyen, metabolik ve fizyolojik süreçlerinde aktif rol alan önemli bir iz elementtir (Babar, 2013). Bunun aksine yüksek Zn, topraktaki yararlı bakterileri üzerine olumsuz etkiye sahiptir (Mertens ve ark., 2013). Toksisite durumunda çinko, hücre performansı için çok önemli olan belirli katyonların yerini alarak toprak enziminin aktif bölgeleri ile ilişki içerisine girer (Łukowski ve Dec, 2018). Pietrzykowski ve ark. (2018) güney Polonya'da bulunan kirlenmiş topraktaki Zn konsantrasyonunun 10638 mg Kg^{-1} olduğunu ve bu tür toprağın bitkilere ve insanlara büyük zarar verecek şekilde izin verilen sınırları aştığını tespit etmiştir. Ciarkowska ve ark. (2016) ve Wyszkowska ve ark. (2013) yürüttükleri çalışmalarda, bu toksisitenin toprak homeostazisini değiştirdiğini ve mikrobiyal enzimatik aktivitelerde inhibisyona neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Sonuç

Bu kitap bölümü, ağır metallerin ekosistemin iki önemli bileşeni (toprak, bitkiler ve insanlar) üzerindeki toksik etkileri kapsamlı bir şekilde tartışılmış ve buna bağlı ortaya çıkan sonuçlar vurgulanmıştır. Ağır metaller besin zinciri yoluyla aynı zamanda insan sağlığı için de zararlı etkilere sahiptir. Toksisiteden, çocuklar ve yetişkinlerin çeşitli vücut sistemleri ile birlikte farklı vücut organları da etkilenebilir ve

buna bağlı olarak nörodejeneratif bozukluklar, kas-iskelet sistemi hastalıkları ve eşey hormonlarında dengesizlikler ortaya çıkabilir.

Ekolojik çevrede ağır metal birikimine bağlı toksisite doğal kaynaklardan olabildiği gibi insan kaynaklı farklı aktivitelerden ortaya çıkabilir. Ağır metallerin izin verilen limitlerini veya maksimum kalıntı limitlerini aşması tarımsal arazi toprakları, burada yaşayan mikroorganizmalar ve toprakta yetiştirilen bitki türleri üzerinde geri dönüşümsüz zararlara yol açar. Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yetişen bitkiler, fizyolojik ve biyokimyasal aktivitelerindeki değişikliklerden dolayı gelişimleri ve verimlerinde azalma eğilimi gösterirler. Sürdürülebilir tarım ve daha yaşanabilir bir çevre açısından yukarıda sıralanan özellikle antropojenik yönden insana bağlı olan ağır metal kirliliklerinin önüne geçmek için yeterince çaba gösterilmesi önerilmektedir. Ayrıca yerkürenin geleceği açısından çevresel toksik maddelerin fitoremediasyonu ve biyoremediasyonuna yönelik yeni yaklaşımlar hakkında daha fazla araştırma yürütülmesi gerektiğini öneriyoruz.

REFERANSLAR

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.

Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Zia-ur-Rehman, M., Irshad, M.K., Bharwana, S.A. (2015). The effect of excess copper on growth and physiology of important food crops: A review. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 8148–8162.

Ahmad I., Akhtar M. J., Zahir Z. A., Jamil A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany*. 44(5): 1569–1574.

Ai, P., Jin, K., Alengebawy, A., Elsayed, M., Meng, L., Chen, M., Ran, Y. (2020). Effect of application of different biogas fertilizer on eggplant production: Analysis of fertilizer value and risk assessment. Environ. Technol. Innov. 19: 101019.

Alengebawy, A., Jin, K., Ran, Y., Peng, J., Zhang, X., Ai, P. (2021). Advanced pre-treatment of stripped biogas slurry by polyaluminum chloride coagulation and biochar adsorption coupled with ceramic membrane filtration. Chemosphere. 267: 129197.

Ali, H., Khan, E., Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. J. Chem. 1-14.

Ali, M., Nas, F.S. (2018). The effect of lead on plants in terms of growing and biochemical parameters: A review. MOJ Ecol. Environ. Sci. 3: 265–268.

Alloway, B.J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability; Alloway, B.J., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands. 11–50.

An, Y.J. (2004). Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants. Environ. Pollut. 127: 21–26.

Arya S. K., Roy B. K. (2011). Manganese induced changes in growth, chlorophyll content and antioxidants activity in seedlings of broad bean (*Vicia faba* L.). *Journal of Environmental Biology*. 32(6): 707–711.

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. Front. Plant Sci. 8: 259.

Ashraf, U., Kanu, A.S., Mo, Z., Hussain, S., Anjum, S.A., Khan, I., Abbas, R.N., Tang, X. (2015). Lead toxicity in rice: Effects, mechanisms, and mitigation strategies—a mini review. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 18318–18332.

Asrar Z., Khavari-Nejad R. A., Heidari H. (2005). Excess manganese effects on pigments of *Mentha spicata* at flowering stage. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 51(1): 101–107.

Assche F., Clijsters H. (1991). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant, Cell and Environment*. 24: 1–15.

Babar, H. (2013). Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. American Journal of Experimental Agriculture. 3. 374-391. 10.9734/AJEA/2013/2746.

Balafrej, H., Bogusz, D., Abidine Triqui, Z.E., Guedira, A., Bendaou, N., Smouni, A., Fahr, M. (2020). Zinc hyperaccumulation in plants: A review. Plants. 9: 562.

Barrachina A. C., Carbonell F. B., Beneyto J. M. (1995). Arsenic uptake, distribution, and accumulation in tomato plants: effect of arsenite on plant growth and yield. *Journal of PlantNutrition*. 18(6): 1237–1250.

Barsukova V. S., Gamzikova O. I. (1999). Effects of nickel surplus on the element content in wheat varieties contrasting in Ni resistance. *Agrokhimiya*. 1: 80–85.

Bhunia, P. (2017). Environmental Toxicants and Hazardous Contaminants: Recent Advances in Technologies for Sustainable Development. J. Hazard. Toxic. Radioact. Waste. 21 (4): 02017001.

Bjuhr, J. (2007). race metals in soils irrigated with waste water in a periurban area downstream Hanoi City, Vietnam. Semin. Pap. 1–50.

Bonnet M., Camares O., Veisseire P. (2000). Effects of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo). *Journal of Experimental Botany*. 51(346): 945–953.

Bradl, H.B. (2005). Sources and origins of heavy metals. In Interface Science and Technology; Bradl, H.B., Ed.; Elsevier B.V. London, UK. 6: 1–27.

Broadley, M.R., White, P.J., Hammond, J.P., Zelko, I., Lux, A. (2007). Zinc in plants: Tansley review. New Phytol. 173: 677–702.

Brun, L.A., Le Corff, J., Maillet, J. (2003). Effects of elevated soil copper on phenology, growth and reproduction of five ruderal plant species. Environ. Pollut. 122: 361–368.

Cabala, J., Teper, L. (2007). Metalliferous constituents of rhizosphere soils contaminated by Zn-Pb mining in southern Poland. Water. Air. Soil Pollut. 178: 351–362.

Caetano, A.L., Marques, C.R., Gonçalves, F., da Silva, E.F., Pereira, R. (2016). Copper toxicity in a natural reference soil: Ecotoxicological data for the derivation of preliminary soil screening values. Ecotoxicology. 25: 163–177.

Cai, L.M., Wang, Q.S., Wen, H.H., Luo, J., Wang, S. (2019). Heavy metals in agricultural soils from a typical township in Guangdong Province, China: Occurrences and spatial distribution. Ecotoxicol. Environ. Saf. 168: 184–191.

Chauhan, P., Rajguru, A.B., Dudhe, M.Y., Mathur, J. (2020). Efficacy of lead (Pb) phytoextraction of five varieties of *Helianthus annuus* L. from contaminated soil. Environ. Technol. Innov. 18: 100718.

Chen, X.X., Liu, Y.M., Zhao, Q.Y., Cao, W.Q., Chen, X.P., Zou, C.Q. (2020). Health risk assessment associated with heavy metal

accumulation in wheat after long-term phosphorus fertilizer application. Environ. Pollut. 262: 114348.

Chibuike, G. U., Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*. 1–12. doi:10.1155/2014/752708

Chin, N.P. (2010). Environmental toxins: Physical, social, and emotional. Breastfeed. Med. 5: 223–224.

Chiou,W.Y., Hsu, F.C. (2019). Copper toxicity and prediction models of copper content in leafy vegetables. Sustainability. 11: 6215.

Cho-Ruk, K., Kurukote, J., Supprung, P., Vetayasuporn, S. (2006). Perennial plants in the phytoremediation of lead-contaminated soils. Biotechnology. 5, 1–4.

Chrastný, V., Cˇadková, E., Vaneˇk, A., Teper, L., Cabala, J., Komárek, M. (2015). Cadmium isotope fractionation within the soil profile complicates source identification in relation to Pb-Zn mining and smelting processes. Chem. Geol. 405: 1–9.

Chrastný, V., Vanˇek, A., Teper, L., Cabala, J., Procházka, J.; Pechar, L., Drahota, P., Penížek, V., Komárek, M., Novák, M. (2012). Geochemical position of Pb, Zn and Cd in soils near the Olkusz mine/smelter, South Poland: Effects of land use, type of contamination and distance from pollution source. Environ. Monit. Assess. 184: 2517–2536.

Ciarkowska, K., Gargiulo, L., Mele, G. (2016). Natural restoration of soils on mine heaps with similar technogenic parent material: A case study of long-term soil evolution in Silesian-Krakow Upland Poland. Geoderma. 261: 141–150.

Cook C.M., Kostidou A., Vardaka E., Lanaras T. (1997). Effects of copper on the growth, photosynthesis and nutrient concentrations of *Phaseolus* plants. *Photosynthetica.* 34(2): 179–193.

Cooper, J., Dobson, H. (2007). The benefits of pesticides to mankind and the environment. Crop Prot. 26, 1337–1348.

Cordero, I., Snell, H., Bardgett, R.D. (2019). High throughput method for measuring urease activity in soil. Soil Biol. Biochem. 134: 72–77.

Cox M. S., Bell P. F., Kovar J. L. (1996). Differential tolerance of canola to arsenicwhen grown hydroponically or in soil. *Journal of Plant Nutrition*. 19, (12): 1599–1610.

Damalas, C.A., Eleftherohorinos, I.G. (2011). Pesticide Exposure, Safety Issues, and Risk Assessment Indicators. Int. J. Environ. Res. Public Health. 8, 1402–1419.

Diaconu, M., Pavel, L.V., Hlihor, R.M., Rosca, M., Fertu, D.I., Lenz, M., Corvini, P.X., Gavrilescu, M. (2020). Characterization of heavy metal toxicity in some plants and microorganisms—A preliminary approach for environmental bioremediation. N. Biotechnol. 56: 130–139.

Doncheva S., Georgieva K., Vassileva V., Stoyanova Z., Popov N., Ignatov G. (2005). Effects of succinate on manganese toxicity in pea plants. *Journal of Plant Nutrition*. 28(1): 47–62.

Doncheva S., Stoynova Z., Velikova V. (2001). Influence of succinate on zinc toxicity of pea plants. *Journal of Plant Nutrition.* 24(6): 789–804.

Dotaniya, M.L., Dotaniya, C.K., Solanki, P., Meena, V.D., Doutaniya, R.K. (2020). Lead Contamination and Its Dynamics in Soil–Plant System. In Lead in Plants and the Environment; Gupta, D.K., Chatterjee, S.,Walther, C., Eds.; Springer: Cham, Switzerland. 83–98.

Du X., Zhu Y.-G., Liu W.-J., Zhao X.-S. (2005). Uptake ofmercury (Hg) by seedlings of rice (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture and interactions with arsenate uptake. *Environmental and Experimental Botany*. 54(1): 1–7.

Ebbs, S.D., Kochian, L.V. (1997). Toxicity of Zinc and Copper to Brassica Species: Implications for Phytoremediation. J. Environ. Qual. 26: 776–781.

El-Ghamry, A.M., Subhani, A., Mohd W., Changyong H., Zhengmiao X. (2000). Effects of Copper Toxicity on Soil Microbial Biomass. Pakistan Journal of Biological Sciences. 3. 10.3923/pjbs.2000.907.910.

Fan, Y., Li, Y., Li, H., Cheng, F. (2018). Evaluating heavy metal accumulation and potential risks in soil-plant systems applied with magnesium slag-based fertilizer. Chemosphere. 197: 382–388.

Feng, J., Shi, Q., Wang, X., Wei, M., Yang, F., Xu, H. (2010). Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. Sci. Hortic. (Amsterdam). 123: 521–530.

Frenk, S., Ben-Moshe, T., Dror, I., Berkowitz, B., Minz, D. (2013). Effect of metal oxide nanoparticles on microbial community

structure and function in two different soil types. PLoS ONE. 8: e84441.

Ghani A. (2010). Toxic effects of heavy metals on plant growth and metal accumulation in maize (*Zea mays* L.). *Iranian Journal of Toxicology*. 3(3): 325–334.

Gichner, T., Žnidar, I., Száková, J. (2008). Evaluation of DNA damage and mutagenicity induced by lead in tobacco plants. Mutat. Res. -Genet. Toxicol. Environ. Mutagen. 652: 186–190.

Gill, H.K., Garg, H. (2014). Pesticide: Environmental impacts and management strategies. Pestic. Asp. 8: 187.

Gratão, P.L.; Monteiro, C.C.; Rossi, M.L.; Martinelli, A.P.; Peres, L.E.P.; Medici, L.O.; Lea, P.J.; Azevedo, R.A. (2009). Differential ultrastructural changes in tomato hormonal mutants exposed to cadmium. Environ. Exp. Bot. 67: 387–394.

Gülser, F., Erdoğan, E. (2008). The effects of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils. Environ. Monit. Assess. 145: 127–133.

Gupta, N., Yadav, K.K., Kumar, V., Kumar, S., Chadd, R.P., Kumar, A. (2019). Trace elements in soil-vegetables interface: Translocation, bioaccumulation, toxicity and amelioration - A review. Sci. Total Environ. 651: 2927–2942.

Hafeez, B. (2013). Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review. Am. J. Exp. Agric. 3: 374–391.

Hammerschmitt, R.K., Tiecher, T.L., Facco, D.B., Silva, L.O.S., Schwalbert, R., Drescher, G.L., Trentin, E., Somavilla, L.M., Kulmann, M.S.S., Silva, I.C.B., et al. (2020). Copper and zinc

distribution and toxicity in ‘Jade’/‘Genovesa’ young peach tree. Sci. Hortic. 259: 108763.

He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J. (2005). Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. J. Trace Elem. Med. Biol. 19: 125–140.

Hussain A., Abbas N., Arshad F. et al. (2013). Effects of diverse doses of lead (Pb) on different growth attributes of *Zea mays* L. *Agricultural Sciences*. 4(5): 262–265.

Ismael, M.A., Elyamine, A.M., Moussa, M.G., Cai, M., Zhao, X., Hu, C. (2019). Cadmium in plants: Uptake, toxicity, and its interactions with selenium fertilizers. Metallomics. 11: 255–277.

Jadia C. D., Fulekar M. H. (2009). Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. *African Journal of Biotechnology*. 8(6): 921–928.

Jayakumar K., Jaleel C. A., Azooz M. M. (2008). Phytochemical changes in green gram (*Vigna radiata*) under cobalt stress. *Global Journal of Molecular Sciences*. 3(2): 46–49.

Jayakumar K., Jaleel C. A., Vijayarengan P. (2007). Changes in growth, biochemical constituents, and antioxidant potentials in radish (*Raphanus sativus* L.) under cobalt stress. *Turkish Journal of Biology*. 31(3): 127–136.

Jayakumar K., Rajesh M., Baskaran L., Vijayarengan P. (2013). Changes in nutritional metabolism of tomato (*Lycopersicon esculantum* Mill.) plants exposed to increasing concentration of cobalt chloride. *International Journal of Food Nutrition and Safety*. 4(2): 62–69.

Jiang W., Liu D., Hou W. (2001). Hyperaccumulation of cadm ium by roots, bulbs and shoots of garlic. *Bioresource Technology*. 76(1): 9–13.

Jibril, S.A., Hassan, S.A., Ishak, C.F., Megat Wahab, P.E. (2017). Cadmium Toxicity Affects Phytochemicals and Nutrient Elements Composition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). Adv. Agric. 2017: 1–7.

Kabir M., Iqbal M. Z., Shafiq and M. (2009). Effects of lead on seedling growth of *Thespesia populnea* L. *Advances in Environmental Biology*. 3(2): 184–190.

Keiblinger, K.M., Schneider, M., Gorfer, M., Paumann, M., Deltedesco, E., Berger, H., Jöchlinger, L., Mentler, A., Zechmeister-Boltenstern, S., Soja, G., et al. (2018). Assessment of Cu applications in two contrasting soils—effects on soil microbial activity and the fungal community structure. Ecotoxicology. 27: 217–233.

Khalid B. Y., Tinsley J. (1980). Some effects of nickel toxicity on rye grass. *Plant and Soil*. 55(1): 139–144.

Khan, S., Hesham, A.E.L., Qiao, M., Rehman, S., He, J.Z. (2010). Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities. Environ. Sci. Pollut. Res. 17: 288–296.

Kibra M. G. (2008). Effects of mercury on some growth parameters of rice (*Oryza sativa* L.). *Soil & Environment*. 27(1): 23–28.

Kjær C., Elmegaard N. (1996). Effects of copper sulfate on black bindweed (*Polygonum convolvulus* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 33(2): 110–117.

Kopittke, P.M., Menzies, N.W., de Jonge, M.D., Mckenna, B.A., Donner, E., Webb, R.I., Paterson, D.J., Howard, D.L., Ryan, C.G., Glover, C.J., et al. (2011). In situ distribution and speciation of toxic copper, nickel, and zinc in hydrated roots of cowpea. Plant Physiol. 156: 663–673.

Kumar, A., Kumar, A., Cabral-Pinto, M., Chaturvedi, A.K., Shabnam, A.A., Subrahmanyam, G., Mondal, R., Gupta, D.K., Malyan, S.K., Kumar, S.S., et al. (2020). Lead toxicity: Health hazards, influence on food Chain, and sustainable remediation approaches. Int. J. Environ. Res. Public Health. 17: 2179.

Kushwaha, A., Hans, N., Kumar, S., Rani, R. (2018). A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. Ecotoxicol. Environ. Saf. 147: 1035–1045.

Lefrancq, M., Imfeld, G., Payraudeau, S., Millet, M. (2013). Kresoxim methyl deposition, drift and runoff in a vineyard catchment. Sci. Total Environ. 442, 503–508.

Li, Z., Ma, Z., van der Kuijp, T.J., Yuan, Z., Huang, L. (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. Sci. Total Environ. 468–469: 843–853.

Liang, J., Yang,W. (2019). Effects of Zinc and Copper Stress on Antioxidant System of Olive Leaves. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 300: 52058.

Liao, M., Luo, Y.K., Zhao, X.M., Huang, C.Y. (2005). Toxicity of cadmium to soil microbial biomass and its activity: Effect of

incubation time on Cd ecological dose in a paddy soil. J. Zhejiang Univ. Sci. 6: 324–330.

Lin Y.-C., Kao C.-H. (2005). Nickel toxicity of rice seedlings: Cell wall peroxidase, lignin, and NiSO4-inhibited root growth. *Crop, Environment Bioinformatics*. 2: 131–136.

Liu, Y., Li, S., Ni, Z., Qu, M., Zhong, D., Ye, C., Tang, F. (2016). Pesticides in persimmons, jujubes and soil from China: Residue levels, risk assessment and relationship between fruits and soils. Sci. Total Environ. 542, 620–628.

Łukowski, A., Dec, D. (2018). Influence of Zn, Cd, and Cu fractions on enzymatic activity of arable soils. Environ. Monit. Assess. 190: 278.

Manivasagaperumal R., Balamurugan S., Thiyagarajan G., Sekar J. (2011). Effect of zinc on germination, seedling growth and biochemical content of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub). *Current Botany*. 2(5): 11–15.

Marin A. R., Pezeshki S. R., Masscheleyn P. H., Choi H. S. (1993). Effect of dimethylarsinic acid (DMAA) on growth, tissue arsenic and photosynthesis of rice plants. *Journal of Plant Nutrition*. 16(5): 865–880.

Masindi, V., Muedi, K.L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. In Heavy Metals; Saleh, H.E.-D.M., Aglan, R.F., Eds.; IntechOpen: london, UK. pp. 115–132.

Meng, L., Alengebawy, A., Ai, P., Jin, K., Chen, M., Pan, Y. (2020). Techno-Economic Assessment of Three Modes of Large-Scale Crop Residue Utilization Projects in China. Energies. 13, 3729.

Mertens, J., Smolders, E. (2013). Zinc. In Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability; Alloway, B.J., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands. Volume 22, pp. 465–493.

Moral R., Gomez I., Pedreno J. N., Mataix J. (1996). Absorption of Cr and effects on micronutrient content in tomato plant (*Lycopersicum esculentum* M.). *Agrochimica*. 40(2-3): 132–138.

Moral R., Navarro Pedreno J., Gomez I., Mataix J. (1995). Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. *Journal of Plant Nutrition.* 18(4): 815–822.

Moustakas M., Lanaras T., Symeonidis L., Karataglis S. (1994). Growth and some photosynthetic characteristics of field grown *Avena sativa* under copper and lead stress. *Photosynthetica.* 30(3): 389–396.

Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M.I.R., Syeed, S., Khan, N.A. (2012). Cadmium Toxicity in Plants and Role of Mineral Nutrients in Its Alleviation. Am. J. Plant Sci. 3: 1476–1489.

Nematshahi N., Lahouti M., Ganjeali A. (2012). Accumulation of chromium and its effect on growth of (*Allium cepa* cv. Hybrid). *European Journal of Experimental Biology*. 2(4): 969–974.

Nicholls A. M., Mal T. K. (2003). Effects of lead and copper exposure on growth of an invasive weed, *Lythrum salicaria* L. (Purple Loosestrife). *Ohio Journal of Science*. 103(5): 129–133.

Osmani, M., Bani, A., Hoxha, B. (2015). Heavy Metals and Ni Phytoextractionin in the Metallurgical Area Soils in Elbasan. Albanian J. Agric. Sci. 14: 414–419.

Özkara, A., Akyıl, D., Konuk, M. (2016). Pesticides, environmental pollution, and health. In Environmental Health Risk-Hazardous Factors to Living Species; Larramendy, M.L., Soloneski, S., Eds.; IntechOpen: london, UK.

Panda S. K., Patra H. K. (2000). Nitrate and ammonium ions effect on the chromium toxicity in developing wheat seedlings. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India.* 70: 75-80.

Pandolfini T., Gabbrielli R., Comparini C. (1992). Nickel toxicity and peroxidase activity in seedlings of *Triticum aestivum* L. *Plant, Cell and Environment*. 15(6): 719–725.

Pastor, S., Creus, A., Parrón, T., Cebulska-Wasilewska, A., Siffel, C., Piperakis, S., Marcos, R. (2003). Biomonitoring of four European populations occupationally exposed to pesticides: Use of micronuclei as biomarkers. Mutagenesis. 18, 249–258.

Pietrzykowski, M., Antonkiewicz, J., Gruba, P., Pajak, M. (2018). Content of Zn, Cd and Pb in purple moor-grass in soils heavily contaminated with heavy metals around a zinc and lead ore tailing landfill. Open Chem. 16: 1143–1152.

Pimentel, D. (2009). Pesticides and pest control. In Integrated pest management: Innovation-development process; Peshin, R., Dhawan, A.K., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands. 83–87.

Placek, A., Grobelak, A., Kacprzak, M. (2016). Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge. Int. J. Phytoremediation. 18: 605–618.

Qi, X., Xu, X., Zhong, C., Jiang, T., Wei,W., Song, X. (2018). Removal of Cadmium and Lead from Contaminated Soils Using Sophorolipids from Fermentation Culture of *Starmerella bombicola* CGMCC 1576 Fermentation. Int. J. Environ. Res. Public Health. 15: 2334.

Raiesi, F., Sadeghi, E. (2019). Interactive effect of salinity and cadmium toxicity on soil microbial properties and enzyme activities. Ecotoxicol. Environ. Saf. 168: 221–229.

Reddy, A.M., Kumar, S.G., Jyothsnakumari, G., Thimmanaik, S., Sudhakar, C. (2005). Lead induced changes in antioxidant metabolism of horsegram (Macrotyloma uniflorum (Lam.) Verdc.) and bengalgram (*Cicer arietinum* L.). Chemosphere. 60: 97–104.

Roozbahani, M.M., Sobhanardakani, S., Karimi, H., Sorooshnia, R. (2015). Natural and Anthropogenic Source of Heavy Metals Pollution in the Soil Samples of an Industrial Complex; a Case Study. Iran. J. Toxicol. 9: 1336–1341.

Rosell, G., Quero, C., Coll, J., Guerrero, A. (2008). Biorational insecticides in pest management. J. Pestic. Sci. 33, 103–121.

Schaller A., Diez T. (1991). Plant specific aspects of heavy metal uptake and comparison with quality standards for food and forage crops, in Der Einfluß von festen Abf¨allen auf B¨oden, Pflanzen, D. Sauerbeck and S. L¨ubben, Eds., pp. 92–125, KFA, J¨ulich, Germany, 1991, (German).

Schützendübel, A., Nikolova, P., Rudolf, C., Polle, A. (2002). Cadmium and H_2O_2-induced oxidative stress in Populus x canescens roots. Plant Physiol. Biochem. 40: 577–584.

Seregin, I.V., Kozhevnikova, A.D. (2008). Roles of root and shoot tissues in transport and accumulation of cadmium, lead, nickel, and strontium. Russ. J. Plant Physiol. 55: 1–22.

Shahid, M., Pinelli, E., Pourrut, B., Silvestre, J., Dumat, C. (2011). Lead-induced genotoxicity to Vicia faba L. roots in relation with metal cell uptake and initial speciation. Ecotoxicol. Environ. Saf. 74: 78–84.

Sharma D. C., Sharma C. P. (1993). Chromium uptake and its effects on growth and biological yield of wheat. *Cereal Research Communications.* 21(4): 317–322.

Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G.P.S., Handa, N., Kohli, S.K., Yadav, P., Bali, A.S., Parihar, R.D. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. SN Appl. Sci. 1: 1446.

Sharma, R.K., Agrawal, M. 2005. Biological effects of heavy metals: An overview. J. Environ. Biol. 26, 301–313.

Shaw, J.L.A., Ernakovich, J.G., Judy, J.D., Farrell, M., Whatmuff, M., Kirby, J. (2020). Long-term effects of copper exposure to agricultural soil function and microbial community structure at a controlled and experimental field site. Environ. Pollut. 263: 114411.

Shekar C. H. C., Sammaiah D., Shasthree T., Reddy K. J. (2011). Effect of mercury on tomato growth and yield attributes. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 2 (2): 358–364.

Sheldon A. R., Menzies N.W. (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(1-2): 341–349.

Shenker M., Plessner O. E., Tel-Or E. (2004). Manganese nutrition effects on tomato growth, chlorophyll concentration, and superoxide dismutase activity. *Journal of Plant Physiology*. 161(2): 197–202.

Sheoran I. S., Singal H. R., Singh R. (1990). Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*. 23(3): 345–351.

Song, C., Yan, Y., Rosado, A., Zhang, Z., Castellarin, S.D. (2019). ABA alleviates uptake and accumulation of zinc in grapevine (*Vitis vinifera* l.) by inducing expression of ZIP and detoxification-related genes. Front. Plant Sci. 10: 872.

Su, C., Jiang, L., Zhang,W. (2014). A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. Environ. Skept. Critics. 3: 24–38.

Sutkowska, K., Teper, L., Czech, T., Hulok, T., Olszak, M., Zogala, J. (2020). Quality of Peri-Urban Soil Developed from Ore-Bearing Carbonates: Heavy Metal Levels and Source Apportionment Assessed Using Pollution Indices. Minerals. 10: 1140.

Taiz L., Zeiger E. 2002. Plant Physiology, Sinauer Associates, Sunderland, Mass, USA, 2002.

Tangahu, B.V., Sheikh Abdullah, S.R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. A. (2011). Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. Int. J. Chem. Eng. 1–31.

Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M.R., Montanarella, L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. Environ. Int. 88: 299–309.

Vardhan, K.H., Kumar, P.S., Panda, R.C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. J. Mol. Liq. 290: 111197.

Vega, F.A., Andrade, M.L., Covelo, E.F. (2010). Influence of soil properties on the sorption and retention of cadmium, copper and lead, separately and together, by 20 soil horizons: Comparison of linear regression and tree regression analyses. J. Hazard. Mater. 174: 522–533.

Vlcek, V., Pohanka, M. (2018). Adsorption of copper in soil and its dependence on physical and chemical properties. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun. 66: 219–224.

Wang M., Zou J., Duan X., Jiang W., Liu D. (2007). Cadmium accumulation and its effects onmetal uptake in maize (*Zea mays* L.). *Bioresource Technology*. 98 (1): 82–88.

Wang, L., Xia, X.; Zhang, W., Wang, J., Zhu, L., Wang, J., Wei, Z., Ahmad, Z. (2019). Separate and joint eco-toxicological effects of sulfadimidine and copper on soil microbial biomasses and

ammoxidation microorganisms abundances. Chemosphere. 228: 556–564.

Wang, X., Liu, W., Li, Z., Teng, Y., Christie, P., Luo, Y. (2020). Effects of long-term fertilizer applications on peanut yield and quality and plant and soil heavy metal accumulation. Pedosphere. 30: 555–562.

World Health Organization (WHO). (1996). Permissible Limits of Heavy Metals in Soil and Plants; World Health Organization: Geneva, Switzerland.

Wu, X., Cobbina, S.J., Mao, G., Xu, H., Zhang, Z., Yang, L. (2016). A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 8244–8259.

Wyszkowska, J., Borowik, A., Kucharski, M.; Kucharski, J. (2013). Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. J. Elem. 18: 769–796.

Xiao, R., Wang, S., Li, R., Wang, J.J., Zhang, Z. (2017). Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. Ecotoxicol. Environ. Saf. 141, 17–24.

Yourtchi M. S., Bayat H. R. (2013). Effect of cadmium toxicity on growth, cadmium accumulation and macronutrient content of durum wheat (Dena CV.). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(15): 1099–1103.

Zeng, F., Wei,W., Li, M., Huang, R., Yang, F., Duan, Y. (2015). Heavy metal contamination in rice-producing soils of Hunan province,

China and potential health risks. Int. J. Environ. Res. Public Health. 12: 15584–15593.

Zhang, W. (2018). Global pesticide use: Profile, trend, cost/benefit and more. Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci. 8: 1–27.

Zhang, W.-J., van der Werf, W., Pang, Y. (2011). A simulation model for vegetable-insect pest-insect nucleopolyhedrovirus epidemic system. J. Environ. Entomol. 33: 283–301.

Zhang, X., Yan, L., Liu, J., Zhang, Z., Tan, C. (2019). Removal of different kinds of heavy metals by novel PPG-nZVI beads and their application in simulated stormwater infiltration facility. Appl. Sci. 9 (20): 4213.

Zhou, C., Ge, N., Guo, J., Zhu, L., Ma, Z., Cheng, S., Wang, J. (2019). Enterobacter asburiae Reduces Cadmium Toxicity in Maize Plants by Repressing Iron Uptake-Associated Pathways. J. Agric. Food Chem. 67: 10126–10136.

BÖLÜM 12

AĞIR METAL İÇERİKLİ SULARLA YAPILAN SULAMANIN TARIMSAL ÜRETİME ETKİSİ

Mualla KETEN[1]

[1] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Nevşehir. mketen@nevsehir.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-7741-922X

1.Giriş

Canlılar için hayati öneme sahip olan su, yeryüzünde yaşamsal olayların gerçekleşmesinde de büyük bir paya sahiptir. Gerek insanların hayat faaliyetlerinin devamlılığında, gerek bitkisel üretimde, gerekse de dünyanın yaşam döngüsünün gerçekleşmesi suyun varlığı sayesinde olur. Bu yüzden su kaynaklarının israf edilmemesi, korunması ve her türlü kirleticilerden korunarak kullanılması gerekmektedir.

Dünyadaki su kaynaklarının yaklaşık %99.4'ü yerüstü, %0.6'sı ise yeraltı suyudur. Yerüstü sularının %97'si tuzlu; deniz suyu olup, %2'si ise tatlı yer altı suyudur. Tatlı su kaynaklarının %78'i yerüstü, %22'si ise yeraltı suyudur. (Bear ve Cheng, 1999; Yinanç, 2013). Edinilen verilere göre oransal olarak yeraltı ve tatlı su miktarı oldukça az görülmektedir. Yerüstü suları toplam sular içinde çok büyük bir orana sahip olmasına rağmen büyük bir kısmı tuzlu olduğu için tarımsal sulama da kullanılması oldukça güçtür. Tarımsal sulama için tatlı sular kullanılmaktadır. Dünyadaki tatlı su oranı %2 gibi çok az bir paya sahip olduğu için sulama yaparken ve diğer ihtiyaçlar giderilirken sınırlı olan tatlı su kaynaklarını tasarruflu kullanmak gerekmektedir.

Dünyada mevcut tatlı su kaynağı potansiyel toplamdan daha azdır, bunun sebebi yağış rejiminin yeryüzünde eşit dağılım göstermemesidir (Wetzel 2001). Bu yüzden tatlı su kaynakları hem sulama suyu açısından tarımda hem de içme suyu açısından insan yaşamı için oldukça önemlidir.

Tarımda sulama için yeterli suya erişim, dünyada giderek artan bir endişe konusu olarak karşımıza çıkmaktadır (Ejazul ve ark., 2007).

Sulamada kullanılan düşük kalitede ve kirli sular ürün veriminin düşmesine ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle, uzun vadeli verimliliği sağlamak için sulama suyu kalitesinin bilinmesi gerekir (Çapar ve ark., 2015).

Su kaynaklarında görülen nüfus artışı ve teknolojik gelişmeye bağlı kirlenme ve su kaynaklarındaki azalma, suya olan ihtiyaç yeraltı su kaynaklarının aşırı kullanımına sebep olarak yeraltı sularına olan baskıyı arttırmaktadır. Günümüzde, dünyada kullanılan suyun büyük bir kısmı yeraltı sularından sağlanmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde büyük bir tehdit olarak görülen su krizi, yeraltı su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını gerektirmektedir (Kukul, 2000; Yinanç, 2013).

Son zamanlarda gelişen teknoloji ve sanayi beraberinde çevre kirliliğini getirmektedir. Çevre kirliliği, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen en önemli olaylardan biri olarak günümüze kadar gelmiştir. Çevre kirliliğinin oluşturan ana etmenler arasında ise ağır metal kirliliği bulunmaktadır (Bahadır, 2020).

Su kirliliği dünya çapında bir sorundur ve arıtılmamış evsel atık suların ve endüstriyel atıkların plansız olarak su yollarına boşaltılması nedeniyle yeraltı suları aşırı derecede kirlenmektedir (Mashiatullah., 2005).

Su kalitesi; canlı türlerinin bileşimini, verimliklerini ve suda yaşayan canlıların fizyolojik durumlarını belirlemektedir. Baraj gölleri kirleticilerden en fazla etkilenen yapılar arasındadır. Kirlenen baraj

gölleri içinde yaşayan canlıları olumsuz etkilediği gibi besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşabilir (Yılmaz 2004).

Ağır metaller hem doğal hem de antropojenik (insan kaynaklı) faaliyetlerin bir sonucu olarak çevrede birçok yerde bulunur ve insanlar hayatları boyunca ağır metallere çeşitli yollarla maruz kalırlar (Wilson ve Pyatt, 2007). Ağır metaller biyobozunur yapıya sahip değildirler. İnsanlar ağır metalleri yiyecekler, içme suyu ve hava yoluyla vücuduna alır. Bakır ve çinko gibi ağır metallerin düşük konsantrasyonları insanlar için faydalı olmalarına rağmen, yüksek konsantrasyonda alındıklarında zehirlenmelere sebep olabilmektedirler (Vinodh vd., 2011). Ağır metaller, özellikle yüksek antropojenik etkilerin bulunduğu bölgelerde önemli çevresel kirleticilerdir (Ejazul ve ark., 2007). Bu kirleticiler çevrede son derece kalıcıdır, biyolojik olarak ve ısıyla parçalanamaz, bu nedenle kolayca toksik seviyelere çıkabilirler (Kumar ve ark., 2007; Micó ve ark., 2006).

Tarımsal sulama çoğunlukla yeraltı suyuna (kuyu suları) bağlı olduğundan, tarım ürünleri eğer ağır metal içerikli sularla sulanırsa sebze ve meyvelerden besin zinciri yoluyla insanlara geçmesine sebep olur (Nabulo ve ark., 2010). Endüstriyel veya doğal kaynaklı sebeplere bağlı olarak su ve toprakta bulunan ağır metallerin belirli değerlerin üzerinde olması insanları olumsuz etkilemektedir.

Ağır metaller (atomik yoğunluğu 6 g cm^{-3}'ten büyük olan elementler) sudaki en kalıcı kirleticilerden biridir. Diğer kirleticilerin aksine, parçalanmaları zordur, ancak besin zinciri boyunca birikerek potansiyel

insan sağlığı riskleri ve ekolojik rahatsızlıklar üretebilirler (Akbor ve Muchie, 2010).

Hg, Pb, Cd, Ni, As, Sn gibi ağır metaller canlılar için oldukça zararlıdır ve yüzey suları için belli bir değerin üzerinde olması istenmez (İleri, 2010). Bor, yeraltı suyunda doğal olarak, yüzey sularında endüstriyel kirletici olarak veya tarımsal yüzey akışların ve çürüyen bitki materyallerinin bir ürünü olarak bulunabilir (Provin ve Pitt, 2002). Bor, yeraltı suyunda ikincil çözünmüş bileşen olarak 0,01-10,0 mg/1 arasında bulunabilir (Anonymous, 2004).

Yeraltı suyunda bulunan arsenik fazlalığı doğal bir kirletici olabilir ve şu anda dünyanın birçok bölgesini etkileyen bir sorundur, örneğin Hindistan, İspanya, Nikaragua, Peru, Arjantin, Meksika ve Şili, kirletici konsantrasyonun 10 µg L^{-1}'un üzerinde tespit edildiği ülkeler arasındadır. Bu kirleticinin değer Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO, 2003) göre izin verilen sınırı aşmaktadır (Saldana Roble vd., 2018).

Bu çalışmanın amacı ağır metal bakımından kirli sulama sularıyla yapılan tarımın bitkisel üretime ve insanlara olan etkilerini daha önceki çalışmalardan alıntılar yoluyla ortaya koymaktır. Bu derlemede; ağır metal tanımları, ağır metalin sulama yoluyla canlılara etkisi ve sulama suyunda bulunabilecek sınır miktarına ilişkin mevcut bilimsel bilgi durumuna genel bir bakış sunulmaktadır.

2.Sulama Sularının Ağır Metal Kirliliği İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Abdulateef ve Naser (2021), Bağdat şehrinde, bazı ağır metaller (Pb, Cd, Ni, Co, CU, Cr, Zn ve Fe) tarafından kirliliğinin derecesini bulmak için sulama suyu üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Su örneklerini farklı kaynaklardan (nehir, kuyu ve akarsu) rastgele toplamışlardır. Sonuçlar, çalışılan ağır metallerin konsantrasyonunun; 0,43-11,75 mg L^{-1} arasında Kurşun, 0,01-0,95 mg L^{-1} arasında Kadmiyum, 0,008-0,46 mg L^{-1} arasında Nikel, Bakır 0.326 - 1.58 mg L^{-1} arasında, Çinko 0.398-1.182 mg L^{-1} arasında, Demir ise 0.794 - 3.253 mg L^{-1} arasında bulmuşlardır. Sonuçta tüm numunelerde yüksek konsantrasyonlarda ağır metaller gözlemlemişlerdir ve bu değerlerin Uluslararası Gıda ve Tarım Örgütü tarafından izin verilen kritik limitlerin üzerinde olduğunu bildirmişlerdir.

Ağır metaller toprak suyu ve toprak partiküllerine tutunarak toprakta bulunur ve bitki kökleri tarafından emilerek sebze ve meyvelerde birikmektedir (Alirzayeva ve ark., 2006; Arora ve ark., 2008; Kachenko ve Singh, 2004). Ağır metallerin yetiştirilen ürünlere girmesinin bir başka yolu da ağır metallerle kirlenmiş sulama suyudur (Aweng ve ark., 2011).

Atık su ile sulanan tarım toprakları, tarım ve insan sağlığını etkileyen bir sorun olan ağır metallerin birikiminde önemli bir risk oluşturmaktadır (Flores-Magdaleno ve ark. 2011).

Gerek akarsulardan gerekse kuyu sularından temin edilen sulama suları kaya ve topraklardan vasıtasıyla birtakım kimyasal maddeler içerebilirler. Bu kimyasal maddeler çoğunlukla tuz karakterindedirler. Konsantrasyon ve bileşimlerini ise suyun kalitesi belirler (Yavuz, 2011).

Sulama suyundaki arsenik konsantrasyonu toprakta birikir, toprağın üst katmanlarında daha fazla birikme gösterir ve çözünür halde bulunur. Son olarak, topraktaki ve sudaki arsenik bitkilere ulaşır (Pandey ve Singh, 2015; Kramar ve diğerleri, 2015; Dixit ve diğerleri, 2016; Dousova ve diğerleri, 2016; Ma ve diğerleri, 2016).

Al- Sarraj ve ark., (2019), Dicle Nehri'nde yapmış olukları bir çalışmada su çökeltilerindeki bazı ağır metallerin ölçümü sonunda bazı numunelerdeki yüksek kurşun konsantrasyonunun varlığını açıklamış ve bunu şehrin güneyindeki nehre doğru büyük miktarlarda sıvı atığın çıkarılmasına bağlamışlardır.

Temamoğulları ve Dinçoğlu (2010), Şanlıurfa ili kuyularında çinko ve selenyum düzeylerini araştırmışlardır. Sonuçta kuyu sularının %54'ünün selenyum bakımından kirli, %44'ününde çinko yönünden az kirli olduğunu belirlemişlerdir. Dolayısıyla Şanlıurfa'daki kuyu sularının bir kısmının selenyum ve çinko açısından sağlığa zararlı olduklarını vurgulamışlardır.

Jawahar ve Ringler (2009), Hindistanda yetiştirilen tarım ürünlerinin, kirli sularla sulanmalarından dolayı yüksek düzeylerde kurşun bulaşmasının olduğunu saptamışlardır.

Kumbur vd. (2008), Mersinde kullanılan tarımsal ilaçların içerdiği ağır metalleri incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ağır metal seviyesinde bölgesel ve dönemsel değişmelerin olduğunu bildirmişlerdir.

Tok ve arkadaşları (2005), Edirne çeltik tarlalarında yaptıkları bir çalışmada bitkilerin toprak üstü ve toprak altı kısımlarında Fe ve Mn toksisitesinin olduğunu belirlemişlerdir. Pb, Zn ve Ni elementlerinin köklerde zarar verici düzeylerde olduğunu belirlemişlerdir. Yaşanan kirliliğe Ergene Nehrinin sebep olduğunu öne sürmüşlerdir. Nehirde görülen ağır metal kirliliğinin çeltiği direkt olarak etkilediği, ağır metal kirliliğinin taneye kadar vardığını bildirmişlerdir.

Akçay vd. (2003), Büyük Menderes ve Gediz Nehrindeki suların ağır metal içeriklerini incelemiş, Pb, Cr, Mn, Zn elementleri bakımından kirli olduğu sonucuna varmışlardır. Bu kirliliğin sebebini de endüstrileşme, tarımsal işlemler ve evsel artıklardan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Cheng (2003), Çin'de yaptıkları bir çalışmada; Yangtze nehrine ait sulardaki Cd, Cu, Pb ve Zn konsantrasyonlarını sırasıyla; 0,080; 7,91; 15,7 ve 18,7 $\mu g\ L^{-1}$ olarak bulurken, çalışılan alana ait topraklardaki Cd, Cu, Pb ve Zn değerlerini ise 0,097, 22,6, 26,0 ve 74,2 $mg\ kg^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Görülen bu ağır metal kirliliğinin endüstri ve atık sulardan kaynaklandığını ve sonuçta insan sağlığını tehdit ettiğin tespit etmiştir.

Wang ve Stuanes (2003), Çin'de yaptıkları araştırmada ağır metal endüstrisinin kirlettiği sularla sulanan çeltikte Cd, Cr ve Zn birikiminin toksite seviyesinin üzerinde olduğunu aynı zamanda insan sağlığını da tehdit ettiğini savunmuşlardır.

Cekova ve Efremkov (2001), Vardar Nehrinden aldıkları sularda Mn, Zn, Pb ve Cd elementlerinden Mn dışındaki diğer elementler için su kalitesinin II. Sınıf olduğunu, Zn, Pb ve Cd için ise IV. sınıf olduğunu bildirmişlerdir.

Aydınalp (1997), Nilüfer Çayı' nda yapmış olduğu bir çalışmada su örneklerinin, pH değerinin 7.04' den 6.62' ye düştüğünü; Ag, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mg, Ni, Pb, U, ve Zn gibi ağır metal miktarlarında akış istikameti boyunca artış olduğunu bildirmişlerdir.

3. Su Kaynaklarının Ağır Metallerce Kirlenme Sebepleri

Su kaynaklarının kirlenmesinin en büyük sebepleri arasında hızlı nüfus artışıyla beraber sanayileşmenin genişlemesi, atmosfere zararlı gazların salınması beraberinde çevrenin kirlenmesi gelmektedir. İnsan faaliyetlerinin olumsuz sonuçlarında da su kaynakları olumsuz etkilenmektedir (Aydoğan, 2013). Teknolojik gelişmeler ne kadar iyi görünse de atmosfer, su, insan, çevre, tarım gibi konulara olumsuz etkilerinin olduğu da görünen bir gerçektir.

Sürekli artan insan nüfusu, artan sera gazı emisyonlarına bağlı iklim değişikliği ve tarımın yoğunlaşması, dünyanın yenilenemeyen iki ana kaynağı olan toprak ve su üzerinde ciddi bir baskı oluşturmakta ve bu

nedenle üretim için büyük bir zorluk teşkil etmektedir (Zaman ve ark., 2018).

Sulama sularının kalitesi bölge, ülke, yeraltı suyunun nasıl çıkarıldığına ve kullanıldığına, yağış yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Yağışların az olduğu sıcak ve kurak ülkelerde tarım için yeraltı suyunun kullanılması, yeraltı suyu tuzluluğunun artmasına neden olur ve ekim için bitki paternini sınırlar. Bu nedenle sulama suyu kalitesinin belirlenmesi önemlidir. Sudaki çözünür tuzların konsantrasyonu ve bileşimi, sulama için suyun kalitesini belirler. Su tuzluluğu (EC), sodyum tehlikesi (-SAR), kalıntı sodyum karbonatlar (RSC) ve iyon toksitesi dahil olmak üzere, sulama amaçlı su kalitesini değerlendirmek için dört temel kriter tanımlanmıştır (Zaman ve ark., 2018). Bunların dışında suyun kirlenmesine sebep olan ve belirli miktarın üzerine çıkıldığında oldukça zararlı olan ağır metaller gibi ajanlar bulunmaktadır. Ağır metal bulaşıklı sula ile yapılan tarımsal üretimde suyun içerisindeki ağır metaller önce toprağa sonra da bitkiye geçerler. Yetiştirilen sebze ve meyvelerin insanlar tarafından tüketilmesiyle de insan vücuduna alınmış olur. İnsan vücuduna belirli seviyenin üzerinde alınan ağır metaller insanlar da bazı hastalıkların görülmesine sebep olabilir.

Tuzlu/acı suların bilinçsiz kullanılması, çoğu zaman toprak tuzluluğunun, sodyumluluğun, iyon toksitesinin ve yeraltı suyu kirliliğinin gelişimi ile ilişkilidir. Bu olumsuz etkilerden dolayı, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde, su kalitesinin sulu tarım yönetimini tam olarak nasıl etkilediğinin daha iyi anlaşılması önemlidir (Zaman ve ark., 2018).

4. Sulama Suyundaki Ağır Metallerin Bitki ve İnsanlara Etkisi

Sulama suyunda yer alan kimyasal maddeler; toksik etki oluşturmalarından dolayı doğrudan, bitkilerin besin elementi alımlarını engellemeleri nedeniyle de dolaylı olarak bitki gelişimini değiştirebilirler (Will and Faust 1999).

Sudaki ağır metal kirleticilerin tehlikesi, etkilerinin iki yönü bulunmaktadır. İlk olarak, ağır metaller doğal ekosistemlerde uzun süre kalabilme özelliğine sahiptir. İkincisi, biyolojik zincirin ardışık seviyelerinde birikerek akut ve kronik hastalıklara neden olma yeteneğine sahiptirler. Örneğin, kadmiyum ve çinko, beyin, kalp ve böbrek hasarlarında akut gastrointestinal ve solunum yolu hasarlarına yol açabilir (Fuggle, 1983; Nelson ve Campbell, 1991; Nomanbhay ve Palanisamy, 2005; Lone ve diğerleri, 2008).

Sulama sularında belirli bir düzeyin üzerinde bulunan bor, kurşun, bakır, kobalt, krom, nikel, çinko gibi ağır metallerden kaynaklanan toprak kirliliği sonucunda bitki gelişimi olumsuz etkilenir. Bu yüzden tarımsal üretim için sulama suyu kalitesi mutlaka belirlenmelidir (Yavuz, 2011).

Her ağır metal, toksisitesinin belirli belirtilerini gösterir. Örneğin, Pb, As, Hg, Zn, Cu ve Al zehirlenmesi gastrointestinal (GI) bozukluklar, ishal, stomatit, titreme, dışkıda pas kırmızısı renk, ataksi, felç, kusma ve kasılma, depresyon ve zatürree gibi. Ağır metallerin bazı etkileri ise toksik (akut, kronik veya subkronik), nörotoksik ve hatta kanserojen, mutajenik veya teratojenik olabilir (Singh ve ark., 2010).

Anonymous (2006), Japonya'da atık materyallerin karıştığı nehrin suları ile sulanan pirinç tarlalarındaki ürünleri yiyen insanlarda kadmiyum zehirlenmesi görülmüş, bunun sonucunda kemik ile böbrek rahatsızlıkları gözlenmiştir.

Belirli bir seviyenin üzerinde vücuda alınan krom elementi böbrek, karaciğer hasarı, akciğer kanseri, deride ülser ve alerjik dermatite sebep olmaktadır (Balkaya ve Açıkgöz 2004).

Aikman (1983), sulama suyundaki yüksek konsantrasyonlarda ağır metallerin ekinlerin ölümüyle sonuçlanabileceğini, diğer temel besin maddelerinin alımını engelleyebileceğini veya meyveler üzerinde sakıncalı tortular oluşturabileceğini ve bitkilerin yenilebilir kısımlarını insanlar ve otlayan hayvanlar için toksik hale getirebileceğini bildirmiştir.

İnsan zehirlenmesinde en çok etkili ağır metaller kurşun, cıva, arsenik ve kadmiyumdur. Bakır, çinko ve krom gibi diğer ağır metallere aslında vücut tarafından küçük miktarlarda ihtiyaç duyulur, ancak daha büyük dozlarda toksik olabilir (Akbor ve Muchie, 2010).

5. Ağır Metallerin Sulama Suyunda Kabul Edilebilen Maksimum Değerleri

Çevresel sürdürülebilirlik ihtiyacı ile birlikte dünya çapında çeşitli su mevzuatı ve yönergelerinin yürürlüğe girmesi, içme suyu temini ve atık su deşarjı için birkaç katı düzenlemeye ihtiyaç duyulmasını gerektirmiştir (Akbor ve Muchie, 2010).

Tablo 1'de FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü)'nun belirlediği tarımsal sulama sularında bulunabilecek maksimum ağır metal içerikleri verilmiştir. Tablodan ağır metaller ve karşılığında olması gereken kritik değer aralıklarının dışına çıkıldığında toprak, bitki ve insanda toksik etkilerin oluştuğu anlaşılmaktadır. Tarımsal üretimin yapılacağı alanlarda insan sağlığına zararının olmaması adına kullanılan sulama suyunun ağır metal içeriğinin uygun olması gerekmektedir. Aksi durumda ağır metal içeriği yüksek sularla sulanan bitkiler dolaylı olarak insan sağlığını tehlikeye atabilir.

Tablo 1. Sulama suyunda ağır metallerin tavsiye edilen maksimum konsantrasyonları (Anonim, 1972; Pratt, 1972)

Ağır metal	Önerilen max. konsantrasyon (mg l^{-1})	Değerlendirme kriterleri
Al (alüminyum)	5.0	Asitli topraklarda (pH < 5.5) verimsizliğe neden olabilir, ancak pH > 7.0'den fazla alkalin topraklar iyonu çökelterek toksisiteyi ortadan kaldırır.
As (arsenik)	0.10	Bitkiler üzerindeki toksisite, sudan otu için 12 mg l^{-1}'den pirinç için 0.05 mg l^{-1}'nin altına kadar geniş bir aralıkta değişmektedir.
Be (berilyum)	0.10	Bitkiler üzerindeki toksisite, lahana için 5 mg l^{-1}'den çalı fasulyesi için 0,5 mg l^{-1}'ye kadar geniş bir aralıkta değişmektedir.
Cd (kadmiyum)	0.01	Besin solüsyonlarında 0.1 mg l^{-1} kadar düşük konsantrasyonlarda fasulye, pancar ve şalgam için toksiktir. Bitkilerde ve topraklarda birikme potansiyeli nedeniyle, insanlar için zararlı olabilir.

Co (kobalt)	0.05	Besin solüsyonunda 0.1 mg l^{-1}'de domates bitkileri için toksiktir. Nötr ve alkali topraklar tarafından inaktive olma eğilimindedir.
Cr (krom)	0.10	Genel olarak temel bir büyüme unsuru olarak kabul edilmez. Bitkiler üzerindeki toksisitesi hakkında bilgi eksikliği nedeniyle limitin üzerine çıkılmamalıdır.
Cu (bakır)	0.20	Besin solüsyonlarında 0.1 ila 1.0 mg l^{-1} arasında bazı bitkiler için toksiktir.
F (florür)	1.0	Nötr ve alkali topraklar tarafından inaktive edilir.
Fe (demir)	5.0	Havalandırılmış topraklardaki bitkiler için toksik değildir, ancak toprak asitlenmesine ve esansiyel fosfor ve molibden mevcudiyetinin kaybına sebep olabilir.
Li (lityum)	2.5	Çoğu ürün tarafından 5 mg l^{-1}'ye kadar tolere edilir. Düşük konsantrasyonlarda (<0.075 mg l^{-1}) narenciye için toksiktir. Bor gibi davranır.
Mn (manganez)	0.20	Genellikle yalnızca asitli topraklarda, bazı mahsuller için zehirlidir.
Mo (molibden)	0.01	Toprakta ve suda normal konsantrasyonlarda bitkiler için toksik değildir. Yüksek konsantrasyonlarda mevcut molibden içeren topraklarda yem yetiştirilirse, çiftlik hayvanları için toksik olabilir.
Ni (nikel)	0.20	0,5 mg l^{-1} ila 1,0 mg l^{-1}arasında bir bazı bitkiler için toksiktir.

Pd (kurşun)	5.0	Bitki hücresi büyümesini çok yüksek konsantrasyonlarda engelleyebilir.
Se (selenyum)	0.02	0,025 mg l^{-1} kadar düşük konsantrasyonlarda bitkiler için toksiktir ve nispeten yüksek seviyelerde selenyum eklenmiş topraklarda yetiştirilirse çiftlik hayvanları için toksiktir.
Sn (kalay)		
Ti (titanyum)	----	Spesifik tolerans bilinmiyor.
W (tungsten)		
V (vanadyum)	0.10	Nispeten düşük konsantrasyonlarda birçok bitki için toksiktir.
Zn (çinko)	2.0	Çok çeşitli konsantrasyonlarda birçok bitki için toksiktir.

6. Ağır Metallerin Sudan Uzaklaştırılma Yöntemleri

Sulardaki ağır metallerin uzaklaştırılması için kullanılan çeşitli iyileştirme teknolojileri vardır. Bu iyileştirme teknolojileri yağış ve pıhtılaşma, iyon değişimi, membran filtrasyonu, biyoremediasyon, heterojen fotokatalizörler ve adsorpsiyon olarak sıralanabilir (Gautam ve ark.2014).

Ağır metal bakımından kirli sularda kullanılan remediasyon tekniği genellikle yüksek maliyetlidir. Onun yerine ağır metallerin uzaklaştırılması için fiziksel ve kimyasal yöntemler yerine biyolojik yöntemlerin kullanılması, daha etkin bir yöntemdir. Ağır metallerin uzaklaştırılmasında biyolojik ajanların kullanıldığı yöntemler arasında biyosorpsiyon, adsorbsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri bulunmaktadır. Biyosorpsiyon, sulu ortamdan ağır metallerin biyokütle

tarafından alınma yöntemidir. Adsorpsiyon, moleküllerin temas ettikleri yerdeki çekme kuvvetine göre o yerle birleşmesidir. Fitoremediasyon ise, bitki kullanılarak yapılan çevreyi iyileştirme teknolojisidir. Fitoremediasyon teknolojisi ile bitki materyali kullanılarak ağır metal ile kirlenen sulardaki organik ve inorganik maddeler arındırılabilmektedir. Fitoremediasyon tekniğinin en önemli avantajı ekstra enerjiye gereksinimin olmamasıdır. Ayrıca fitoremediasyon tekniği çevreye zarar vermez. Fitoremeditasyon ile biyolojik materyaller olan bakteri, mantar, liken ve bitki kullanılır. Bu biyolojik materyallerin maliyeti düşük ve yapılabilmesi kolay olduğu için fitoremediasyon yöntemleri sayesinde metal kirliliğinin giderilmesi de daha kolay sağlanmış olur (Hamutoğlu ve ark., 2012). Bu çalışmada mantarı biyolojik materyal olarak kullanarak ağır metal temizleme yoluna giden araştırmalara yer verilecektir.

Mantarlar ortamdaki ağır metalleri bünyelerine alabilmektedir ve bünyelerinde biriktirdikleri ağır metallerden dolayı kirlilik indikatörü olarak da bilinirler (Gücin ve Baltepe, 1989; Vetter, 1989; Vetter, 1990; Tüzen ve ark., 1998a; Tüzen ve ark., 1998b).

Mantarların meyve veren gövdelerinin ağır metallerin biyolojik olarak birikmesine eğilimli olduğu belgelenmiştir (Garcia, Alonso, ve ark., 2013; Sesli, ve ark., 2008).

Mantarlar bünyelerinde ağır metal biriktirebildiği gibi bunu sınırlayan 2 durum vardır. Bunlardan biri pH, organik madde miktarı ve ağır metal konsantrasyonları gibi çevresel faktörler, diğeri ise mantar türleri,

miselyum yaşı, büyüme evreleri, meyve veren vücudun morfolojik kısmı ve biyokimyasal yapıdır (Gebrelibanos ve ark., 2016).

Mantarlar bünyelerine aldıkları bakır, cıva, çinko, gümüş, kadmiyum, kobalt, kurşun, mangan, molibden, nikel, selenyum, sezyum, stronsiyum, talyum, uranyum gibi ağır metalleri biriktirdikleri için kirlilik indikatörü olarak da bilinirler (Baba ve ark., 2012).

7. Sonuç

Hızla artan nüfus dünyadaki su kaynaklarının kullanımını da artırmıştır. Özellikle yeraltı sularında bulunan tatlı su tarımda kullanıldığı için gelecekte su sorunlarının yaşanması beklenmektedir. Nüfus artışı ve gelişen teknoloji çevre kirliliğini de beraberinde getirdiği için su kaynakları da ağır metallerce kirlenmektedir. Ağır metal bulunan sulama suları ile sulanan bitkiler (sebze-meyve-hububat) direkt olarak ağır metalleri bünyelerine alır ve bunları tüketen insanların vücudun girer. Belirli oranın üzerindeki ağır metal insanları olumsuz etkiler. Sulama suyundaki ağır metal seviyeleri FAO tarafından belirlenmiştir. Bu önerilen değerlerin dışına çıkılması insanlar ve bitkiler için toksik etki yaratmaktadır, insanlarda da çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır. Günümüzde çeşitli sebeplerden dolayı doğru ya da dolaylı olarak ağır metal kirliliğine ve etkilerine maruz kalmaktayız ve Dünya geliştikçe de bu maruziyet devam edebilecektir. Bu yüzden ağır metallerden arınma yöntemlerine başvurulmalıdır.

Su ya da toprakta bulunan ağır metallerin uzaklaştırılması ile ilgili çeşitli kimyasal, fiziksel ve biyolojik yöntemler mevcuttur. Bunlar

içinde biyolojik arındırma yöntemleri diğerlerine göre elbette çevre dostu ve daha ekonomiktir. Özellikle mantarların iyi bir ağır metal biriktirme kapasitesine sahip olduğu birçok araştırıcı tarafından ortaya koyulmuştur. Buradan yola çıkılarak biyolojik bozunma ile yok olmayan ağır metallerden bu şekilde kurtulma yoluna gidilerek daha sağlıklı tarımsal üretim yapılabilir. Ağır metal içerikli sulama suları mantar fitoremediasyon tekniği ile daha temiz sulama suları haline gelebilir.

Bu çalışmada genel olarak ağır metallerin tarım, insan, çevre, su ilişkilerine değinilmiştir. Ağır metallerin sulamada toksik sınır değerleri sunulmuştur. Mevcut durum değerlendirilirken çözüm olarak ta mantar fitoremediasyon tekniği önerilmiştir.

KAYNAKLAR

Abdulateef, A.A. ve Naser, Kadhim, M. A study of Irrigation Water Pollution By Some Heavy Metals in Baghdad Governorate. Fourth International Conference for Agricultural and Sustainability Sciences. doi:10.1088/1755-1315/910/1/012091.

Aikman, D.I; Waste water re-use from the standpoint of irrigated agriculture, The Public Health Engineer, Vol. II No. 1,1983, pp 35-41.

Akpor, O.B, Muchie, M. 2010. Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications. International Journal of the Physical Sciences Vol. 5(12), pp. 1807-1817.

Alirzayeva, E. G., Shirvani, T. S., Yazici, M. A., Alverdiyeva, S. M., Shulurov, E. S., Ozturk, L., AliZade, V. M. and Cakmak, I. (2006). Heavy metal accumulation in Artemisia and foliaceous lichen species from the Azerbaijan flora. Forest snow and landscape research. 80(3): 339-348.

Alonso, J., Garcia, M., P´erez-Lopez, ´ M., Melgar, M. J., & Toxicology. (2003). The concentrations and bioconcentration factors of copper and zinc in edible mushrooms (Vol. 44,, 180–188.

Al-Sarraj, I. Sami; Mona H. Junker and Satie Mahmoud Al-Rawi. 2019. Estimating the concentrations of some heavy metals in water and sediments of Tigris River within city of Mosul. Al-Rafidain Science Journal, Volume 28, No. (1), pp. 1-10.

Anonim, 1972. Su kalitesi kriterleri, Ecological Research Series.

Anonymous (2006). Guidelines for drinking-water quality, third edition. World Health Organization, 515s, Geneva.

Arora, M., Kiran, B., Rani, S., Rani, A., Barinder, K. and Mittal N. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. Food Chemistry. 111: 811-815.

Aweng, E.R., Karimah, M. ve Suhami, O. 2011. Heavy Metals Concentratıon Of Irrıgatıon Water, Soıls And Fruıt Vegetables In Kota Bharu Area, Kelantan, Malaysıa. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, 6 (4): 463-470.

Aydınalp C (1997). Nilüfer Çayı ve Ayvalı Deresi'ndeki Ağır Metal Kirliliği. Bursa Çevre - 97 Fonunu Kitabı. Bursa Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Daire Başkanlığı Yerel Gündem 21 Şube Müdürlüğü Yayını No: 2. Bursa.

Aydoğan, F. 2013. Edirne İlindeki Sulama Suyu Kaynaklarının Kalitesi Ve Ağır Metal İçeriklerinin Tespiti. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. S:72.

Baba H, Ergün N, Özçubukçu S, 2012. Antakya (Hatay)'dan Toplanan Bazı Makrofungus Türlerinde Ağır Metal Birikimi ve Mineral Tayini. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi 5 (1): 5-6.

Bahadır, Z. 2020. Atık Su Örneklerinde Bazı Ağır Metallerin İndüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile Belirlenmesi. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences. Year: 5, No: 1, (56-60).

Balkaya N ve Açıkgöz A (2004). İçme suyu kalitesi ve Türk içme suyu standartları. Standart Dergisi Ocak-2004, 29-37.

Bear, J., Cheng, A.H.D., 1999. 'Introductions'. Seawater Intrusion in Coastal AquifersConcepts, Methods and Practices (Eds. Bear, Cheng, Sorek, Quazar and Herrera) Kluver Academic Publishers, 14, The Netherlands.

Cekova E ve Efremov A (2001). Appropriates of the biological monitoring for pollution determination of the River Vardar, by heavy metals. J. of Environmental Protection and Ecology, Vol. 2 (2): 384- 389, Bulgaristan.

Cheng S (2003). Heavy metal pollution in China, origin, pattern and control. Environ. Sci. Pollut. Res. Int., 10(3): 192-8.

Çapar, G., Dilcan, Ç.C., Akşit, C., Arslan, Ş., Çelik, M., Kodal, S. 2015. Evaluation of Irrigation Water Quality in Gölbaşı District. Tarım Bilimleri Dergisi. 2 (2016) 408-421.

Dixit, G., Singh, A. P., Kumar, A., Mishra, S., Dwivedi S., Kumar, S., Trivedi, P. K., Pandey, V., Tripathi, R. D. (2016): Reduced arsenic accumulation in rice (Oryza sativa L.) shoot involves sulfur mediated improved thiol metabolism, antioxidant system and altered arsenic transporters. – Plant Physiologyogy and Biochemistry 99: 86-96.

Dousova, B., Buzek, F., Lhotka, M., Krejcova, S., Boubinova, R. (2016): Leaching effect on arsenic mobility in agricultural soils. – Journal of Hazardous Materials 307: 231-239.

Ejazul I, Xiao-e Y, Zhen-li H, Qaisar M. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. JZUS-B 2007; 8(1):1-13.

Fuggle RF (1983). Nature and ethics of environmental concerns. In: Environmental Concepts in South Africa, Fuggle RF and Rabie MA. Juta, Cape Town.

Gautam, R.K., Sharma, S.K., Mahiya, S., Chattopadhyaya, M.C. 2014. Published on 16 September 2014 on http://pubs.rsc.org | doi:10.1039/9781782620174-00001. Published by the Royal Society of Chemistry, www.rsc.org.

Gebrelibanos, M., Megersa, N., & Taddesse, A. M. (2016). Levels of essential and non- essential metals in edible mushrooms cultivated in Haramaya, Ethiopia. 3, 2.

Gücin, F., Baltepe, Ş., 1989. Ağır Metal Akümülatürü Olarak Şapkalı Mantarlar, Doğa Türk Botanik Dergisi, 13(3), 584-595

Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D., Aras, S. 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi. DOI ID: 10.5505/TurkHijyen.2012.94914.

İleri, 2010. Uluabat Gölü Su Ve Sediment Kalitesinin Fiziko-Kimyasal Parametreler Açısından Değerlendirilmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Analizlenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. S:235.

Jawahar P ve Ringler C (2009). Water quality and food safety: a review and discussion of risks. Water Policy, 11: 680-695.

Kachenko, A. and Singh, B. (2004). Heavy metals contamination of home grown vegetables near smelters in NSW. SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference. 5-9 December 2004. University of Sydney, Australia.

Kramar, U., Norra, S., Berner, Z., Kiczka, M., Chandrasekharam, D. (2015): On the distribution and speciation of arsenic in the soil-plant-system of a rice field in WestBengal, India: A μ-synchrotron techniques based case study. – Applied Geochemistry 77: 4-14.

Kukul, Y.S., 2000. Gümüldür Yöresinde Sulamada Kullanılan Yeraltı Sularının Tuzluluk Durumu ve Tuzlanmanın Toprak ve Turunçgil Bitkisi Üzerine Etkileri. Doktora Tezi. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir. 145s.

Kumar Sharma R, Agrawal M, Marshall F. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotox Environ Safe 2007; 66(2):258-66.

Lone MI, HE Z, Stoffella PJ, Yang X (2008). Phytoremediation of heavy metals polluted soils and water: progress and perspectives. J. Zhejiang Univ. Sci. B 9(3): 210-220.

Ma, J., Mi, Y., Li, Q., Chen, L., Du, L., He, L., Lei, M. (2016): Reduction, methylation, and translocation of arsenic in Panax notoginseng grown under field conditions in arsenic-contaminated soils. – Science of the Total Environmental 550: 893-899.

Mashiatullah, Riffat, A., Qureshi, M., Niaz, A., Javed, T. and Nisar, A. 2005. Biological quality of groundwater in Rawalpindi/Islamabad. The Environmental Monitoring 5:13-18.

Micó C, Recatalá L, Peris M, Sánchez J. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. Chemosphere 2006; 65(5):863-72.

Nabulo G, Young SD, Black CR. Assessing risk to human health from tropical leafy vegetables grown on contaminated urban soils. Sci Total Environ 2010; 408(22): 5338-51.

Nelson WO, Campbell PGC (1991). The effects of acidification on the geochemistry of Al, Cd, Pb and Hg in fresh water environments: a literature review. Environ. Pollut., 71: 91-130.

Nomanbhay SM, Palanisamy K (2005). Removal of heavy metal from industrial wastewater using chitosan coated oil palm shell charcoal. Electron. J. Biotechnol., 8(1): Issue 15.

Pandey, V. C., Singh, N. (2015): Aromatic plants versus arsenic hazards in soils. – Journal of Geochemical Exploration 157: 77-80.

Pratt, D.E. 1972. Water Soluble Antioxidanu in Soybean. Journal of Food Science. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb05845.x.

Sesli, E., Tuzen, M., & Soylak, M. (2008). Evaluation of trace metal contents of some wild edible mushrooms from Black sea region, Turkey. Journal of Hazardous Materials, 160, 462–467.

Singh A, Sharma RK, Agrawal M, Marshall FM. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. Food Chem Toxicol 2010; 48(2):611-9.

Temamoğulları F, Dinçoğlu AH (2010). Şanlıurfa ve Çevresindeki Kuyu Sularında Çinko ve Selenyum Düzeyleri. Kafkas Veterinerlik Fakültesi Dergisi, Vol;16 No;2. 199-203.

Tok HH, Adiloğlu A, Öner N, Gönülsüz E ve Adiloğlu S (2005). Heavy Metal Concentrations in Irrigation Waters and Rice Crops in the

Central Trakya Region. Journal of Environmental Protection and Ecology, 6, (3): 550- 562, Thessaloniki, Greece.

Tüzen M., ve ark., 1998a. Study of heavy metals in some cultivated and uncultivated mushrooms of Turkish origin. Food Chemistry 63:247–251.

Tüzen M., ve ark., 1998b. Heavy metal bioaccumulation by cultivated Agaricus bisporus from artificially enriched substrates. Z Lebensm Unters Forsch A 206:417–419.

Vetter, J., 1989. Vergleıchende Untersuchung deş Mineralstoffgehaltes der Gattungen Agaricus (Champignons) und Pleurotus (Austernseitling), Lebensm Unters Forsch, 346-350.

Vetter, J., 1990. Mineral Elements Content of Edible and Poisonous Macrofungi, Açta Alimentaria, 19(1), 27-40.

Vinodh, R., Padmavathi, R. & Sangeetha, D. (2011). Separation of heavy metals from water samples using anion exchange polymers by adsorption process. Desalination, 267, 267-276.

Wang HY ve Stuanes AO (2003). Heavy metal pollution in air water plant system of Zhuzhou city, Hunan Province, China. Water, Air and Soil Pollution, 147 (1/4): 79- 107.

Wetzel RG (2001). Limnology, Lake and River Ecosystems. Third Edition. Academic Pres. USA, 187–390.

WHO. Enviromental Health Criteria – 224. (2003): Arsenic and arsenic compounts. – World Health Organization, Geneva.

Will E, Faust EJ (1999). Irrigation Water Quality for Greenhouse Production Agricultural Extention Service, The University of Tennessee.

Wilson, B. and Pyatt, F.B. 2007. Heavy metal dispersion, persistence, and bioaccumulation around an ancient copper mine situated in Anglesey. UK. Ecotoxicology and Environmental Safety 66:224-231.

Yavuz, F. 2011. Yüksek Lisans Tezi. S:70.

Yılmaz F (2004). Mumcular Barajı (Muğla-Bodrum)'nın Fiziko-Kimyasal Özellikleri. Ekoloji 13, 50, 10-17.

Yinanç, 2013. Kahramanmaraş Sağ Sahil Sulama Alanında Yeraltı Suyu Kalitesi Ve Sulamada Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesii Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. S: 49.

Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. 2018. Irrigation Water Quality. Chapter 5.

BÖLÜM 13

YEŞİL SENTEZ METAL/METAL OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN SUCUL EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma CAF[1], Dr. Öğr. Üyesi Bülent KAYA[2], Esra BALKİS[2]

[1] Bingöl Üniversitesi, Gıda Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, Bingöl, Türkiye. Orcid Id:0000-0002-0363-4848, fcaf@bingol.edu.tr
[2] Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genteik Bölümü, Bingöl, 12000 Turkey Orcid Id:0000-0002-1216-6441, bkaya@bingol.edu.tr
[3]Orcid Id: 0000-0002-7148-2145, 2021122002@bingol.edu.tr

1. Giriş

Nanoteknoloji, moleküler düzeyde fonksiyonel sistemler aracılığıyla maddenin 1-100 nanometre boyutlarındaki davranışlarını anlama ve kontrol etme bilimi olarak tanımlanmaktadır. Nanoteknolojinin temelini oluşturan nanopartiküller, yüksek yüzey alanları güç/ağırlık oranları ile beraber amaca göre değiştirilebilen atom özelliklerinden dolayı bilimsel açıdan kullanılmaya elverişli ve yoğun ilgi gören bir araştırma konusu haline gelmiştir (Turan ve ark., 2019). Partiküllerin, nano boyutta sergiledikleri fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük boyutlardaki özelliklerinden daha farklıdır. Bu durum, nano boyuttaki partiküllerin makro boyutlu partiküllerle aynı atomlardan oluşmalarına rağmen farklı bir oluşum geometrisine sahip olmalarından ileri gelmektedir.

Nanopartiküller temel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik sentez yoluyla üretilmektedir. Üretimde kullanılan yöntemler; yukarıdan aşağı "*top down*" aşağıdan yukarı "*bottom up*" olarak adlandırılan iki ana yaklaşım olarak bilinmektedir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımı; hacimsel malzemeye dışarıdan mekaniksel ve/veya kimyasal işlemler ile enerji verilerek malzemenin mekanik öğütme ya da aşındırılması yoluyla nano boyuta kadar inebilecek küçük parçalara ayrılması temeline dayandırılmaktadır. Aşağıdan yukarıya yaklaşımı ise atomik ya da moleküler agregaların (kümelerin), kimyasal reaksiyonlar ile büyütülerek daha spesifik ve daha büyük sistemler olarak düzenlenmelerine dayanmaktadır. Yöntemin esası, atomlar veya moleküller ile organik veya inorganik yapı inşa etmektir. Aşağıdan

yukarı yaklaşımlarından biri olan yeşil sentez metodu; biyolojik materyaller ve inorganik maddeleri birlikte kullanarak nanopartikül sentezleme yöntemidir. Yeşil sentez metodu ile üretilen nanopartiküller birçok açıdan kimyasal yöntemlerle üretilenlere göre daha üstün özelliklere sahiptir. Son on yılda bitkiler, algler, su yosunları, bakteriler, mayalar ve mantarlar dâhil birçok organizmada bulunan proteinlerin ve metabolitlerin indirgeyici etkileri ile inorganik metal iyonlarını metal nanopartiküllere dönüştürebileceği gösterilmiştir. Bu sentez yöntemi esas olarak organizmalarda bulunan sekonder metabolitler, karbonhidratlar, enzimler, proteinler, aminoasitler gibi biyomoleküller ile metal iyonlarının indirgenmesi prensibine dayanmaktadır (Manikandan ve ark., 2017; Kumar, 2017; Al- Gburi, 2018). Nanopartikül üretimi için toksik ve pahalı fiziksel yöntemlere alternatif olarak mikroorganizmalar, bitkiler ve alglerin kullanılması nano aralıktaki malzemelerin sentezlenmesine çok yardımcı olacaktır. Ayrıca oluşacak yan ürünün toksisitesi diğer sentetik yöntemlere göre daha az olacaktır. Bilim insanlarının çoğu, yeşil materyallerin yardımıyla nanopartiküllerin sentezi sırasında herhangi bir toksik madde salınımı olmayacağı konusunda hemfikirdir (Yasmin ve ark., 2014; Ribeiro ve ark., 2014).

Nanopartikülleri cazibe merkezi haline getiren partikül boyutu ve yüzey alanı, yüzey kaplama, parçacık bileşimi ve kristal yapı, yüzey yükü ve yığılma derecesi, parçacık morfolojisi gibi özellikleri onlara bazı yararlı davranışlar kazandırabilir. Aynı zamanda onların toksisite mekanizmalarını da etkileyebilir. Partikül boyutu ve yüzey alanı;

biyolojik sistemlerle etkileşimlerinin yanı sıra nanopartikülün çevreye taşınmasını etkileyen kritik özelliklerindendir. Nanopartiküllerin küçük boyutları genellikle çökelmelerini engeller ve bu parçacıklar hava veya su gibi çevresel ortamlarda asılı kalırlar. Nanopartikül boyutunun; endositik yolu, hücresel alımını ve etkinliğini değiştirdiği Aillon ve arkadaşları tarafından kanıtlanmıştır (Aillon ve ark., 2009). Nanopartiküllerin sitotoksik özellikleri yüzey kaplamasından etkilenir. Çünkü bu durum nanopartükülün kimyasal reaktiflik, optik, elektriksel ve manyetik özellikler gibi fizikokimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle yüzey kaplaması, kullanılan kaplamanın niteliğine göre toksisiteyi ortadan kaldırabilir veya indükleyebilir (Yin ve ark., 2005). Nanopartikül toksisitesinin belirlenmesinde nanopartikül bileşiminin önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Aynı partikül boyutu ve kimyasal bileşimdeki nanopartiküllerin kristal yapısının nanopartikül toksisitesini etkilediği belirtilmiştir (Gurr ve ark., 2005). Yüzey yükü, nanopartiküllerin aglomerasyonunu, toksisitesini ve kararlılığını kontrol etmektedir (Mohammad ve ark., 2012; Gatoo ve ark., 2014).

Nanopartiküller; küre, küp, üçgen, yıldız, çubuk, metal bazlı ve diğerleri gibi farklı şekillere sahiptirler. Parçacık morfolojisi, endositoz veya fagositoz süreçleri sırasında meydana gelen zar sargısını etkilediği için önemlidir. Homojen veya heterojen küresel nanoparçacıkların endositozunun diğer nanopartikül formlarına kıyasla daha kolay daha hızlı ve daha az toksik olduğu bildirilmiştir (Gatoo ve ark., 2014;Turan ve ark., 2019).

Nano boyuttaki malzemeler, kimyasal bileşimlerine göre farklı kategorilere ayrılmaktadır. Gümüş, altın, demir, alüminyum, bakır, magnezyum, paladyum, çinko ve platin gibi elementlerden elde edilenler metal nanopartikülleri kapsamaktadır. Metal nanopartiküller metallerin tuz veya bileşiklerinden (oksit, hidroksit vs.) yapılmış nano ölçekli maddelerdir. Metal oksit nanoparçacıklar ise iki metal parçanın (-O-) oksi veya hidroksil köprüleri (–OH–) ile bağlanmasıyla oluşmaktadır. Yapısında en az bir oksijen atomu bulunan metal içerikli bileşiklerdir. Titanyum dioksit (TiO_2), Çinko Oksit (ZnO_2) ve demir oksit (Fe_2O_3) gibi bileşenler metal oksit olarak adlandırılmaktadır (Krysanov ve ark., 2010). Bu partiküller arasında en çok kullanılanlar; TiO_2, SiO_2 ve ZnO şeklinde sıralanmaktadır (Marouzi ve ark., 2021). Metalik nanopartiküller, metal oksit nanopartiküllere kıyasla daha kararlı olma eğilimindedir ve kolay çözünmezler. Metalik nanopartiküllerin aksine metal oksit ve metal alaşımı bazlı nanomalzemeler, daha düşük bir stabilite derecesi sergileme eğilimindedirler. Dolayısıyla biyolojik bir ortama verildiklerinde, çözünme ve iyon salınımına karşı daha hassas davranırlar. Bu nedenle reaktif oksijen türlerinin üretimine ve hücrelerde oksidatif strese sebep olurlar (Vance ve ark., 2015; Marouzi ve ark., 2021).

Metal/metal oksit nanopartiküller; tıpta hastalıkların teşhiş ve tedavisinde, sensör uygulamalarında, kozmetik gibi pek çok alanda kullanım imkânı bulmaktadır. Fe_2O_3, TiO_2, ZnO ve Al_2O_3 gibi metal oksitler üretimi çok kolay olan nanopartiküllerdir. Saydam özellikleri

ve boyutları dolayısıyla UV ışınları absorbe ederler ve bu özelliklerinden dolayı pek çok kozmetik ürünün üretiminde ve özellikle güneş koruyucu losyonlarda çok fazla kullanılmaktadırlar (Kokdemir ve Perendeci, 2016).

Manyetik özellik gösteren demir oksitler nanopartikülleri mineral halde bulunmaktadırlar. Çok çeşitli uygulamalara ve yaygın bir kullanıma sahiptirler. Gıda ile ilgili çeşitli uygulamalarda, organik ve inorganik kirleticiler içeren atık suların arıtılmasında, antimikrobiyal ajanlar gibi çevresel uygulamalarda, farklı ağır metallerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadırlar (Rizvi ve ark., 2021).

Titanyum Dioksit; doğada hazır bir şekilde bulunan beyaz pigmente alternatif olarak kullanılan TiO mineral yataklardan elde edilebilir. Optik ve elektrik özelliklerinden dolayı oldukça dikkat çekmektedir. Magnezyum oksit nanopartiküller; zor koşullarda yüksek derecede kararlılık göstermesi, antimikrobiyal aktivitede yüksek etkinlik sağlaması, biyouyumlu ve düşük maliyetli olması, boya giderimi ve biyoremediyasyonda kullanılması gibi pek çok özelliğinden dolayı ön plana çıkmaktadır. MgO'nun kimyasal yapısı, yüzeyinde asit ve baz özellik taşıyan alanlar varmış gibi davranmasına sebep olur. Bundan dolayı antibakteriyel ve antioksidan aktivitesi yüksektir (Fardood ve ark., 2018).

Metal/metal oksit nanopartiküller, biyolojik dokularda ciddi hareketliliğe sahiptirler ve olası yan etkileriyle ilgili araştırmalar ciddiyetle devam etmektedir. Özellikle biyomedikal uygulamalardan önce yan etkilerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Metal/metal

oksit nanoparçacıklarının veya nano-formülasyonlarının kısa ve uzun vadeli toksisite değerlendirmesi, küresel biyomun güvenliğini sağlamak için büyük önem taşımaktadır; aksi takdirde, bir fiyaskoyla sonuçlanabilir.

Teknolojideki son gelişmeler dikkate alındığında metal ve metal oksit nano malzemelerin biyomedikal ve farmasötik uygulamalar dahil olmak üzere tedavi, ilaç verme, görüntüleme gibi daha pek çok alanda varlık gösterdiği tespit edilmiştir (Murthy ve ark., 2020; Manuja ark., 2020).

Nanoteknolojideki gelişmeler umut vadedici olsa da nanopartiküllere kasıtlı veya kazara maruz kalmanın insan, hayvan ve çevre üzerine toksik etkileri olabilmektedir. Nanopartiküllerin toksisite mekanizmaları onların boyutları ve yüzey alanlarıyla ilgilidir. Maddelerin makro/mikro boyutta sergiledikleri özellikleriyle nano boyutta sergiledikleri özellikleri birbirinden oldukça farklı olmaktadır (Chusuei ve ark., 2013; Pareek ve ark., 2018; Manuja ve ark., 2021).

Metal ve metal oksit bazlı nano malzemeler, maksimum yüzey yapışma kapasitesi ve muazzam yüzey/hacim oranı sayesinde çok yüksek düzeyde katalitik verimlilik sağlamaktadır (Saif ve ark., 2016). Sulardaki kirliliğin en önemli sebeplerinden biri organik boyalardır ve bu boyalar; tekstil, kâğıt fabrikaları, gıda, deri, plastik, ilaç ve baskı endüstrilerinde çok yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Tekstil sektöründe kullanılan boyanın yaklaşık %50-60'ı birçok kumaşın pigmentasyon sürecinde kullanılmaktadır. Bu uygulamadan sonra boyaların yaklaşık %16' sı doğadaki su kaynaklarına karışarak kirliliğe

neden olmaktadır (Husen ve Siddiqi, 2014). Üretim süreçlerinden dolayı bu tip kirleticiler, ciddi çevresel kirlilik kaynakları oluşturmaktadır. Hem güneş ışığının içeri girmesini sınırlandırdığı için istenmeyen bulanıklığa neden olurlar hem de biyolojik saldırılara ve fotokimyasal süreçlere sebep olurlar. Dolayısıyla deniz ve tatlı sudaki fotosentez yapan omurgalı, omurgasız canlıların yaşamını tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle boya çözeltileri ile biriken atıkların uygun şekilde arıtılması, güvenli ve temiz suya olan taleplerinin karşılanması açısından önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada, tehlikeli kirleticilerin oksidasyonunu gerçekleştirmek için metal/metal oksit bazlı nanopartiküllerin kullanımı günümüzde daha fazla ilgi görmektedir (Srivastava, 2014).

TiO_2, ZnO, WO_3, CuO, SnO_2 ve FeO gibi metal oksitler atık sulardan boya gideriminde büyük oranda başarı sağlamaktadır. Bu tür nano bazlı fotokatalizörlerin, organik kirleticilerin su kaynaklarından uzaklaştırmasında, yüksek yüzey alanı/kütle oranları, yüzeylerindeki aktif noktaların yoğunluğundan dolayı çok daha düşük konsantrasyonlarda bile organik boyaları uzaklaştırma kapasiteleri vardır. Dolayısıyla hem düşük doz da yüksek giderim hem de ekonomik olması atık sulardaki kirliliği uzaklaştırmada metal/metal oksit nanopartikülleri cazip hale getirmektedir (Saif ve ark., 2016). Bu nanomalzemler, aktivasyon enerjisi engellerini azaltarak reaktantın yüzeyine adsorpsiyonunu teşvik ederek reaksiyon hızını artırabilir. Böylece endüstriyel kirliliğin sulardan uzaklaştırılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Tüm bu avantajlarından dolayı bu grupların

uzun vadede su ekosistemindeki canlılar üzerindeki etkilerinin sorgulanması kaçınılmaz hale gelmiştir. Nano ölçekli titanyum dioksit, çinko oksit ve seryum oksit parçacıklarının %90' ından fazlasının doğal tatlı suda nispeten kararlı olduğunu fakat deniz suyunda bu nanomalzemelerin %30'a yakının kalıntı bıraktığı bildirilmiştir (Keller ve ark., 2010). Metal/metal oksitlerle ilgili 1.015,395 çalışma literatürde mevcut olup 339 tanesi yeşil sentez ile üretilmiştir. Üretilen bu nanopartiküller daha çok su ortamından endüstriyel boya ve ağır metal giderimi ile ilgilidir. Aquatik canlılar üzerindeki etkileri ile ilgili sınırlı çalışma yapılmıştır.

Tüketici ürünlerinde metal ve metal oksit nanoparçacıkların kullanımındaki devamlı artış bu nanopartiküllerin, biyolojik döngünün bir parçası olan insanlara su ve sudaki canlılar aracılığıyla taşındığı düşünüldüğünde sudaki toksisitesinin belirlenmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi nanopartikülün parçacık boyutu, şekli, yüzey yükü ve sentezinde kullanılan malzeme dâhil olmak üzere çeşitli özelliklerinin ekotoksisite üzerinde belirgin olumlu veya olumsuz etkileri olabilmektedir. Dolaysıyla kimyasal ve yeşil sentez ile elde edilen nanopartiküllerin sucul ekosistem üzerindeki etkileri açıktır.

Su ekosisteminde besin zincirinin birincil üreticisi olan algler, besin zincirinin birincil tüketicisi olan *Daphnia* önemli bir rol oynar ve ekotoksikolojik çalışmalarda tercih edilen sucul model organizmalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla *Daphnia magna*

popülasyonunun büyüklüğünde herhangi bir değişiklik olması tatlı sularda toksisitenin önemli bir göstergesidir.

Metal ve metal oksit nanopartiküllerinin farklı akuatik canlılar üzerinde toksikolojik etkilerini belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarda; karaciğer ve antioksidan enzim gruplarına, gen ekspresyonu ifadelerindeki değişimlere, enzim detoksifikasyonlarına, histopatolojik değişikliklere ve biyokimyasal parametrelerine bakılmıştır (Fardood ve ark., 2018; Rani ve ark., 2011; Ateş, 2015). Yapılan çalışmalarda sucul ekosistemde en fazla çalışılan metal grubu gümüş olmuştur. Bu durum gümüş nanoparçacıkların (AgNP'ler) yaygın kullanımına bağlanabilir. Gümüş nanopartiküller; elektrik, optik ve termal özelliklerinden dolayı oldukça dikkat çekmektedir. Yüksek antimikrobiyal etkiye sahiptirler. Gümüş elementinin uzun zamandan beridir bilinen antimikrobiyal etkisi nano ölçekte görülen geniş yüzey alanı, küçülen partikül boyutuyla daha da artmaktadır (Anonim, 2021).

Gümüş nanopartiküllerin, sucul ekosistemdeki canlılar üzerindeki etkileri hakkında fazlaca çalışma yapıldığı için güvenilirliği muadillerinden daha az endişe vericidir. Gümüş nanoparçacık, mükemmel antibakteriyel özelliğinin yanı sıra tek değerlikli gümüşten metal bazlı gümüş nanoparçacıklara daha kolay indirgenmesi (Ajeel ve ark., 2019), plazmonik uyarıma yönelik maksimum performansı (Darr ve ark., 2017), tekstil, ilaç dağıtımı, tıbbi aktivite, su arıtma, biyoaktivite ve kimyasal kataliz gibi baskı alanlarında geniş uygulamaları ve antimikrobiyal özelliklerinden dolayı cerrahi aletler,

yara pansumanları, bağ protezleri ve farklı elektronik cihazların yapımı gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Naeem ve ark., 2020). Dolayısıyla gümüş nanoparçacıkların su kütlesine kasıtsız salınımların olması kaçınılmazdır. Bu nedenle, AgNP'lerin suda yaşayan hayvanlar üzerindeki potansiyel zararlarının anlaşılması zorunlu bir hal almıştır.

Halymenia porphyraeformis'ten yeşil sentez (Gr) ile elde edilen AgNP'lerin, kimyasal (Ch) AgNP'lerin ve gümüş tuzunun *Cyprinus carpio* üzerindeki oksidatif stres ve histopatolojik etkisinin araştırıldığı çalışmada: Gr-AgNP'ler ve Ag-tuzu ile karşılaştırıldığında Ch-AgNP'lerle tedavi edilen karaciğerde yüksek düzeyde nekroz gözlendiği, fakat AgNP'lerin suda yaşayan hayvanlar için çözünmüş haldeki Ag tuzuna ($AgNO_3$) kıyasla daha zararlı olduğu sonucuna varılmıştır (Liaqat ve ark., 2021). Başka bir çalışmada Rani ve ark. (2011), kimyasal ve *Piper betle*'nin yaprak ekstresini kullanarak yeşil sentezle elde ettikleri nanopartiküllerin toksisitesini karşılaştırmak için model organizma olarak *Daphnia magna'yı* kullanmışlardır. Çalışmada kimyasal AgNP'lere kıyasla, yeşil sentez AgNP sistemindeki nanoparçacığın etrafındaki protein tabakasının toksisiteyi önemli ölçüde azalttığını gözlemlemişlerdir.

Yeşil sentez yönteminin daha az toksik olmasında sekonder metabolitler, karbonhidratlar, enzimler, proteinler, aminoasitler gibi biyomoleküllerle metal iyonlarının nanopartikülü daha kararlı hale getirmesinden kaynaklı olduğunu düşündürmektedir. Gümüş nanopartiküllerin ve gümüş nitratın toksisitesini belirlemek üzere *Pseudokirchneriella subcapitata* (mikroalg) , *Daphnia magna* (su

kabuklusu) ve *Danio rerio* (zebra balığı) kullanılarak yapılan çalışmada: Elde edilen verilerden hem $AgNO_3$ hem de Ag NP'nin toksisitesinin test türlerine göre önemli ölçüde farklılık gösterdiği saptanmıştır. Algler için toksisite değerlerinde herhangi bir farklılık gözlenmezken zebra balığı için toksisite değerinin biraz daha yüksek olduğu ve *D. magna* için bu farklılığın önemli ölçüde yüksek olduğu bildirilmiştir. Alglerde hücre duvarı gözeneklerinin çapı 5-20 nm arasındadır, bu nedenle yalnızca bu boyut aralığındaki Ag nanopartiküllerini biriktirebildiği gözlemlenmiştir. Hücre duvarı ile etkileşiminde toksisite değeri üzerinde etkili olduğu düşünüldüğünde maruziyet süresi ve miktarı arttıkça nanopartikül birikme oranının da aynı şekilde artış göstereceği belirtilmiştir. Zebra balığı yumurtaları 96 saat boyunca $AgNO_3$ ve Ag NP'ye maruz bırakılmış ve $AgNO_3$'ın, 48. saatte LC_{50} değeri incelendiğinde embriyolar için Ag NP'den daha yüksek toksisiteye sahip olduğunu ayrıca yumurtalarda anormallikler gözlendiği bildirilmiştir. Daha yüksek konsantrasyonlarda ise büyüme ve gelişme anormallikleri gözlenmiştir. 21 gün boyunca $AgNO_3$'a maruz kalan *Daphnia*'da üremede bir azalış kaydedilmiştir. Büyümede herhangi bir fark gözlenmemiştir. Zebra balığı yumurtaları için farklı anormallikler elde edildiğinden hücresel ve moleküler düzeyde daha fazla etkileşimin tam mekanizması hakkında bilgi geliştirmek için araştırılması gerektiği belirtilmiştir (Fardood ve ark., 2018).

Demir oksit nanoparçacıklarının suda yaşayan organizmalar üzerindeki ekolojik etkilerini incelemek için zebra balığının (*Danio*

rerio) kullanılmış ve sonuçlar, 10 mg/L demir oksit nanoparçacıklarının bu embriyolarda gelişimsel toksisiteyi tetikleyerek ölüme, kuluçka gecikmesine ve malformasyona neden olduğu bildirilmiştir (Zhu ve ark., 2012).

Federici ve arkadaşları tarafından titanyum dioksit nanopartiküllerinin gökkuşağı alabalığında (*Oncorhynchus mykiss)* solungaç yaralanması, oksidatif stres ve diğer fizyolojik etkilerini belirlemek üzere yaptıkları çalışmada: alabalıkları 14 gün boyunca farklı konsantrasyonlarda (0.1, 0.5 veya 1.0 mg) TiO_2'te maruz bırakmışlardır. Ödem ve lamellerde kalınlaşma gibi bazı solungaç patolojilerine neden olduğu bildirilmiştir. Kan plazma değerlerinde herhangi bir değişiklik kaydedilmemiştir. Bunlarla birlikte, bazı dokularda özellikle beyinde, Cu ve Zn seviyelerinde maruziyet konsantrasyonuna bağlı olarak bazı değişiklikler gözlenmiştir. Solungaçlarda ve beyinde konsantrasyona bağlı olarak Na^+, K^+, ATPaz aktivitesinde azalma eğilimi olduğunu belirtmişlerdir (Federici ve ark., 2007).

Taherian ve ark. (2019), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üzerinde *Satureja hortensis* kaynaklı çinko oksit nanopartiküllerinin (ZnO NP) akut toksisitesini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada: Yeşil sentez yoluyla elde edilen ZnO nanopartikülleri, deneye tabi tutulan üç gruba farklı konsantrasyonlarda (1, 10 ve 100 mg/L) ZnO nanopartiküllerine maruz bırakılmıştır. Deneyin süresi 96 saat olup ölüm oranları 24, 48, 72 ve 96. saatlerde kaydedilmiştir. Sonuçlar istatistiki analizler kullanılarak değerlendirildiğinde; kontrol grubunda ve 1 mg/L konsantrasyonda herhangi bir ölüm

gözlenmemiş, ilk 24 saatte 10 mg/L konsantrasyonda 1 ölüm olduğu belirtilmiştir. 100 mg/L konsantrasyonda balık popülasyonunda yüksek bir ölüm oranı gözlenmiş böylece deneyin ilk 24 saatinde 3 ve ilk 48 saatte 8 balık öldüğü bildirilmiştir. 96. saatteki LC_{50} değerinin gökkuşağı alabalıkları için 25.50 mg/L olduğu tespit edilmiş ve nanopartikül konsatrasyonu arttırıldığında ise yaşam süresinin kısaldığı belirtilmiştir. *Satureja* bitkisinden sentezlenen ZnO için elde edilen LC_{50}'ye ve diğer çalışmalarda kimyasal olarak üretilen nanopartiküllere kıyasla yeşil nanopartikül sentezinin çok daha az tehlikeli ve iyi bir alternatif teknik olduğu belirtilmiştir (Ateş, 2015).

Annona squamosa tohumları (As-Pd NP'ler) kullanılarak yeşil sentez ve kimyasal çöktürme yöntemiyle sentezlenen paladyum nanoparçacıklarının (Pd NP'ler) toksisitesi, nanopartiküllerin olası güvenilirliğini hayvan modeli olarak zebra balığında antioksidan enzimlerin değişimine bakarak yeşil yolla sentezlenen As-Pd NP'lerin kimyasal olarak sentezlenen Pd NP'lere kıyasla daha az toksik olduğu bildirilmiştir.

Kozmetik geliştirme, ilaç ve hastalık teşhisi dâhil olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesi bulan SiO_2 nanopartikülünün aquatik canlılar üzerindeki etkisi *Labeo rohita* 'da (Priya ve ark., 2015), birçok hematolojik parametreyi ve solungaçtaki plazma sodyum, potasyum ve klorür seviyeleri ve Na+/K ATPaz aktivitesini değiştirdiği, *Danio rerio*'da parçalanmış doku DNA'sı ile katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon-S-transferaz, glutatyon redüktaz ve GSH gibi antioksidan

enzimlerin aktivitelerinde değişikliğe sebep olduğu bildirilmiştir (Ramesh ve ark., 2013).

Suda yaşayan organizmalar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerde su toksisitesi hakkında birçok rapor olmasına rağmen, toksisite seviyelerini, mekanizmalarını ve karşılaştırmalarını belirlemek için halen daha ileri seviye çalışmalar sınırlı sayıdadır (Cahe ve ark., 2009; Park ve ark., 2015; Aksakal ve ark., 2021).

Suda yaşayan bir böcek türü olan tatarcık (*Phlebotomus sp.*) da çıplak (kimyasal sentez) ve kaplanmış (yeşil sentez) gümüş nanoparçacıkların ekotoksisitesini araştırıldığı çalışmada: Kaplanmış nanopartiküllerin moleküler düzeyde değişikliğe neden olduğunu fakat çıplak formlara nazaran yüksek düzeyde etkilerinin olmadığını bildirmişlerdir (Park ve ark., 2015). Bu çalışmalar ışığında, kaplanmış nanopartiküllerin toksisiteyi azaltma etkisine sahip olduğu söylenebilir.

Cahe ve ark., (2009), gümüş nitrat ve gümüş nanopartikülünün *Japanese medaka* üzerinden toksik etkilerine moleküler düzeyde baktıkları çalışmada: Ag-NP'lerin, kanserojen ve oksidatif streslerin yanı sıra hücresel ve DNA hasarlarına yol açtığını, metal detoksifikasyon/metabolizma düzenlemesi ve radikal süpürme eylemi ile ilgili genleri de indüklediğini bildirmişlerdir. Buna karşılık, gümüş nitrata maruz kalan balığın karaciğerinde inflamatuar yanıtın ve metalik detoksifikasyon süreçlerinin indüklenmesine rağmen Ag-NP'lerle karşılaştırıldığında daha düşük bir stres yanıtı oluşturduğu kaydedilmiştir. Bir model organizma olan *Daphnia magna* üzerinde

hem kimyasal hem de yeşil sentez *(Salvia aethiopis)* yöntemiyle elde edilen AgNP nanopartiküllerinin etkilerini belirlemek için Aksakal ve ark. (2021), tarafından yapılan çalışmada: Hem NP boyutu hem de yüzey kaplama malzemelerinin model organizmanın hayatta kalma oranında önemli roller oynadığını göstermiştir. İki sentez yönteminde de doza bağlı toksisite gözlenmiştir. Ayrıca AgNP'lere maruz kaldıktan sonra detoksifikasyon genlerinin ifadesinde önemli değişiklikler gözlendiğini fakat üreme sistemi genlerinin ifadesinde anlamlı bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Birçok çevresel kirletici antioksidanla ilgili genlerin ifadesini değiştirebileceği çıkarımında bulunulabilir.

Abdulrahman ve ark. (2021), yaygın bir kullanım alanına sahip olan titanyum dioksit nanoparçacıklarının (TiO_2 NP'ler) hem tatlı su yosunu *Chlorella pyrenoidosa* hem de zebra balığı karaciğer hücre hattı (ZFL) üzerinde maruz kalma etkisini değerlendirmişlerdir. TiO2 NP'lerin *C. pyrenoidosa*'ya yönelik akut toksisitenin belirlenmesinde kritik bir role sahip olduğunu fakat zebra balığı karaciğer hücre hattında etkinliğinin olmadığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda düşük konsantrasyonda TiO_2 NP'lerin alg büyümesi üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu da vurgulamışlardır.

2. Sonuç ve Öneriler

Nanoteknolojinin insanlığın refahı için önemi tartışılamaz fakat nanoteknoloji yeni ve yaygın kullanıma sahip bir alan olduğundan risk değerlendirmesi ve yönetimi ile ilgili daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Naopartikülerin boyutları çok küçük olduğu için doğadaki salınımı ve

kirliliği gözle görmeyi sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla sulardaki bu risk faktörünü ölçebilecek cihazların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu grupların suda yaşayan canlılar üzerinde toksik olup olmadığının incelenmesi önemli bir adımdır çünkü biyolojik olarak aktif bölgeler içermeleri sudaki biyotik gruplarla etkileşime girmesini kaçınılmaz hale getirmektedir. Bu nanomalzemelerin sudaki bütün biyotik gruplarla etkileşimi söz konusudur. Sedimentte çökelti oluşturarak buradaki bakteri gruplarına etkisi, suda askıda kalması zooplanktonlara, yosunlara ve balıklara etkisi, sudaki çözünmüş haldeki elementlerle etkileşime girmesi muhtemeldir. Doğa için yabancı partiküllerin ileri vadede doğayı nasıl etkileyebileceğini öngörebilmemiz için uzun ve kısa vadedeki toksikolojik etkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Yeşil sentez ve proses tekniklerinde kullanılan biyojenik materyaller zararlı kimyasal sentezde kullanılan materyalle yer değiştirmesinin az bilinen avantajlarından biri; yapılarındaki aktif bileşiklerin nanopartikülün etrafında kaplama sağlayarak daha az toksik bileşiklere dönüşmesini sağlamasıdır.

Yeşil sentez tekniğinde metal ve metal oksit grupların bitki özleriyle indirgenerek alternatif antimikrobiyal kaynağı olması önemli bir avantajdır. Böyle yüksek avantajlarının yanında bunların üretimi esnasında nanopartiküllerin indirgenmesinde rol alan metal ve metal oksit bileşiklerin insanlığın yararına kullanımı noktasında; bunların doğadaki etkilerinin izlenmesi için gerekli bilgiye sahip olmak zorunluluk arz etmektedir. Bununla birlikte, yeşil sentez ürünlerin gıda, kozmetik ve ilaç endüstrisi gibi diğer geniş alanlarda kapsamlı

bir şekilde uygulanabilir olması kimyasal senteze göre çevreye uyumlu olmasından dolayı daha çok tercih edilmektedir.

Yeşil sentez tekniklerinde bitkilerle ilgili çok sayıda çalışma mevcut olup deniz altında biyomalzeme üretimi için hâlâ çalışılmamış deniz altındaki bitkiler ve algler gibi alternatif çok fazla biyojenik materyaller mevcuttur. Bugün birçok faydası bilinen bu prosessin etkilerinin ayrıntılı bir şekilde çalışılması gerekmektedir çünkü bu tür malzemelerin doğaya atılması uzun vadede bütün biyotik gruplarda olağandışı davranışları tetikleyebilir. Bu tip nanomalzemelerin işlenmesi, uygulanması, depolanması, bertaraf edilmesi için etkili bir risk yönetimi geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Abdulrahman, A. A., Zhang, L., Yang, J., Wei, F., Chen, C., Sun, D. (2021). Toxicity assessment of synthesized titanium dioxide nanoparticles in fresh water algae Chlorella pyrenoidosa and a zebrafish liver cell line. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211: 111948.

Aillon, K. L., Xie, Y., El-Gendy, N., Berkland, C. J., Forrest, M. L. (2009). Effects of nanomaterial physicochemical properties on in vivo toxicity. *In Advanced Drug Delivery Reviews*, 61(6):457–466).

Al- Gburi, S. A. (2018). Green Synthesis of Silver Nanoparticles. Ms Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Ajeel, R. K., Salim, W. I., Hasnan, K. (2019). Experimental and numerical investigations of convection heat transfer in corrugated channels using alumina nanofluid under a turbulent flow regime. *Chemical Engineering Research and Design*, 148: 202-217.

Anila, P. A., Keerthiga, B., Ramesh, M., Muralisankar, T. (2021). Synthesis and characterization of palladium nanoparticles by chemical and green methods: A comparative study on hepatic toxicity using zebrafish as an animal model. Comparative *Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 244: 108979.

Anonim. (2021). Nanopartiküller Hakkında Her Şey-Nanografi Türkiye. https://shop.nanografi.com.tr (Erişim tarihi: 12 .03. 2021).

Ateş, H. (2015). Nano Parçacıklar ve Nano Teller. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji GU J Sci Part:C,* 3(1):437-44.2

Chae, Y. J., Pham, C. H., Lee, J., Bae, E., Yi, J., Gu, M. B. (2009). Evaluation of the toxic impact of silver nanoparticles on Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Aquatic Toxicology,* 94(4): 320-327.

Chusuei, C.C., Wu, C.H., Mallavarapu, S., Hou, F.Y. S., Hsu, C.M., Winiarz, J.G., Huang, Y.W. (2013). Cytotoxicity in the age of nano: the role of fourth period transition metal oxide nanoparticle physicochemical properties. *Chemico-Biological İnteractions,* 206(2): 319-326.

Darr, J. A., Zhang, J., Makwana, N. M., Weng, X. (2017). Continuous hydrothermal synthesis of inorganic nanoparticles: applications and future directions. *Chemical Reviews,* 117(17): 11125-11238.

Fardood Taghavi, S., Ramazani, A., Woo Joo, S. (2018). Eco-friendly synthesis of magnesium oxide nanoparticles using arabic Gum. *Journal of Applied Chemical Research,* 12(1): 8-15.

Federici, G., Shaw, B. J., Handy, R.D. (2007). Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss):* Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects. *Aquatic Toxicology,* 84(4): 415–430.

Gatoo, M.A., Naseem, S., Arfat, M. Y., Mahmood Dar, A., Qasim, K., Zubair, S. (2014). Physicochemical properties of nanomaterials: implication in associated toxic manifestations. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International*, Volume 2014, Article ID 498420, 8 pages.

Gurr, J. R., Wang, A. S. S., Chen, C. H., Jan, K. Y. (2005). Ultrafine titanium dioxide particles in the absence of photoactivation can induce oxidative damage to human bronchial epithelial cells. *Toxicology*, 213(1–2): 66–73.

Husen, A., Siddiqi, K. S. (2014). Plants and microbes assisted selenium nanoparticles: characterization and application. *Journal of Nanobiotechnology*, 12(1): 1-10.

Içoglu Aksakal, F., Yilmaz, A., Koc, K., Özdemir, S. (2021). A comparative study on aquatic toxicity of chemically-synthesized and green synthesis silver nanoparticles on *Daphnia magna*. *International Journal of Environmental Health Research*, 1-11.

Keller, A. A., Wang, H., Zhou, D., Lenihan, H. S., Cherr, G., Cardinale, B. J., Ji, Z. (2010). Stability and aggregation of metal oxide nanoparticles in natural aqueous matrices. *Environmental Science & Technology*, 44(6): 1962-1967.

Kokdemir Ünşar, E., Perendeci, A. (2016). Environmental fate of nanoparticles and their impacts on anaerobic digestion process. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(6): 503–512.

Krysanov, E.Y., Pavlov, D.S., Demidova, T.B., Dgebuadze, Y.Y. (2010). Effect of nanoparticles on aquatic organisms. *Biology Bulletin*, 37(4): 406–412.

Kumar, S.R. (2017). Green Synthesis of Nanoparticles Using Plant Extracts and Their Effect on Rumen Fermentation In Vitro. Ms Thesis, Department of Anımal Nutrıtıon College of Veterınary Science. Ms Thesis, India.

Liaqat, F., Hanif, U., Bahadur, S., Faheem, M., Rasool, S., Gulzar, S., Munir, M. (2021). Comparative evaluation of the toxicological effect of silver salt ($AgNO_3$) and silver nanoparticles on *Cyprinus carpio* synthesized by chemicals and marine algae using scanning electron microscopy. *Microscopy Research and Technique*, 84(7), 1531-1541.

Manikandan, V., Velmurugan, P., Park, J. H., Chang, W. S., Park, Y. J., Jayanthi, P., Oh, B. T. (2017). Green synthesis of silver oxide nanoparticles and its antibacterial activity against dental pathogens. *Biotechnology*, 7(1), 72.

Manuja, A., Kumar, B., Kumar, R., Chhabra, D., Ghosh, M., Manuja, M., Brar, B., Pal, Y., Tripathi, B.N., Prasad, M.(2021). Metal/metal oxide nanoparticles: Toxicity concerns associated with their physical state and remediation for biomedical applications. Toxicology Reports, 8: 1970–1978.

Manuja, A., Raguvaran, R., Kumar, B., Kalia, A., Tripathi, B. N. (2020). Accelerated healing of full thickness excised skin wound in rabbits using single application of alginate/acacia based

nanocomposites of ZnO nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155: 823-833.

Marouzi, S., Sabouri, Z., Darroudi, M. (2021). Greener synthesis and medical applications of metal oxide nanoparticles. *Ceramics International*, 47(14), 19632–19650.

Mohammad, A. W., Lau, C. H., Zaharim, A., Omar, M. Z. (2012). Elements of nanotechnology education in engineering curriculum worldwide. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 60: 405–412.

Murthy, S. Effiong, P. Fei, C. C. (2020). Metal oxide nanoparticles in biomedical applications. *In Metal Oxide Powder Technologies*, 233-251.

Naeem, I., Munir, I., Durrett, T. P., Iqbal, A., Aulakh, K. S., Ahmad, M. A., Hussain, F. (2020). Feasible regeneration and agro bacterium-mediated transformation of *Brassica juncea* with *Euonymus alatus* diacylglycerol acetyltransferase (EaDAcT) gene. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5): 1324– 1332.

Pareek, V., Gupta, R., Panwar, J. (2018). Do physico-chemical properties of silver nanoparticles decide their interaction with biological media and bactericidal action? A review. *Materials Science and Engineering: C*, 90: 739-749.

Park, S.Y., Chung, J., Colman, B.P., Matson, C.W., Kim, Y., Lee, B.C., Choi, J. (2015). Ecotoxicity of bare and coated silver nanoparticles in the aquatic midge, *Chironomus*

riparius. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 34(9): 2023-2032.

Prasad, D., Patil, K.N., Sandhya, N., Chaitra, C.R., Bhanushali, J.T., Samal, A.K., Keri, R.S., Jadhav, A.H., Nagaraja, B.M. (2019). Highly efficient hydrogen production by hydrolysis of $NaBH_4$ using eminently competent recyclable Fe_2O_3 decorated oxidized MWCNTs robust catalyst. *Applied Surface Science*, 489: 538–551.

Priya, K. K., Ramesh, M., Saravanan, M., Ponpandian, N. (2015). Ecological risk assessment of silicon dioxide nanoparticles in a freshwater fish *Labeo rohita*: hematology, ionoregulation and gill Na+/K+ ATPase activity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *120*: 295-302.

Ramesh, R., Kavitha, P., Kanipandian, N., Arun, S., Thirumurugan, R., Subramanian, P. (2013). Alteration of antioxidant enzymes and impairment of DNA in the SiO_2 nanoparticles exposed zebra fish (*Danio rerio*). *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(7): 5873-5881.

Rani, P. U., Rajasekharreddy, P. (2011). Green synthesis of silver-protein (core–shell) nanoparticles using *Piper betle* L. leaf extract and its ecotoxicological studies on *Daphnia magna*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 389(1-3): 188-194.

Ribeiro, F., Gallego-Urrea, J. A., Jurkschat, K., Crossley, A., Hassellöv, M., Taylor, C., ... Loureiro, S. (2014). Silver nanoparticles and silver nitrate induce high toxicity to

Pseudokirchneriella subcapitata, *Daphnia magna* and *Danio rerio*. *Science of the Total Environment*, 466: 232-241.

Rizvi, M., Bhatia, T., Gupta, R. (2021). Green & sustainable synthetic route of obtaining iron oxide nanoparticles using *Hylocereus undantus* (pitaya or dragon fruit). *Materials Today: Proceedings*.

Saif, S., Tahir, A., Chen, Y. (2016). Green synthesis of iron nanoparticles and their environmental applications and implications. *Nanomaterials*, 6(11): 209.

Srivastava, V. (2014). In situ generation of Ru nanoparticles to catalyze CO_2 hydrogenation to formic acid. *Catalysis Letters*, 144(10): 1745-1750.

Taherian, S. M. R., Hosseini, S. A., Jafari, A., Etminan, A., Birjandi, M. (2019). Acute toxicity of zinc oxide nanoparticles from *Satureja hortensis* on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(6): 481-489.

Turan, N. B., Erkan, H. S., Engin, G. O., Bilgili, M. S. (2019). Nanoparticles in the aquatic environment: Usage, properties, transformation and toxicity-A review. *Process Safety and Environmental Protection*, *130*: 238-249.

Vance, M.E., Kuiken, T., Vejerano, E.P., McGinnis, S.P., Hochella, M.F., Hull, D. R. (2015). Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 6(1): 1769-1780.

Yasmin, A., Ramesh, K., & Rajeshkumar, S. (2014). Optimization and stabilization of gold nanoparticles by using herbal plant extract with microwave heating. *Nano Convergence*, 1(1): 1-7.

Yin, H., Too, H.P., Chow,G.M. (2005). The effects of particle size and surface coating on the cytotoxicity of nickel ferrite. *Biomaterials*, 26(29): 5818-5826.

Zhou, L., Liu, Y., Tan, X. (2022). Insights into the Synthesis, types and application of iron Nanoparticles: The overlooked significance of environmental effects. *Environment International*, 158: 106980.

Zhu X., Tian S., Cai Z. (2012). Toxicity assessment of ıron oxide nanoparticles in zebrafish (*Danio rerio*) Early Life Stages. *PLoS ONE*, 7(9): e46286.

BÖLÜM 14

TOPRAKTAKİ AĞIR METALLER ÜZERİNE MAKİNE ÖĞRENMESİ ÇALIŞMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Sema ATASEVER [1]

Arş. Gör. Başak ÖZTÜRK[2]

Arş. Gör. Dr. Mualla KETEN [3]

[1] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Nevşehir. Türkiye, sema@nevsehir.edu.tr ORCID ID:0000-0002-2295-7917.

[2] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Nevşehir. basakozturk@nevsehir.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-7295-2452.

[3] Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Nevşehir. mketen@nevsehir.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-7741-922X.

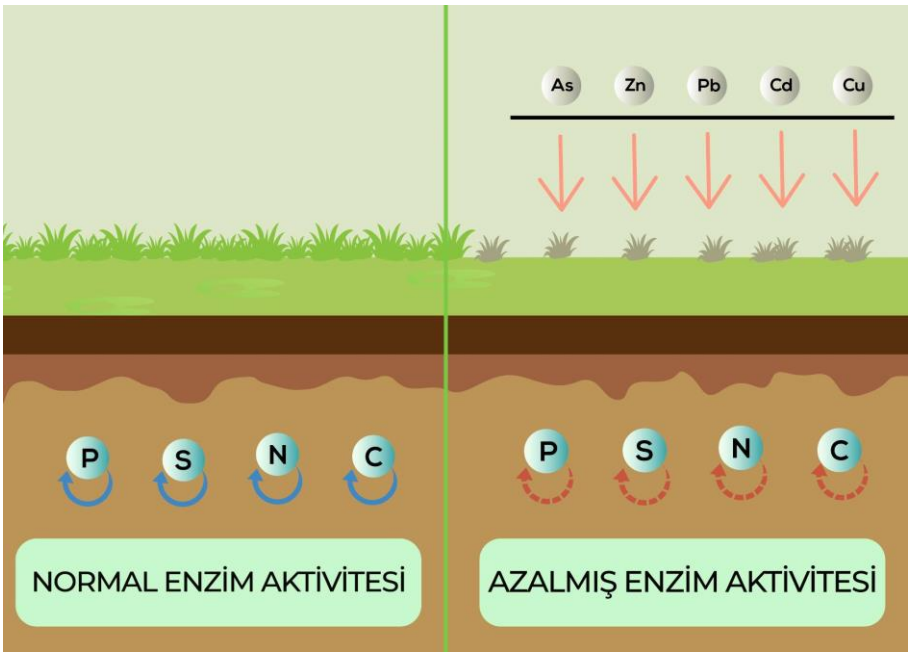
GİRİŞ

Bu bölümde, ağır metallerin dinamik bir sistem olan toprağa etkileri, ağır metal kirliliğinin nedenleri ve çevresel etkileri, iyileştirme stratejileri, kullanılan çevresel veriler, toprak örnekleri ve analizi gibi konular topraktaki ağır metaller üzerine güncel makine öğrenmesi çalışmaları aracılığı ile ele alınmaya çalışılmış, günümüzde sahada halen çalışılan ve uygulanan pek çok araştırma tanıtılmıştır. Son olarak bölüme ait genel değerlendirmelerin yer aldığı bölüm özeti sunulmuştur.

Yüksek atom ağırlığına sahip ağır metaller sudan en az 5 kat daha fazla yoğunluğa sahip olan elementlerdir (Aktepe, 2021). Bu elementler doğaları gereği yerkürede genellikle karbonat, silikat ve sülfür halinde stabil bileşik olarak veya silikatlar içinde bağlı olarak bulunurlar. (Kahvecioğlu ve ark., 2007; Kara ve ark., 2016; Okcu ve ark., 2009).

Yoğun bir şekilde artan evsel atıklar, endüstriyel, tarımsal, askeri faaliyetler, tıbbi ve teknolojik uygulamalar ağır metallerin çevrede geniş dağılımlarına yol açmıştır ve bu da insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel etkilerine ilişkin endişeleri gün geçtikçe artırmaktadır (Aktepe, 2021; Zeraatpisheh ve ark., 2020). Ağır metaller toprak-bitki-su sistemi aracılığıyla, bitki verimini ve canlıların sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşabildiği gibi temel mikrobiyal süreçleri etkileyerek toprak biyotasına toksik etkiler gösterir, toprak mikroorganizmalarının sayısını ve aktivitesini azaltır (Singh ve Kalamdhad, 2011). Yapılan bir çalışmaya göre ağır metallerin topraktaki enzim aktivitesini bastırdığı (Şekil 1) ve özellikle karbon (C)

ve kükürt (S) dolaşımını destekleyen enzimler üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Aponte ve ark., 2020; PHYS, 2020).



Şekil 1. Ağır metallerin toprak enzim aktivitesi üzerindeki etkisi (PHYS, 2020'den uyarlanmıştır).

Doğal ortamlarda kayaçların ayrışması sonucu toprağa ulaşan ağır metaller (Tuğyan ve Sungur, 2020) aynı zamanda hızla artan endüstriyel faaliyetler gibi çevresel etkilerle de günümüzde önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Endüstriyel faaliyetler genellikle topraklardaki ağır metallerin ana kaynakları olarak tanımlansa da, toprak özellikleri ve arazi gibi çevre koşullarının çeşitliliği ve birikimi yöneten faktörler hakkında daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Yang S. ve ark., 2021).

Çevresel açıdan en önemli ağır metaller arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr), kobalt (Co), bakır (Cu), cıva (Hg), manganez (Mn), nikel (Ni), selenyum (Se) ve çinkodur (Zn). Daha az bilinen, ancak yine de çevre açısından önemli olanlar ise: Antimon (Sb), baryum, (Ba), altın (Au), molibden (Mo), gümüş (Ag), talyum (Tl), kalay (Sn), tungsten (W), uranyum (U) ve vanadyum (V) elementleridir (Alloway, 2012).

Ağır metallerden arsenik toprağın üst katmanlarında daha fazla birikip çözünür halde bulunur ve sonrasında topraktaki ve sudaki arsenik bitkilere ulaşır (Pandey ve Singh, 2015; Kramar ve ark., 2015; Dixit ve ark., 2016; Dousova ve ark., 2016; Ma ve ark., 2016b). Benzer şekilde kadmiyum ve kurşun gibi diğer elementlerden daha fazla toksisiteye sahip olan ağır metaller de insan ve çevre sağlığını doğrudan tehdit etmektedir. Toprakta görülen ağır metal kirliliğinin, radyoaktif atık, organik atık, hidrokarbonlar, pestisitler gibi diğer kirleticilerden farklı olarak çözümü de oldukça zordur. Kurşun, nikel ve kadmiyum gibi ağır metallerin toprakta ve sulama amaçlı kullanılan atık sularda yüksek düzeyde bulunması sorunu, esas olarak tarım için kritik olan bu sistemlerde birikebilmelerinden kaynaklanmaktadır (Bazoobandi ve ark., 2019; Corinne ve ark., 2006). Dolayısıyla toksisite etkisi yüksek ağır metaller, doğalarında var olan birikimli ve bozunmayan özellikleri nedeniyle çevre için çeşitli potansiyel riskler oluşturup olağan işleyişi bozmaktadırlar. Bu potansiyel riskleri değerlendirerek toprağın ağır metal girdisini en aza indirmeyi amaçlayan iyileştirme stratejileri

geliştirmek için ağır metallerin tespiti önem arz etmektedir (Yang H. ve ark., 2021;Yang S. ve ark., 2021).

Ağır metal konsantrasyonunu izlemek için yapılan toprak testi, bitki analizi gibi geleneksel laboratuvar testleri hem pahalı hemde zaman alıcı testlerdir (Bazoobandi ve ark., 2019 ; Ma ve ark., 2016a). Yine benzer şekilde geniş ve dağınık alanlarda yer alan farklı işletmelerin kirlilik etkilerinin geleneksel yöntemlerle zamanında araştırılması ve raporlanması da son derece zordur (Jia ve ark., 2019). Bütün bunlara ilaveten kaynak ve personel yetersizliği, saha izleme maliyeti, sahayla ilgili emniyet sorunları, veri toplama ve analiz arasındaki zaman farkı gibi kısıtlamalar da inceleme raporlarının gecikmesine neden olmaktadır (Yaseen, 2021). Tarım gibi kesin tahmin ihtiyacı duyan bilimlerde makine öğrenmesi ya da hiper spektral görüntüleme gibi yöntemlerin geleneksel olan yöntemlerin potansiyelini artırması ile zaman ve para tasarrufu sağlanarak, toprak biliminde daha fazla çalışma gerçekleştirilebilir (Ma ve ark., 2016a ; Bazoobandi ve ark., 2019). Yapılan bu çalışmalar; toprak iyileştirme, bölgesel arazi kullanım planlaması, kirlilik kontrolü, erken uyarı ve risk değerlendirmesi için gerekli stratejilerin hazırlanması hususlarında karar verici merciler tarafından istenildiğinde kullanılabilir (Yang H. ve ark., 2021).

Gizli ilişkileri ortaya çıkarmak için güçlü bir araç olan makine öğrenimi yaklaşımları, düşük maliyetleri, yüksek tahmin doğruluğu gibi nedenlerle çevresel sorunları incelemek için giderek daha fazla uygulama alanı bulmaktadır (Yang H. ve ark., 2021). Örneğin makine öğrenimi tabanlı ağır metal simülasyonu (Yaseen, 2021), topraklardaki

ağır metal konsantrasyonlarını etkilemede çevresel faktörlerin önemi ve kirlilik noktalarının tespiti (Yang S. ve ark., 2021) son zamanlarda çalışılan konulardandır.

Sınıflandırma ve regresyon ağaçları, doğrusal regresyon gibi öğrenme modelleri, stochastic gradient descent regressor (SGDRegressor), Support Vector Regression (SVR), Ridge Regression (Ridge) ve K-Nearest Neighbors (KNN) gibi yöntemler birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu modeller kimi durumda nispeten düşük tahmin hassasiyetine sahiptir. Bu durumda Extremely Randomized Trees (ET), Random Forest (RF), Gradient Boosting Decision Tree (GBDT) ve extreme gradient boosting gibi çoklu öğrenme algoritmalarından oluşan topluluk modelleri model doğruluğunu artırmak ve daha iyi tahmin performansı elde etmek için kullanılabilir (Yang H. ve ark., 2021).

1. Ağır Metallerin Toprağa Etkileri

Organik madde, sıvılar, mineraller ve gazlardan oluşan ve içerisinde çeşitli organizmaların yaşadığı dinamik bir sistem olan toprak, dünya ekosisteminin temel bileşenidir. Bu bileşenlerin bileşimi ve oranı, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini etkiler ve bu da tarımsal uygunluğu belirler. Antropojenik ve doğal faaliyetlerden üretilen tüm kimyasallar için lavabo görevi gören toprak ayrıca organik atıkların geri dönüşümünde önemli bir rol oynayarak, bitki büyümesi ve su depolaması için de uygun bir ortam sağlar (Sherameti ve Varma, 2015).

Topraklardaki ağır metal kirliliğinin potansiyel tehlikesi, hızlı ekonomik ve endüstriyel gelişmeler, geri kazanılmış maden toprakları, aşırı gübreleme, atık suyla yapılan sulamalar ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşmasıyla giderek daha fazla dikkat çeker hale gelmiştir (Ma ve ark., 2016a; Özbek, 2010). Küresel olarak kontamine alanların yaklaşık %50'si ise ağır metaller tarafından kontaminedir. Avrupa Çevre Ajansına göre ajansa üye ülkelerde yaklaşık 250.000 ağır metalle kirlenmiş saha vardır ve Avrupa'da yaklaşık 0,5 milyon saha ise yüksek oranda kirlenmiştir (Yang H. ve ark., 2021). Zamanla bu kirlilik, toprağın tarımsal üretim için verimsiz bir hal almasına, canlıların bu ağır metalleri soluması, teması veya besin zinciri yoluyla beslenmesi durumunda ise çeşitli sağlık problemleri ile karşı karşıya gelmelerine neden olmaktadır (Yerli ve ark., 2020).

Organik maddelerle güçlü kompleksler oluşturan ağır metaller (Tuğyan ve Sungur, 2020) yüksek yoğunlukları (yoğunluğu 5 g/cm^3'ten büyük olan) (Tatar, 2014) sebebiyle toprağın biyolojik aktivitesini olumsuz etkileyip, bitkinin doku ve organlarının zarar görmesine ve bitkisel üretimin azalmasına neden olabilirler. Bu olumsuz etkiler toprak ana materyali, adsorpsiyon kapasitesi, pH, elektrik iletkenliği, katyon değişim kapasitesi, kil içeriği ve organik madde içeriği gibi farklı özelliklerinden dolayı toprak heterojenliğine ve işletmeye ve ulaşım ağlarına yakınlık ve iklim gibi çevresel faktörlere göre değişiklik gösterebilmektedir (Yang H. ve ark., 2021; Yang S. ve ark., 2021; Yerli ve ark., 2020).

Bazı ağır metaller (örneğin bakır, çinko, demir, mangan, molibden ve nikel gibi) bitkiler için mikro besin elementi olarak görev yapar ve düşük konsantrasyonlarda gereklidir ve bitkilerin hem yeşil aksamında hem de köklerinde birikirler (Özbek, 2010; Yerli ve ark., 2020). Ancak ağır metallerin kritik konsantrasyonlara ulaşarak besin zincirine girmesi, canlı organizmalarda metabolik ve fizyolojik zararlı etkiler oluşturur (Bazoobandi ve ark., 2019). Örneğin; bitkinin kökleri, gövde ve yapraklardan daha fazla kurşun içeriyorken, bu oran tohum ve meyvelerinde ise daha düşük konsantrasyondadır (Tatar, 2014).

2. Olası İyileştirme Stratejileri

Ağır metallerle kirlenmiş toprağın çeşitli yöntemler kullanılarak iyileştirilmesi kirlilikle ilişkili potansiyel riskleri azaltmak için gereklidir (Asrari, 2014). Ayrıca sürdürülebilir toprak iyileştirme ve genel arazi kullanım yönetimi için doğru bir toprak haritasının çıkarılması gerekmektedir. Topraktaki ağır metallerin mekansal dağılımının tahmini, geleneksel olarak coğrafi bilgi sisteminde (CBS) mekansal enterpolasyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilir ve analiz edilecek toprak örneklerinin toplanması kapsamlı bir saha ve laboratuvar çalışması gerektirir. CBS ortamında makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılarak, toprak özelliklerinin tahmininde uygulanması ile ilgili çalışmalar giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu yöntemler, işleme süresi-verimliliği ve tahmin doğruluğu ile geleneksel yöntemler için potansiyel bir gelişme fırsatı sunmaktadır (Radočaj ve ark., 2020a). Makine öğrenimi algoritmaları, birden fazla çalışmada toprak ağır metallerinin mekansal dağılımının analizi için

başarıyla uygulanmıştır (Radočaj ve ark., 2020a; Zeraatpisheh ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2020; Yang S. ve ark., 2021).

Diğer bir önemli husus ise toprakta bulunan metallerin toplam miktarının dışında bulundukları formları belirlemenin önemidir. Çünkü mevcudiyetleri bağlanma şekline bağlıdır ve toprak üzerindeki etkisinin çevre ve insan sağlığı açısından daha iyi anlaşılmasına yardımcı olabilir. Bağlanma biçimlerine bağlı olarak metaller, su ve hava yoluyla bir bölgeden diğerine nispeten kolay bir şekilde aktarılabilir (Sherameti ve Varma, 2015).

Hırvatistan'da yapılan bir çalışmada uygulanabilirliği, verimliliği, maliyet etkinliği ve erişilebilirliği analiz edilen biyolojik, kimyasal ve fiziksel olmak üzere üç iyileştirme teknolojisi ele alınmıştır. Belirlenen kriterleri en fazla karşılayan fitoremediasyon (phytoremediation) olarak da bilinen biyolojik iyileştirme teknolojisi olmuştur. Bu teknoloji hafif ve orta derecede kirlenmiş tarım arazilerine en uygulanabilir yöntemdir. Kimyasal ve fiziksel iyileştirme teknolojileri ise yüksek maliyeti nedeniyle genellikle tek başına veya fitoremediasyon yöntemiyle birlikte uygulanan ve ciddi şekilde kirlenmiş bir tarım arazisinin iyileştirilmesi için daha uygundur (Radočaj ve ark., 2020b). Çin'de yapılan başka bir çalışmada ise altın madenciliği faaliyetlerinin olduğu köylerin çevresinde önemli derecede toprak kirliliği olduğu ortaya çıkarılmıştır. Çalışma alanlarında fitoremediasyon için potansiyel üç bitkinin (Erigeron canadensis L., Digitaria ciliaris (Retz.) Koel. ve Solanum nigrum L.) belirlendiği bir botanik araştırması yapılmıştır (Xiao ve ark., 2017). Pandey ve Singh (2015), ekonomik getiri ile

birlikte aromatik bitkilerin yetiştirilmesi yoluyla arsenikle kontamine olmuş toprakların iyileştirilmesi ve yönetimine yönelik bir fitoremediasyon çalışması yapmışlardır. Aromatik bitkiler, özellikle de otların kullanımı, arsenikle kontamine toprak alanlarının iyileştirilmesi ve kullanılması için önemli bir potansiyel sunarak toprak-bitki sistemindeki karbonu tutmaktadır (Pandey ve Singh, 2015).

3. Ağır Metaller Üzerine Yapılan Makine Öğrenmesi Çalışmaları

Bu alt başlık topraktaki ağır metaller üzerine gerçekleştirilen çalışmalardaki mevcut makine öğrenmesi modelleri hakkında okuyucuya genel bir bakış açısı sağlamayı amaçlamaktadır. Bahsedilen güncel çalışmalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak topraktaki ağır metallerle ilgili yapılan çalışmalar

Referans	Ağır Metallar	Yöntem	Çalışmanın Amacı
Zhou ve ark., 2015	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn	Artificial Neural Network (ANN), adaptive genetic algorithm (AGA)	İstatistiksel analiz, ANN ve AGA yöntemleri kullanılarak kentsel yüzey topraklarında ağır metal kirlilik kaynaklarının izlenmesi için yeni bir yaklaşım önermişlerdir.
Ma ve ark., 2016a	Cd, Pb ve As	Random Forest (RF)	RF modeline dayalı geri kazanılmış maden toprağında ağır metal tahmini yapmışlardır.

Tablo 1'in devamı

Referans	Ağır Metallar	Yöntem	Çalışmanın Amacı
Bazoobandi ve ark., 2019	Cd ve Pb	ANN, adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS)	Yapay zekâ modelleri kullanarak kirlenmiş topraktaki kadmiyum ve kurşun miktarını tahmin etmişlerdir.
Jia ve ark., 2019	Cd, Hg	Naive Bayesian (NB)	Toprakta ağır metal birikiminin antropojenik faaliyetlerden ne ölçüde etkilendiğini gösteren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir.
Radočaj ve ark., 2020a	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn	RF, Support Vector Machine (SVM)	Hırvatistan topraklarındaki altı ağır metalin mekansal bir tahminini yapmışlardır.
Zeraatpisheh ve ark., 2020	Cd, Cu, Pb, Ni, Zn	RF	Ağır metallerin neden olduğu toprak kirliliğinin mekânsal dağılımını anlamak, toprak sağlığını izlemek ve ekolojik riskleri değerlendirmek üzerine çalışmışlardır.
Zhang ve ark., 2020	As, Zn, Pb, Hg, Cu ve Cd	RF, ANN ve SVM	Kentleşme süreci ile topraktaki ağır metal birikimi arasındaki korelasyonları belirlemek ve kentsel genişleme ile ilgili değişkenlere dayalı olarak topraktaki ağır metallerin mekansal dağılımını tahmin etmişlerdir.
Pyo ve ark., 2020	As, Cu, Pb	Convolutional neural network (CNN), ANN, Random Forest Regression (RFR)	Toprak numunelerinin yansıma spektrumlarından ağır metal konsantrasyonlarını tahmin etmek için bir CNN modeli uygulamışlardır .
Sari ve ark., 2021	Fe, Mn ve Zn	ANN	Kaz Dağı'ndaki farklı irtifalardan alınan toprak örneklerinin Ca, K ve Mg konsantrasyonlarına dayalı olarak Fe, Mn ve Zn gibi esansiyel ağır metallerin konsantrasyonlarını keşfetmeyi amaçlamışlardır.

Tablo 1'in devamı

Referans	Ağır Metallar	Yöntem	Çalışmanın Amacı
Xie ve ark., 2021	Cr, Zn, Cu,Ni	Multiple Linear Regression (MLR), SVM, RF ve Cubist	Toprak-pirinç sistemlerinde ağır metal birikim özelliklerini analiz etmek için makine öğrenmesi modelleri oluşturmuşlardır.
Yang H. ve ark., 2021	Cd, Cr, Cu, Pb, Ni ve Zn	GBDT (en iyi model), ET, Extreme Gradient Boosting (XGBoost), RF	Makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak toprak özellikleri ile toprak üzerindeki ağır metal adsorpsiyon kapasitelerinin küresel dağılımını tahmin etmişlerdir.
Yang S. ve ark., 2021	Cd, Cu, Pb, Zn, As, Cr, Ni	RF	Topraklardaki ağır metalleri kaynaklarıyla ilişkilendiren kapsamlı bir mekansal analiz çerçevesi oluşturarak konsantrasyonları etkileyen faktörler hakkında önemli bilgiler elde etmişlerdir.
Zhang ve ark., 2021	Zn	SVM, Generalized Linear Model (GLM), Multivariate Adaptive Regression Spline (Mars), RF, XGBoost, Ridge, ve UAV tabanlı Cubist	Toprakta çinko kirliliği için bir risk tarama derecelendirme modeli ve içerik tahmin modeli oluşturmuşlardır.
Azizi ve ark., 2022	Ni, Fe, Cu, Mn	RF ve Cubist	Ağır metallerin dağılımını çevresel değişkenleri kullanarak makine öğrenmesi yöntemleri ile tahmin etmişlerdir.

As: Arsenik, Cd: Kadmiyum, Cr:Krom, Cu:Bakır, Hg:Cıva, Mn:Manganez, Ni:Nikel, Pb:Kurşun, Zn:Çinko.

4. Kullanılan Makine Öğrenme Yöntemleri

Makine öğrenme modelleri veri stokastikliğine karşı duyarsızdır ve sınırlı veri kullanılabilirliği için uygundur (Leng ve ark., 2017). Makine öğrenmesi modeli oluşturmak için veri özelliklerine ve model mimarisine dayalı olarak en iyi performansı veren algoritmayı seçmek önemlidir (Yaseen, 2021). Bu yüzden bu başlıkta bahsedilen bazı çalışmalarda farklı algoritmalar karşılaştırılmış ve en iyi sonucu veren algoritmadan bahsedilmiştir. Şekil 2 incelenen çalışmalarda en çok kullanılan makine öğrenme yöntemini göstermektedir.

Şekil 2. İncelenen çalışmalarda en çok kullanılan makine öğrenme yöntemi

Ma ve ark. (2016a), geri kazanılmış maden topraklarının ağır metal içeriği ve spektral bandın korelasyon analizini kullanarak topraktaki ağır metal içeriğini etkili bir şekilde tahmin edebilmek için SVM, RF ve Extreme Learning Machine (ELM) makine öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuçta, makine öğrenme yöntemlerinin tahmin sonuçlarının Partial Least Squares (PLS)'den daha iyi olduğunu bunlar arasında da üstün tahmin yeteneği ile RF'nin kararlılığının en iyi olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Bazoobandi ve ark. (2019), MLR, ANN ve ANFIS modelleri kullanarak kirlenmiş topraktaki kurşun ve kadmiyum miktarını tahmin etmişlerdir. Yapılan çalışmada iki modelin verimliliği karşılaştırılmıştır ve ANN'nin, ANFIS modelinden daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Jia ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada SVM, NB ve ANN olmak üzere üç sınıflandırma yönteminin performanslarını karşılaştırılmışlardır. Coğrafi veri seti, tekstil endüstrisi, kimya endüstrisi, metal işleme endüstrisi ve diğer endüstri dahil olmak üzere dört kategoriye ayrılmıştır. Multinomial NB yöntemi coğrafi veri setini %87 doğruluk oranı ile diğer modellere göre daha iyi sınıflandırmıştır.

Yang S. ve ark. (2021), ağır metale odaklanan çalışmalarında, Çin'in Zhejiang Eyaletinin sanayileşmiş bir bölümünde tarım toprakları için mekansal yığılma ile birlikte faktör tanımlamasını kullanan kapsamlı bir kirlilik kontrol çerçevesi oluşturmuşlardır. Ağır metal kirliliği seviyelerinin olası kaynaklarının ve potansiyel çevresel etkilerinin belirlenmesinde Positive Matrix Factorization (PMF) ve RF modellemesi kullanmışlardır. Çalışmada RF modelinin uygulanması, demir dışı metal madenciliği ve e-atık söküm fabrikalarına yakınlığın tarım topraklarındaki Cd ve Cu konsantrasyonları üzerindeki önemli olumsuz etkilerini ortaya çıkarmıştır. Sonuçlar ayrıca yollara yakınlığın Pb ve Zn seviyeleri üzerindeki olumsuz etkisini vurgulamıştır. Bununla birlikte, analiz edilen toprak örneklerinde As, Cr ve Ni konsantrasyonlarını etkileyen temel faktörlerin ise kaynağa olan mesafeden ziyade toprak özellikleri olduğunu bulmuşlardır.

Zhang ve ark. (2021), sınırlı zemin izleme noktası verilerine dayalı olarak toprak ağır metal kirliliğinin büyük ölçekli ve hızlı bir şekilde araştırılması için yaptıkları çalışmada, MARS modelinin genel sınıflandırma doğruluğunu %89.29 olarak elde etmişlerdir. Ayrıca XGBoost modelinin, R^2 = %59 sonucuyla çinko içeriğini tahmin etmede en iyi performansı gösterdiğini bulmuşlardır.

5. Toprak Örneklerinin ve Araştırmada Kullanılan Verilerin Elde Edilmesi

Ma ve ark. (2016), Çin'in Jiangsu Eyaleti Xuzhou şehrinin 20 km kuzeyindeki üç farklı madencilik bölgesinden, yılan şeklinde bir desen izleyip on örnekleme noktası seçerek, toprak örnekleri toplamışlardır. Topladıkları 30 numunenin tamamını paketleyip, etiketlemişlerdir. Kök, yaprak, taş vb. fazlalıkları ayıkladıktan sonra her numuneyi iki parçaya bölmüşlerdir. Daha sonra bir parça toprak ağır metal konsantrasyonlarını ölçmek için kimya laboratuvarına, diğer parça ise toprak spektral yansımasını ölçmek için karanlık odaya gönderilmiştir. Kurutulan ve 2 mm'lik elekten geçirilen toprak örnekleri çözünürleştirildikten sonra bir Plasma Emission Spectrometer (ICP-AES) ve bir Atomic Fluorescence Spectrometer (AF-160AF-2500) kullanılarak toprak örneklerinin Cd, As ve Pb konsantrasyonları tayin edilmiş ve elde edilen sonuçlar kontrol toprağı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta makine öğrenmesi algoritmalarının tahmin yeteneğinin PLS'den daha yüksek olduğunu ve kullanılan modellerin tahmin sonuçlarının Pb için en iyi sonucu verdiğini bulmuşlardır. Ayrıca kullanılan modellerden de RF ve ELM'de, SVM'den daha iyi sonuç

vermiştir. Ağır metallerden As ve Pb için, RF'nin tahmin doğruluğu, tüm algoritmalar arasında en iyisidir.

Zhou ve ark. (2015), çalışma alanını 1 km'lik kare örnekleme ızgaralarına bölmüştür. Her örnekleme ızgarasından 0-10 cm derinlikte bir üst toprak örneği toplanmışlardır. Tüm örnekleme alanlarının kesin konumlarını belirlemek için küresel konumlandırma sistemi (GPS) kullanmışlardır. Kent topraklarındaki ağır metallerin mekansal dağılımlarını değerlendirmek için yaklaşık 400 km^2'lik bir alandan toplam 319 üst toprak örneği toplamışlardır. Çin'deki kentsel işleve göre kare örnekleme ızgaralarının her biri beş işlevsel alandan biri olarak sınıflandırılmıştır. Bunlar: yerleşim alanı, sanayi bölgesi, dağlık bölge, trafik alanı ve park/yeşil alan bölgeleridir. 319 üst toprak numunesine ait mekansal enterpolasyon işlemini yapmak için MATLAB® 4 grid veri yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak, veri analizi için 10.000 grup üst toprak verisi elde etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar konut, sanayi sitesi, trafik yolu, park ve yeşil alanlarının yüksek kirlilik seviyesi ile etiketlendiğini göstermiştir. Cr, Ni ve Cu'nun ağırlıklı olarak endüstriyel metal işleme ve elektrokaplama işlemlerinden, Hg'nin esas olarak madencilik, mineraller, galvanik kaplama, kimyasal üretim, kağıt endüstrisi, tabaklama işlemi ve zirai kimyasal üretim gibi kimyasal üretim endüstrisinden ve As'nin böcek ilaçları, gübreler, cam ve sülfürik dahil olmak üzere kimyasal imalat sanayinden kaynaklandığı sonucunu elde etmişlerdir.

Bazoobandiet ve ark. (2019), Kuzey İran'da yer alan Alborz ve Talysh dağlarındaki tarla alanından, 0-30 cm derinlikten iki yüz elli toprak

örneği toplamışlardır. Toprak dokusundaki, fosfor, Cd, Pb, pH, organik karbon ve toplam azot değerlerini çeşitli yöntemlerle (hidrometrik yöntemle, Olsen metodu, atomik absorpsiyon kullanılarak ölçüm, dikromat metodu ile oksidasyon, asitle parçalama metodu) tayin ederek eğitim ve test veri seti oluşturmuşlardır.

Jia ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada Çin'in Yangtze Deltası'ndaki potansiyel kirletici işletmeleri belirlemek ve sınıflandırmak için makine öğrenimi metodolojileri ile birlikte bir arama motorundan ücretsiz olarak erişilebilen coğrafi verileri kullanmışlardır. Ayrıca 2013 yılında çalışma alanından sistematik grid örnekleme yöntemiyle (1 km x 1 km) toplam 14,801 üst toprak örneği toplamışlardır. Her bir toprak numunesi, 0-20 cm derinlikten ve 5 m içindeki beş lokasyondan alınmıştır. Laboratuvara taşınan toprak örnekleri, kurutularak öğütülmüş ve elekten (2 mm) geçirilmiştir. Toprak örneklerinin pH'ı, cam elektrot yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Topraktaki Cd elementi, HF-HNO_3-$HClO_4$ ile çözünürleştirildikten sonra Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) ile konsantrasyonu tayin edilmiştir. Topraklardaki Hg elementi, HNO_3-HCl ile çözünürleştirildikten sonra bir Atomic Fluorescence Spectrometry (AFS) ile konsantrasyonu tayin edilmiştir.

Yang H. ve ark., (2021), 150 dergi makalesinden elde edilen 4420 adet adsorpsiyon veri noktası (1105 toprak türü) toplayıp altı ağır metalin toprak adsorpsiyonu için, altı geleneksel öğrenme modeli (yani CART, LR, SGDRegressor, SVR, KNN ve Ridge) ve dört topluluk modelinin (yani ET, RF, GBDT ve XGBoost) performansını araştırmışlardır. Elde

ettikleri kapsamlı veri seti ile GBDT yönteminin en iyi performansa sahip olduğunu göstermişlerdir.

Yang S. ve ark., (2021), Çin'in Zhejiang Eyaleti, Taizhou şehri merkezli çalışma alanından her biri yaklaşık 1 kg ağırlığında ve 5 m'lik bir yarıçap içinden beş alt numuneyi birleştiren yüz altmış dokuz tarımsal üst toprak numunesi toplamışlardır. Numuneleri paketleyip, analizler için laboratuvara göndermişlerdir. Toprak örnekleri $HF–HNO_3–HClO_4$ ile çözünürleştirildikten sonra yedi ağır metalin (Cd, Cu, Pb, Zn, As, Cr ve Ni) konsantrasyonlarını ICP-MS kullanarak tespit etmişlerdir. Rakım ve eğim verilerini, ArcMap 10.2 kullanarak NASA yer veri kaynağı platformundan (https://search.asf.alaska.edu/) elde etmişlerdir. Çalışma alanındaki bitki örtüsünü temsil etmek için NASA'nın açık dünya veri kaynağı platformundan (https://search.earthdata.nasa.gov/) indirilen bitki örtüsü indeksi verilerini kullanmışlardır. Toprak ana malzemeleri, yol ağı ve endüstriler hakkındaki ek bilgileri Taizhou'daki Ekoloji ve Çevre Koruma İdaresi'nden toplamışlardır. Böylece mevcut çalışmada kullanılmak üzere 169 gözlem ve 24 çevresel değişkenden oluşan bir veri seti oluşturmuşlardır.

Azizi ve ark. (2022), çalışma alanının yüzeyinden (0-20 cm) tabakalı rastgele örnekleme yöntemi ile 346 toprak örneği almış ve belirlenen ağır metalleri ölçmüşlerdir. Uzaktan algılama verileri, sayısal yükseklik modeli, topografik veriler ve tematik haritalardan elde edilen veriler ile 4 farklı senaryoda ağır metallerin tahminlemesini RF ve Cubist model ile oluşturmuşlardır. RF modeli Ni (R^2 = %67) ve Cu (R^2 = %60) için en iyi tahmin sonucunu vermiştir. Yapılan çalışma ağır metalleri

tahmin etmek için kolayca erişilebilir çevresel verileri kullanma konusunda makine öğrenme yöntemlerinin yüksek kapasitesini kanıtlar niteliktedir.

Zeraatpisheh ve ark. (2020), İran'ın Golestan eyaletinden 0-30 cm derinlikten toplanan 358 üst toprak örneğini analiz edip, RF metodunu kullanarak ağır metallerin mekansal dağılımını belirlemişlerdir. Arazi özellikleri, iklim parametreleri, arazi kullanım haritaları, maden faaliyetlerinin gerçekleştirildiği yere uzaklık, ana yollar, sanayi siteleri ve nehirlerden hesaplanan çok bantlı bir görüntü ve çevresel türevleri, ağır metal konsantrasyonlarının mekansal dağılımını tahmin etmek için ortak değişken olarak kullanmışlardır. En iyi tahmin performansını Ni (R^2=%56.6, RMSE=9.9 mg kg^{-1}) için bulmuşlardır. Sonuçta iklim faktörleri ile birlikte toprak nemini ve su akışını kontrol eden çevresel değişkenlerin, toprak ağır metallerinin mekansal dağılımını tanımlayan en önemli değişkenler olduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Sari ve ark. (2021), ağır metallerin tahmininde yüksekliği bir parametre olarak kabul ederek Kazdağı'ndaki farklı rakımlardan elde edilen toprak numuneleri üzerine çalışmışlardır. Kazdağı Milli Parkı yolundan önce 20 m rakımda, daha sonra Sarıkız Tepesi yolu boyunca 1600 m'ye kadar her 100 m'de, 1621 m, 1658 m ve 1678 m'den toprak örnekleri almışlardır. Yüzeyin 20 cm altından topladıkları 500 gr ağırlığındaki bu toprak örneklerini steril torbalarda laboratuvar ortamına getirerek cam petri kaplarında 80°C'de 48 saat fırında kurutmuşlardır. ANN ile geleneksel yaklaşımlardan farklı olarak yükseklik ve çeşitli toprak

parametreleri arasındaki ilişkiye dayalı olarak ilgilenilen ekosistem için türetilmiş sinir ağı modeli geliştirmişlerdir.

Zhang ve ark. (2020), hızlı bir kentleşme alanından (Hefei Şehri, Çin) ızgara örnekleme yöntemi (2 km × 2 km) kullanarak 251 üst toprak örneği (0–20 cm) toplamışlardır. Topraktaki As, Cu, Cr, Cd, Hg, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları ile kentleşmeden etkilenen toprağın bazı özelliklerini belirlemişlerdir. Toprak ağır metallerinin genel dağılımını RF, ANN ve SVM modellerini kullanılarak tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, şehirleşmenin artmasıyla As, Zn, Pb, Hg, Cu ve Cd konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığını göstermiştir. En yüksek Ni ve Cr konsantrasyonları çevre yolları arasındaki topraklarda görülmüştür. SVM ve RF modelleri kullanılarak, ANN modelinden daha yüksek R^2 ve daha düşük hata indeksi elde etmişlerdir.

6. Yasal Düzenlemeler

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre tüm ekosistem, ağır metallere aşırı maruz kalma nedeniyle sürekli tehdit altındadır (Yaseen, 2021). Bu nedenle ülkelerin yetkili birimleri tarafından çeşitli endüstriyel süreçlerden ekosisteme salınan ağır metallerin seviyesini sınırlandırmaya, toprak kirliliğini kontrol etmeye ve ağır metallere maruz kalma risklerini azaltmaya yönelik çeşitli yasal düzenlemeler yapılmakta ve stratejiler geliştirilmektedir. Yasal düzenlemelerle belirlenen sınır değerlere uyulması gerekmektedir.

Ülkemizde, “Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”nde toprak kirlilik parametrelerinin sınır değerleri belirlenmiştir. Bahsedilen yönetmelikle belirlenen sınır değerler Tablo 2’de ikinci ve üçüncü sütunlarda yer almaktadır (TKKY, 2005). Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agricultural Organization, FAO) ve Avrupa'daki Standart Kılavuzlar gibi düzenleyici kurumlar tarafından belirlenen topraktaki ağır metal sınır değerleri ise aynı tablonun son sütununda yer almaktadır (Chiroma ve ark., 2014.

Tablo 2. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri (TKKY, 2005; Chiroma ve ark., 2014).

Ağır Metal (Toplam)	**Ülkemizde izin verilen maksimum seviye**		**Avrupa’da izin verilen maksimum seviye**
	PH 5-6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	**pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak**	**Topraktaki maksimum seviye (µg/g)**
Kurşun	50 **	300 **	100
Kadmiyum	1 **	3 **	3
Krom	100 **	100 **	100
Bakır*	50 **	140 **	100
Nikel*	30 **	75 **	50
Çinko *	150 **	300 **	300
Civa	1 **	1,5 **	-

***** pH değeri 7’den büyük ise çevre ve insan sağlığına özellikle yer altı suyuna zararlı olmadığı durumlarda Bakanlık sınır değerleri %50’ye kadar artırabilir.

** Yem bitkileri yetiştirilen alanlarda çevre ve insan sağlığına zararlı olmadığı bilimsel çalışmalarla kanıtlandığı durumlarda, bu sınır değerlerin aşılmasına izin verilebilir.

Benzer şekilde “Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik”te yer alan ürünlerdeki ağır metal sınır değerleri de belirlenerek sınırlandırılmıştır (GY, 2018).

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) tarafından ağır metaller öncelikli çevre kirleticilerin arasında gösterilmiş ve Amerika Birleşik Devletleri Sağlık ve İnsan Hizmetleri Departmanı kadmiyum ve kurşunu on tehlikeli toksik madde listesine eklemiştir (Bazoobandi ve ark., 2019; Yerli ve ark., 2020).

Şubat 2011'de Çin Hükümeti, "12. beş yıllık planında", Çin'in gelişmesi için ağır metal kontaminasyonunun önlenmesi ve kontrol edilmesinin gerekli olduğunu açıkça belirtmiştir. Genel olarak, ağır metallerin taşınmasını ve dönüşümünü kontrol etmek ve topraktaki toplam konsantrasyonları azaltmak, toprak ağır metal kontaminasyonunu önlemek ve kontrol etmek için hem temel hem de doğrudan önlemleri gündeme getirmişlerdir (Zhou ve ark., 2015).

Avrupa'dan farklı olarak, Afrika'daki az gelişmiş ülkelerde ağır metal içeren endüstriyel prosesler daha azdır ancak bu ülkelerde de gerekli yönetmeliklerin olmaması, endüstriyel atık izleme ve yönetim süreçlerinin yetersizliği, tehlikeli atıkların sıklıkla arıtılmadan çevreye salınması ve sonuçta toprakların ağır metal birikimine maruz kalması ile büyük çevresel riskler oluşmaktadır (Yang H. ve ark., 2021).

SONUÇ

Doğal (jeokimyasal) ve antropojenik (insan kökenli faaliyetler) kaynaklı ağır metallerin neden olduğu toksisite ile ilgili sorunların anlaşılması ve bu sorunlara yönelik iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesi, günümüzde çevre koruma, insan sağlığı ve tarımsal verimlilik için hayati öneme sahiptir.

Biyolojik olarak parçalanmayan ağır metallerin toprakta birikmesi toprakların kimyasal olarak kirlenmesine yol açan küresel bir çevre problemidir. Hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleri topraklardaki ağır metal konsantrasyonlarını etkilemektedir. Endüstriyel faaliyetler genellikle topraklardaki ağır metallerin ana kaynakları olarak tanımlansa da, birikimi etkileyen spesifik faktörler ve çevresel parametreler hakkında daha fazla çalışma yapılmasına ihtiyaç vardır.

Toprağın işlevini doğrudan etkileyebilen ağır metal kirliliği ve kontamine gıdaların besin zinciri yoluyla tüketimi canlılar için ciddi sağlık problemlerine yol açmaktadır. Kirliliğin zamanında tespit edilmesi için yapılacak olan çalışmalar, erken uyarı sistemlerinin oluşturulmasını ve gerekli önlemlerin karar mercileri tarafından zamanında alınmasını sağlayacaktır. Bu çalışmalar zaman, maliyet ve iş gücü gerektiren geleneksel laboratuvar testleri ile yapılabileceği gibi günümüz teknolojisinin yardımı ile makine öğrenmesi gibi yöntemler kullanılarak geleneksel yöntemlerin performansını zaman, maliyet ve iş gücü açısından iyileştirecektir. İncelenen çalışmaların %71'inde makine öğrenme yöntemlerinden RF kullanılmıştır. Bahsedilen yöntemlerin daha iyi anlaşılması ve toprak bilimcilerin geleneksel

metotlara alternatif olarak bu yöntemleri gelecekteki çalışmalarında daha fazla kullanmaları toprağın ağır metal girdisini en aza indirmeyi amaçlayan iyileştirme stratejilerinin geliştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aktepe, N. (2021). Atıklar Kavramı Sınıflandırılması ve Yönetimi, Bölüm Adı:*Tıbbi Atık ve Çeşitleri*. Yayın Yeri:İksad Yayınevi, Editör:Doç. Dr. Cumali Keskin, Doç. Dr. Mehmet Fırat Baran, ISBN:978-625-7562-35-5.

Alloway, B. J. (Ed.). (2012). *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.

Aponte, H., Meli, P., Butler, B., Paolini, J., Matus, F., Merino, C., ... & Kuzyakov, Y. (2020). Meta-analysis of heavy metal effects on soil enzyme activities. *Science of the Total Environment*, *737*, 139744.

Asrari, E. (Ed.). (2014). *Heavy metal contamination of water and soil: analysis, assessment, and remediation strategies*. CRC Press.

Azizi, K., Ayoubi, S., Nabiollahi, K., Garosi, Y., & Gislum, R. (2022). Predicting heavy metal contents by applying machine learning approaches and environmental covariates in west of Iran. Journal of Geochemical Exploration, 233(October 2021), 106921. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106921

Bazoobandi, A., Emamgholizadeh, S., & Ghorbani, H. (2019). Estimating the amount of cadmium and lead in the polluted soil using artificial intelligence models. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 1-19.

Chiroma, T. M., Ebewele, R. O., & Hymore, F. K. (2014). Comparative assessment of heavy metal levels in soil, vegetables and urban grey waste water used for irrigation in Yola and Kano.

International refereed journal of engineering and science, *3*(2), 01-09.

Corinne PR, Zhao FJ, McGrath SP (2006). Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. Environ. Pollut., 145: 596-605.

Dixit, G., Singh, A. P., Kumar, A., Mishra, S., Dwivedi S., Kumar, S., Trivedi, P. K., Pandey, V., Tripathi, R. D. (2016): Reduced arsenic accumulation in rice (Oryza sativa L.) shoot involves sulfur mediated improved thiol metabolism, antioxidant system and altered arsenic transporters. – Plant Physiologyogy and Biochemistry 99: 86-96.

Dousova, B., Buzek, F., Lhotka, M., Krejcova, S., Boubinova, R. (2016): Leaching effect on arsenic mobility in agricultural soils. – Journal of Hazardous Materials 307: 231-239.

García I, Dorronsoro C (2005). Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. http://edafologia.ugr.es.

GY (2018). Tarımda Kullanılan Organik, Mineral ve Mikrobiyal Kaynaklı Gübrelere Dair Yönetmelik, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=24410&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, (Erişim tarihi: 31.01.2022).

Jia, X., Hu, B., Marchant, B. P., Zhou, L., Shi, Z., & Zhu, Y. (2019). A methodological framework for identifying potential sources of soil heavy metal pollution based on machine learning: A case study in the Yangtze Delta, China. Environmental Pollution, 250, 601–609. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.047

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., & Timur, S. (2007). Metallerin Çevresel Etkileri-I.

Kara, E. E., Taciroğlu, B., & Sak, T. (2016). Toprakta Ağır Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi, 19(2), 201. https://doi.org/10.18016/ksujns.20423

Kramar, U., Norra, S., Berner, Z., Kiczka, M., Chandrasekharam, D. (2015): On the distribution and speciation of arsenic in the soil-plant-system of a rice field in WestBengal, India: A μ-synchrotron techniques based case study. – Applied Geochemistry 77: 4-14.

Okcu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., & Pehluvan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri Derleme / Rewiev. 17, 14–26.

Lucho CA, Prieto F, Del Razo LM, Rodríguez R, Poggi H (2005). Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agric. Ecosyst. Environ., 108: 57- 71.

Leng, X., Wang, J., Ji, H., Wang, Q., Li, H., Qian, X., Li, F., & Yang, M. (2017). Prediction of size-fractionated airborne particle-bound metals using MLR, BP-ANN and SVM analyses. *Chemosphere*, *180*, 513–522. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.04.015

Ma, W., Tan, K., & Du, P. (2016a). Predicting soil heavy metal based on Random Forest model. In 2016 IEEE International Geoscience

and Remote Sensing Symposium (IGARSS) (pp. 4331-4334). IEEE.

Ma, J., Mi, Y., Li, Q., Chen, L., Du, L., He, L., Lei, M. (2016b): Reduction, methylation, and translocation of arsenic in Panax notoginseng grown under field conditions in arsenic-contaminated soils. – Science of the Total Environmental 550: 893-899.

Mahler RL (2003). General overview of nutrition for field and container crops. In: Riley, L. E.; Dumroese, R. K.; Landis, T. D. Tech Coords. National Proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations. 2003 June 9-12; Coeur d`Alene, ID; and 2003 July 14-17; Springfield, IL. Proc. RMRS-P-33.

Özbek, Z. (2010). *Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Pandey, V. C., Singh, N. (2015): Aromatic plants versus arsenic hazards in soils. – Journal of Geochemical Exploration 157: 77-80.

PHYS (2020). Heavy metals make soil enzymes 3 times weaker, https://phys.org/news/2020-09-heavy-metals-soil-enzymes-weaker.html, (Erişim tarihi: 06.02.2022).

Pyo, J. C., Hong, S. M., Kwon, Y. S., Kim, M. S., & Cho, K. H. (2020). Estimation of heavy metals using deep neural network with visible and infrared spectroscopy of soil. *Science of the Total Environment, 741*, 140162. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140162

Radočaj, D., Jurišić, M., Župan, R., & Antonić, O. (2020a). Spatial prediction of heavy metal soil contents in continental croatia

comparing machine learning and spatial interpolation methods. Geodetski List, 74(4), 357–372.

Radočaj, D., Velić, N., Jurišić, M., & Merdić, E. (2020b). The remediation of agricultural land contaminated by heavy metals. *Poljoprivreda*, *26*(2), 30-42.

Sari, M., Cosgun, T., Yalcin, I. E., Taner, M., & Ozyigit, I. I. (2021). Deciding Heavy Metal Levels in Soil Based on Various Ecological Information through Artificial Intelligence Modeling. *Applied Artificial Intelligence*, *00*(00), 1–17. https://doi.org/10.1080/08839514.2021.2014189

Sherameti, I., & Varma, A. (2015). Heavy metal contamination of soils. In *Soil Biology* (Vol. 44). Springer.

Singh, J. ve Kalamdhad, A. S. (2011). Effects of heavy metals on soil, plants, human health and aquatic life. *International journal of Research in Chemistry and Environment*, *1*(2), 15-21.

Tatar, Ç. P. (2014). Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi (Akü, Maden ve Metal İşyerlerinde). *TC Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara*.

TKKY (2005). Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2005/05/20050531-6.htm, (Erişim tarihi: 31.01.2022).

Tuğyan, G., & Sungur, A. Farklı Ana Materyaller Üzerinde Oluşmuş Toprakların Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi (Kırklareli, Türkiye). *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, *1*(1), 40-47.

Xiao, R., Wang, S., Li, R., Wang, J. J., & Zhang, Z. (2017). Soil heavy metal contamination and health risks associated with artisanal gold mining in Tongguan, Shaanxi, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, *141*, 17-24.

Xie, M., Li, H., Zhu, Y., Xue, J., You, Q., Jin, B., & Shi, Z. (2021). Predicting bioaccumulation of potentially toxic element in soil–rice systems using multi-source data and machine learning methods: A case study of an industrial city in southeast china. In *Land* (Vol. 10, Issue 6). https://doi.org/10.3390/land10060558

Yang, H., Huang, K., Zhang, K., Weng, Q., Zhang, H., & Wang, F. (2021). Predicting Heavy Metal Adsorption on Soil with Machine Learning and Mapping Global Distribution of Soil Adsorption Capacities. *Environmental Science & Technology*, *55*(20), 14316-14328.

Yang, S., Taylor, D., Yang, D., He, M., Liu, X., & Xu, J. (2021). A synthesis framework using machine learning and spatial bivariate analysis to identify drivers and hotspots of heavy metal pollution of agricultural soils. *Environmental Pollution*, 117611.

Yaseen, Z. M. (2021). An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions. *Chemosphere*, 130126.

Yerli, C., Çakmakcı, 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.

Zeraatpisheh, M., Mirzaei, R., Garosi, Y., Xu, M., Heuvelink, G. B. M., Scholten, T., & Taghizadeh-Mehrjardi, R. (2020). Feasibility of

using environmental covariates and machine learning to predict the spatial variability of selected heavy metals in soils. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-12378

Zhang, H., Yin, S., Chen, Y., Shao, S., Wu, J., Fan, M., Chen, F., & Gao, C. (2020). Machine learning-based source identification and spatial prediction of heavy metals in soil in a rapid urbanization area, eastern China. *Journal of Cleaner Production*, *273*, 122858. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122858

Zhang, Y., Xu, Y., Xiong, W., Qu, R., Ten, J., Lou, Q., & Lv, N. (2021). Inversion Study of Heavy Metals in Soils of Potentially Polluted Sites Based on UAV Hyperspectral Data and Machine Learning Algorithms. Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing, Evolution in Remote Sensing, 2021-March. https://doi.org/10.1109/WHISPERS52202.2021.9484047

Zhou, P., Zhao, Y., Zhao, Z., & Chai, T. (2015). Source mapping and determining of soil contamination by heavy metals using statistical analysis, artificial neural network, and adaptive genetic algorithm. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *3*(4), 2569–2579. https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.08.003.

BÖLÜM 15

MEYVECİLİK BUDAMA ATIKLARININ ALTERNATİF DEĞERLENDİRİLME ŞEKİLLERİ

Ziraat Yüksek Mühendisi Çiğdem YAVUZ[1]

Ziraat Yüksek Mühendisi Didem KOŞAR[1]

[1]Malatya Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye, 0000-0002-1061-2591, h.s.c.z@hotmail.com
[1]Malatya Kayısı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Malatya, Türkiye, 0000-0003-4441-6481, didemarziraat@hotmail.com

1.Giriş

Türkiye bulunduğu coğrafi konum ve sahip olduğu iklim koşulları sayesinde birçok meyve türünün yetiştiriciliğine ev sahipliği yapmaktadır. Meyvecilik yapılan bölgelerde sağlıklı ve kaliteli ürün alabilmek, verimliliğin devamını sağlamak amacıyla birçok kültürel bakım işleri yapılmaktadır. Meyve ağaçlarına sağlam ve düzgün bir yapı kazandırmak, ağaçların erken yaşta verime yatmasını sağlamak, bol ve kaliteli ürün almak amacıyla yaz ve kış olmak üzere farklı dönemlerde yapılan önemli kültürel bakım işlemlerinden biri budamadır. Budama; ağaçtan dalların bir bölümünün ya da yapılış amacına göre tamamının çıkartılması işlemlerini kapsamaktadır. Bu amaçla yapılan işlemler sonucu birçok budama atığı meydana gelmekte buda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Meyve ağaçlarının budanması sonucu elde edilen budama artıkları, biokütle enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle organik madde içeriği yüksek olan artıkların hem temiz enerji üretimi hem de çevre kirliliğinin önlenmesi açısından değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

İnsanoğlu için tarım her dönemde önemli olmuştur. Tarım, ürünleri üreten, bunları işleyerek çeşitlendiren, insan beslenmesi ve toplum kalkınmasına katkı sunan önemli bir sektördür. Tarım sektörü geçmişten günümüze ülkelerin sosyal ve ekonomik gelişimlerine katkı sağlamış ve ülkelerin gelişmişlik düzeyi her ne boyutta olursa olsun ekonomik anlamda önemli bir yere sahip olmuştur.

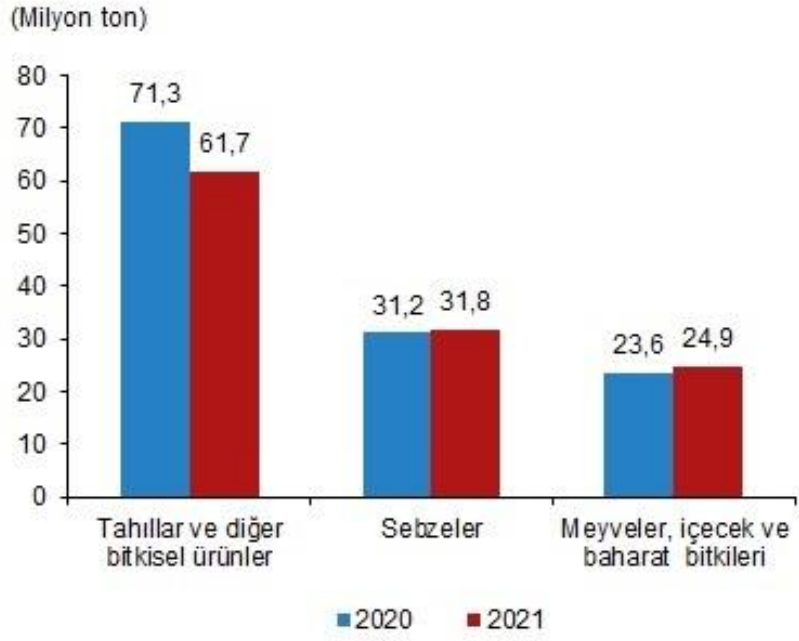
Türkiye çok eski medeniyetlere ev sahipliği yapması, göç ve ticaret yollarını üzerinde barındırması, farklı ekolojik özellikte bölgelere sahip

olması nedeniyle birçok ürünün anavatanı konumundadır. Günümüzde meyvecilik kültüründe önem kazanmış olan elma, armut, fındık, kiraz, Antep fıstığı, vişne, erik, ceviz, incir, üzüm gibi birçok meyve türü bu topraklarda ortaya çıkmıştır (Gerçekçioğlu ve ark., 2018).

Meyvecilik açısından bakıldığında ülkemiz sahip olduğu coğrafi konumunun sağladığı avantajlar sayesinde birçok meyve türünün yetiştiriciliğine imkân sağlamakta ve meyve üretiminde söz sahibi ülkeler arasında yer almaktadır. Ayrıca ülkemiz bazı meyve türleri bakımından dünyada lider konumundadır. Türkiye'de toplam tarım alanının yaklaşık 3,5 milyon hektarlık alanında meyvecilik yapılmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri incelendiğinde 2020 yılı meyve üretim alanları ve 2020- 2021 yılları bitkisel üretim verileri aşağıda yer almaktadır.

Tablo 1. Türkiye Meyve Alanı (2020)

Ürün	Üretim Alanı (ha)	Ürün	Üretim Alanı (ha)
Zeytin	887076,8	İncir	53693,5
Fındık	734537,7	Badem	52369,5
Üzüm	400997,9	Şeftali-Nektarin	46918,6
Antep Fıstığı	384816,6	Armut	26070,7
Kayısı	133735,2	Erik	21520,8
Kiraz-Vişne	103395,2	Muz	11154,4
Elma	170903,2	Ayva	7737,6
Turunçgil	157831,7	Kivi	3261,3
Çay	78681,3	Avakado	1264,8



Şekil 1. 2020-2021 Bitkisel Üretim.

Meyvecilik açısından değerlendirildiğinde 2020 yılı üretim verilerine göre kayısı, üzüm, kiraz üretimi sırasıyla %4, %12,8, %4,8 oranında azalırken, elma, çilek, zeytin üretimi %4,5, %22,4, %32,1 oranında arttığı görülmüştür. Ayrıca turunçgil meyvelerinden mandalina %14,7, portakal %30,6, limon %30,4, sert kabuklu meyvelerden fındık %2,9 oranında artarken Antep fıstığı üretiminin %59,7 oranında azaldığı görülmüştür. Muz üretimi ise %21,3 oranında artarken, incir üretimi değişim göstermeyerek 320 bin ton olarak gerçekleşmiştir (TÜİK, 2021).

Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte çevre kirliliği de aynı oranlarda artış göstermektedir. Çevre kirliliği; toprak, su, hava ve

gürültü kirliliği olarak kendini göstermektedir (Sevinç, 2009; Bozkurt, 2010; Caf ve ark., 2017). Dünya genelinde tarımsal üretimin artış göstermesiyle hem bitkisel atıkların hem de tarımsal endüstri artıklarının miktarında ciddi oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Türkiye'nin birçok yerinde bağ-bahçe budama atıkları bilinçsizce yakılmakta ya da çöp alanlarına bırakılarak hem yangın tehlikesi yaratmakta hem de hava kirliliğine neden olmaktadır.

Genel olarak bakıldığında aslında doğada atık diye bir şey yoktur. Bir canlıya ait atık başka bir canlı için besin olabilmektedir. Asıl önemli konu onun nasıl değerlendirileceğinin bilinmesidir.

Meyvecilik yapılan bölgelerde bitkisel ürünler için kültürel bakım işleri (sulama, gübreleme, budama, yabancı ot mücadelesi vb.) yapılmaktadır. Meyve ağaçlarına sağlam ve düzgün bir yapı kazandırmak, ağaçların erken yaşta verime yatmasını sağlamak, bol ve kaliteli ürün almak amacıyla yaz ve kış olmak üzere farklı dönemlerde yapılan önemli kültürel bakım işlemlerinden biri budamadır. Budama; ağaçtan dalların bir bölümünün ya da yapılış amacına göre tamamının çıkartılması işlemlerini kapsamaktadır.

Meyve bahçelerinde ağaçların budanması sonucunda her yıl ciddi miktarlarda biokütle materyali meydana gelmektedir. Bu budama materyallerinin bir bölümü parçalanmak suretiyle toprağa karıştırılmakta, bir kısmı evlerde ısınma amaçlı kullanılmakta büyük bir çoğunluğu ise değerlendirilmeden yakılmaktadır. Ortaya çıkan budama artıkları üretim alanında çalışma alanlarını kısıtlamakta, çeşitli hastalık ve zararlıların konukçusu olup bahçeyi zarara uğratmakta ve en büyük

etkisi tarımsal kirlilik meydana getirmektedir (Koçer ve Kürklü, 2018). Ayrıca değerlendirilmeden yakılan budama artıkları hem çevresel kirlilik oluşturmakta hem ekonomik kayba neden olmakta hem de mevcut enerji açısından büyük kayıplara yol açmaktadır (Koçer, 2018).

Meyve ağaçlarının budanması sonucu elde edilen budama artıkları, biokütle enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Yüksek nem içeriği ve düşük yoğunluğa sahip olan bu artıkların endüstriyel alanlarda ve evlerde yakacak olarak değerlendirilmesi yeterli olmamakta, taşınım, depolama ve işleme sorunları ortaya çıkmakta sonuç olarak ta kirliliğe neden olmaktadır. Bu nedenle organik madde içeriği yüksek olan artıkların hem temiz enerji üretimi hem de çevre kirliliğinin önlenmesi açısından değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelere bakıldığında enerji kaynağı olarak biokütle kullanılmakta olup enerji üretiminin yaklaşık %43'nü bu kaynaktan sağladıkları görülmektedir (Başçetinçelik ve ark., 2006).

Türkiye nüfus yoğunluğu yıldan yıla artış gösteren bir orana sahiptir. Bu gelişmeye paralel olarak enerji tüketimi de ciddi oranlarda artmakta, üretim miktarı tüketim miktarını karşılayamaz duruma gelmektedir. Biokütle; çevre dostu olması, her yerde yetişebilmesi, taşıtlar için yakıt sağlaması, elektrik üretimine katkı sunması gibi birçok faydası ile birlikte önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Ülkemizde ciddi potansiyel değere sahip olan budama artıkları, biokütle enerji kaynakları içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle bu artıkların farklı şekillerde değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

2. Budama Atıklarının Değerlendirilme Şekilleri

Zeytin budama atıkları

Zeytin yetiştiriciliğinde budamanın önemi oldukça büyüktür. Çalımsı büyüme formuna sahip olan zeytinin (*OIea europaea* L.) farklı yaşam devreleri bulunmakta ve bu devrelere uygun budamaların yapılması da büyük önem arz etmektedir. Budamada amaç vejetatif gelişimle generatif gelişim arasındaki dengenin sağlanmasıdır (Camerini ve ark.,1999).

Türkiye' de geniş üretim alanına sahip olan zeytin bahçelerinde yapılan budamalar sonucunda her yıl ciddi miktarlarda budama atıkları ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile meydana gelen zeytin budama atıkları belirli bir basınç altında daha küçük boyutlara (ortalama 30 mm) küçültülmüştür. Peletleme olarak adlandırılan bu işlem ile çeşitli parametreler (pelet parça yoğunluğu, basınç direnci, pelet yığın yoğunluğu, mekanik dayanıklılık, gerilme direnci ve nem alma direnci) belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ağaçların budanması sonucunda ortaya çıkan artıklar 3 farklı parçacık (2,4,6 mm) ve 2 farklı nem (%11, %15) olarak peletlenmiştir. Çalışmada ayrıca peletleme makine üretim hacmi hesaplanmış ve harcadığı elektrik miktarı da ölçülmüştür. Çalışmanın sonunda üretim kapasitesi nem içeriğine göre 60 ile 83 kg/h arasında değiştiği görülmüştür. Parça yoğunluğu 981 ile 1232 kg/m³ olurken, yığın yoğunluğu 521 ile 684 kg/ m³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sonunda pelet içerisindeki nemin artmasıyla pelet yoğunluğunun azaldığı görülmüştür (Koçer ve Kürklü, 2018).

Elma budama atıkları

Ülkemizde elma (*Malus domestica* L.) üretim alanı ve miktarı birçok ılıman iklim meyve türlerine kıyasla daha fazladır. Ülkemiz elma üretimi bakımından oldukça geniş çeşit zenginliğine sahiptir. Verim ve kalitenin arttırılması ve devamının sağlanması amacıyla düzenli olarak budama işlemleri yapılmaktadır. Elma bahçelerinde üç farklı budama (taçlandırma budaması, verim budaması ve gençleştirme budaması) yapılmaktadır (Küden, 2020). Sonuç olarak da budama artıkları meydana gelmektedir.

Türkiye'de Çanakkale bölgesinde elma çeşitlerinin budanması sonucu ortaya çıkan artıkların enerji potansiyellerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada 2 farklı yaş grubundan olan 3 farklı elma çeşidi (Golden Delicious, Starking ve Granny Smith) kullanılmıştır. Budama sonucu elde edilen veriler ile budama katsayısı ve budama atık miktarı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en fazla budama atığı Granny Smith'ten elde edilirken, ikinci sırayı Golden Delicious son sırayı da Starking elma çeşidi almıştır. Yine ağaç yaşı olarak bakıldığında en fazla atık 10-20 yaş arası çeşitlerde (3,42 kg) olurken, en az 0-10 yaş arası çeşitlerden (1,57 kg) elde edilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda, elma budama atıklarının katsayısı 2,5 kg.ağaç$^{-1}$ olurken kullanılabilir budama atık miktarı ise 99 252 ton.yıl^{-1} olduğu belirlenmiştir (Gür ve Çiçek, 2021).

Bağ budama atıkları

Türkiye bağ alanı ve üzüm yetiştiriciliğinde dünyanın sayılı ülkeleri arasında yer almaktadır. Uygun iklim ve toprak koşullarına sahip olması nedeniyle ülkemizin birçok bölgesinde yetiştiricilik yapılabilmektedir (Semerci ve ark., 2015).

Asma (*Vitis vinifera* L.); yaprağı, meyvesi, şırası ve budama artıklarının değerlendirilebildiği bir meyve türüdür. Örneğin, meyvenin işlenmesi sonucu ortaya çıkan cibre, mikro besin maddesi açısından oldukça zengindir. Yine yaprakları organik gübre olarak kullanılmakta, budama artıkları ise yakıt, mobilya sanayi ve yetiştirme ortamı olarak çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir (Bekar, 2016). Bağcılıkta budama sonucunda ortaya çıkan artıklar mobilyacılık sektöründe hammadde olarak kullanılmaktadır (Güntekin ve ark., 2009). Budama artıklarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan bir çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ile bağ budama artıkları karıştırılıp, üre formaldehit tutkalı yardımıyla basınçla üç tabakalı (56x56x2 cm) yonga levhaya dönüştürülmüştür. Çalışma sonunda levhaların elastikiyet modülü, rutubet ve yoğunluk değerlerinin uygun olduğu belirlenmiştir (Yeniocak, 2008). Kayın mantarı yetiştirme ortamı olarak kullanılan budama atıklarıyla yapılan bir çalışmada, mantar verimi ve misel gelişimi açısından, budama artıkları yüksek toplam şeker ve fenolik madde, düşük azot ve yağ içerdiği için önemli bulunmuştur (Kurt, 2008). Bağ budama artıkları yakıt olarak da kullanılmaktadır. Lignin içeriği yüksek olan pres odunlar, hiçbir katkı maddesi kullanılmadan yüksek basınç ve ısı altında elde edilmektedir. Kaloriferik değeri olan

bu pres odunların yanarken zehirli gaz ve is çıkarmaması yüksek avantaj sağlamaktadır (Anonim, 2016).

Kiraz budama atıkları

Dünyada geniş bir dağılım gösteren kiraz (*Prunus avium* L.) ticari olarak Türkiye, İtalya, ABD ve İran gibi birçok ülkede yetiştirilmektedir. Türkiye yıllara göre değişmekle birlikte dünya kiraz üretiminde ilk sıralarda yer almaktadır. Türkiye'de kiraz üretiminde önemli bir yere sahip olan Çanakkale'de kiraz budama artıklarının değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada budama artıklarının enerji potansiyeli ve bu potansiyelin hesaplanmasında kullanılan budama katsayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 2 farklı yaşta olan 3 farklı kiraz çeşidi (0900, Van, Eşme) ve toplamda 30 kiraz ağacı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda 15-30 yaş arasındaki ağaçlardan en çok atık elde edilmiş ve çeşit olarak en fazla atık 0900 Ziraat, sonrasında Van son sırada ise Eşme yer almıştır. Yapılan budama sonucunda 15-30 yaş arasındaki ağaçlardan elde edilen atık miktarı 16,61 kg olurken 0-15 yaş arası ağaçlarda ise 6,76 kg olarak hesaplanmıştır. Yürütülen bu çalışma sonucunda ülkemizin enerji potansiyeli 3,43 PJ yıl^{-1}, Çanakkale ilinin sahip olduğu enerji potansiyeli 0,077 PJ yıl^{-1}, kullanılabilir kiraz budama atıkları 204.816.430 kg yıl^{-1}, budama artık katsayısı ise 11,68 kg ağaç$^{-1}$ olarak belirlenmiştir (Mandacı ve Çiçek, 2021).

Şeftali budama atıkları

Şeftali (*P. persica* L.), sert çekirdekli meyve türleri arasında dünyada yaygın olarak yetiştirilen meyve türlerinden biridir. Türkiye'nin sahip olduğu uygun iklim ve toprak koşulları şeftali yetiştiriciliğine oldukça uygundur. Ülkemizde birkaç il dışında hemen hemen her bölgede yetiştiricilik yapılmaktadır (Dok ve ark., 2018). Farklı iklim koşullarına kolayca uyum sağlayan şeftali kaliteli ürün verebilmek için düzenli budanmaya ihtiyaç duymaktadır (Gür, 2011). Şeftali ağacı meyvelerini bir yaşlı dallar üzerinde oluşturduğundan dolayı diğer meyve türlerine kıyasla daha fazla budamaya ihtiyaç duymaktadır. Şeftalide hasat sonunda meyve taşıyan sürgünler budanmalı ve böylece yeni sürgünlerin büyümesine olanak sağlanmalıdır. Ayrıca ağacın kendini yenilemesi, ağaçların şekillendirilmesi, yüksek verimli ve kaliteli ürün elde edilmesi için şeftali ağaçları her yıl düzenli olarak budanmalıdır (Teskey ve Shoemaker 1982, Li ve ark., 1994). Şeftali bahçelerinde yapılan budamalar sonunda birçok budama atıkları meydana gelmekte bu durum da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Sürekli artan enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları arayışı gün geçtikçe artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde sayılan biokütle enerjisi tarımsal budama artıkları sonucunda ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de ağaç varlığı bakımından yüksek miktarlara sahip olan şeftalinin budanması sonucu meydana gelen budama atıklarının enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada budama parçaları 3 ay boyunca açık havada kurutulmuş sonrasında dal parçalama makinesinden geçirilmiş

daha sonra istenilen boyuta getirilmek üzere öğütücü ve çekiçli değirmenden geçirilmiştir. Ardından %14 nem seviyesine düşürmek amacıyla kurutma işlemi yapılmış ve 150 bar basınç altında preslenmiştir. Yine aynı materyaller pelet makinesinden geçirilip 6mm'lik ürünler meydana getirilmiştir. Sonrasında ikişer kg 'lık alınan numunelerle yakıt özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda şeftalinin budanması sonucu elde edilen atıkların enerji kaynağı olarak kullanılabilir olduğu belirtilmiştir (Dok ve ark., 2018).

Portakal budama atıkları

Portakal (*Citrus sinensis Osb.*), yüksek antioksidan ve C vitamini içeriği ile eski çağlardan beri insanoğlu tarafından severek üretilen ve tüketilen meyve türlerinden biridir. En kaliteli ve en iyi portakal yetiştiriciliğinin yapıldığı Akdeniz iklim kuşağında yer alan ülkemiz bu yönüyle oldukça avantajlı bir konumdadır. Portakal ağaçları her dem yeşil olduklarından dolayı budama ve su stresi ağaçları verimden düşürmektedir. Bu nedenle portakal ağaçları her yıl düzenli olarak budanmamaktadır. Portakallarda ihtiyaca yönelik olarak şekil, gençleştirme ve verim budamaları belirli periyotlarda yapılmaktadır. Portakal ağaçlarında yapılan budamalar sonucu meydana gelen budama atıklarının toprağın verimliliği üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada Washington Navel çeşidinin budama atıkları diskaro ve freze aletleri ile toprağa karıştırılmış ve toprak verimliliğindeki değişimler incelenmiştir. Uygulamalar sonucunda budama artıklarının verimlilik üzerine etkisi 0-10 cm ve 10-20 cm toprak derinliklerinden alınan örneklerde gözlenmiştir.

Uygulamanın ikinci yılında topraktaki katyon değişim kapasitesi (KDK), yarayışlı fosfor (P), organik madde (OM), toplam azot (N), kalsiyum (Ca^{+2}), bakır (Cu^{+2}), potasyum (K^{+2}), çinko (Zn^{+2}) ile elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinde ciddi oranlarda artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Buna karşın toprak reaksiyonu (Ph), hacim ağırlığı, demir (Fe^{+3}), sodyum (Na^{+}) ve mangan (Mn^{+2}) miktarlarında ise düşüşler meydana geldiği belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda portakal budama artıklarının toprak verimliliği ve çevre sağlığı açısından faydalı olduğu görülmüştür (Yılmaz ve ark., 2019).

Kivi budama atıkları

Ülkemizde kivi yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı bölgeler başta Karadeniz bölgesi olmak üzere bunu sırasıyla Marmara, Akdeniz ve Ege bölgeleri izlemektedir. 7-8 yaşında tam verime ulaşan kivi meyvesinde budama belirli periyotlarla yapılmaktadır (Anonymous, 2018a). Kivi ağaçlarında budama; şekil budaması, yaz budaması ve kış ürünü budamaları olarak farklı amaçlarla yapılmaktadır. Kivi ağaçları da tıpkı şeftalide olduğu gibi bir yaşlı sürgünler üzerinde meyvelerini oluşturmakta, bu nedenle her yıl düzenli olarak budama yapılması gerekmektedir. Kivi ağaçlarının budanması sonucu meydana gelen budama atıkları önemli yakıt kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Kivi ağaçlarının budanması sonucu meydana gelen atıkların yakıt özelliklerinin incelenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada, budama artıkları üç farklı elekten (2,4 ve 6 mm ‘lik) geçirilip parçalanmış, basınç yardımıyla briketler elde edilmiş ve bunların yakıt

özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilmiş olan briketlerin yakıt özelliklerinin incelenmesi neticesinde 2 mm' lik parçacık boyutunun diğerlerine kıyasla daha uygun bulunduğu ve ısınma kaynaklı herhangi bir hava kirliliğine sebebiyet vermediği görülmüştür (Dok ve ark., 2018).

Çay budama atıkları

Türkiye' de çay yetiştiriciliği 1917 yıllarına uzanmaktadır. O dönemde bir heyet Batum ve çevresini incelemiş ve sonuç olarak Batum ile hemen hemen aynı ekolojiye sahip Doğu Karadeniz Bölgesi'nde çay yetiştiriciliğinin yapılabileceği rapor edilmiştir. Çay yetiştiriciliği, Gürcistan sınırından itibaren Ordunun Fatsa ilçesine kadar uzanan mikro klima özelliğine sahip bu alanda yapılmaktadır. Çay bitkisi, sürgün verimini arttırmak, yaprak hasadını kolaylaştırmak amacıyla toprağa yakın bir yükseklikten dallandırılmak suretiyle budanmaktadır (Torun ve Taluğ, 2005). Çay üreticilerinin her yıl bahar ayında düzenli olarak çaylıklarının %10'nu budamaları gerekmektedir. Bunun sonucunda ortaya çıkan budama atıkları kullanım alanı olmadığı için bulunduğu alanlarda yakılmakta bu durum da çevre kirliliğine neden olmaktadır. Çay budama artıklarının değerlendirilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma ile linyit kömürü ile çay budama artıkları belirli oranlarda karıştırılmış ve bu karışımın kül içeriği, ısıl değeri ve uçucu madde içeriği belirlenmiştir. Isıl değer açısından çay budama artıkları linyit kömüre göre yaklaşık %30 daha düşük olmasına karşın, artıkların linyit kömürüyle %50 oranında karıştırılması sonucunda kükürt içerikleri %1.15'ten % 0.69'a, kül içeriği ise

%12'den %6 dolaylarına düştüğü görülmüştür. Sonuç olarak linyit kömürüyle belirli oranlarda karıştırılan çay budama artıklarının yüksek enerji potansiyelli ve çevre dostu bir yakıt olduğu bildirilmiştir (Turumtay, 2020).

3. Sonuç

Artan dünya nüfusunun enerji gereksinimi her geçen gün artmakta bu da alternatif enerji kaynakları arayışına neden olmaktadır. İçerisinde bulunduğumuz küresel iklim değişikliği nedeniyle istenilen enerji kaynağının hem çevreye dost hem insan sağlığına duyarlı hem de yenilenebilir özellikte olması gerekmektedir. Son dönemlerde özellikle atıl durumda olan tarımsal budama atıkları çeşitli değerlendirilme şekilleriyle dikkatleri üzerine çekmektedir. Budama işlemleri sonucunda ortaya çıkan bu artıkların değerlendirilmesi ve bu değerlendirilme işlemlerinin de çevre kirliliğine sebep olmaması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla son yıllarda meyve bahçelerinde ağaçların budanması sonucu ortaya çıkan budama artıklarının çevreye uyumlu olarak farklı alanlarda tekrar kullanılabilir hale dönüştürülmesi işlemleri yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle biokütle enerjisi yenilenebilir yerli enerji kaynaklarımızdan biri olarak ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde bahçe tarımında (vişne, zeytin, portakal, elma, kayısı, üzüm, şeftali vb.) meydana gelen tarımsal atıkların farklı şekillerde değerlendirildiği yapılan çalışmalarla kendini göstermektedir.

4. KAYNAKLAR

Anonim, (2016). http://www.poyrazmuhendislik.net/urunler_isitma sogutma.asp. (Erişim Tarihi: 19.01.2022)

Anonymous, (2018a). www.ordutb.org.tr. Kivi Raporu, (Erişim Tarihi:15.01.2022)

Anonim (2021). Bitkisel Üretim İstatistikleri,https://data.tuik.gov.tr/ Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2021. (Erişim Tarihi: 19.01.2022)

Bekar, T., (2016). Bağcılıkta Atık Teknolojisi. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci. & Tech.6* (1): 17-24.

Bozkurt, M. (2011). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının çevre kavramları ile ilgili algılamalarının değerlendirilmesi ve bu algılamalarının çevreye yönelik tutumları ile tutarlılığının incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Adana

Caf, A., Koç, A., Yilmaz, S.. 2017. Kentleşmenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi; Bingöl İli Örneği. Journal of the Institute of Science and Technology, 7:3, 231-238

Camerini, F. Et all. (1999). Analysis of the Effects of Ten Years Of Mecanical Pruning On The Yield And Certain Morphological İndexes İn An Olive Orchard.III. International Semp. On Olive Growing. Vol:I, (474):203-207 Acta Horticulturea Greece.

Dok, M., Acar, M., Efendioğlu Çelik, A., Gülhan Atagün, G., Akbaş, U., (2018). Şeftali budama artıklarından yenilenebilir enerji kaynağı olarak yararlanma imkânlarının araştırılması. *Tarım*

*Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science),*14 (3), 193-198.

Dok, M., Acar, M., Efendioğlu Çelik, A.,Atagün, G., Akbaş,U. (2018). Farklı Parçacık Boyutlarındaki Kivi Budama Artıklarından Elde Edilen Briketlerin Yakıt Özelliklerinin Karşılaştırılması.*Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science),* 14 (2), 73-78.

Gercekcioğlu, R., Bilginer, Ş. and Soylu, A. (2018). Genel Meyvecilik (Meyve Ağaçlarında Çiçek Tomurcuğu Oluşumu, Polat, M. ve Aşkın, A.). Nobel Yayın Dağıtım, Ankara. 480s.

Güntekin E, Yaşar S, Karakuş B, Arslan MB, (2009). Bazı Kimyasal Ön İşlemlerin Asma Budama Artıklarından Üretilen Yonga Levhaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi,* 1(15): 45-49.

Gür, İ., (2011). Şeftali Yetiştiriciliği. Meyvecilik Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü.

Koçer A., Kürklü, A. (2018). Zeytin Budama Artıklarının Peletleme ile Değerlendirilmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science),* 14 (2), 67-72

Kurt Ş, (2008). *Değişik Tarımsal Artıkların Kayın Mantarı (Pleurotus ostreatus, Pleurotus sajor-caju) Yetiştiriciliğinde Kullanım Olanakları* (Doktora Tezi) Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Küden, A., Küden, A.B., İmrak, B. (2020). Modern Elma Yetiştiriciliği, Tarım Gündem Dergisi Özel Yayını,159 S.

Mandacı, M.A., Çiçek, G. (2021). Kiraz (Prunus avium L.) Budama Artık Katsayısının ve Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.* (COMU J. Agric. Fac.) 2021: 9 (1): 41–46.

Semerci ve ark., (2015). Türkiye Bağcılığının Genel Durumu. *MKÜ Ziraat Fakültesi Dergisi,* 20 (2)-51.

Sevinç, V. (Editör). (2009). *Eğitim fakülteleri için genel çevre bilimi,* Ankara: Maya Akademi Yayınları.

Teskey, B.J.E., Shoemaker, J.S., (1982). Tree fruit production. Third edition. Westport, AVI Publishing Company.

Turumtay, H.,(2020). Çay budama atık biyokütlesinin linyit kömür ile karıştırılarak beraber yanma potansiyelinin araştırılması. *Artvin Çoruh Ünv. Orman Fak. Derg*. 21(2): 35-142 (2020).

Yeniocak M., (2008). *Bağ Budama Artıklarının Yonga Levha Üretiminde Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi) Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı.

Yılmaz, E.,Çanakcı,M., Topakçı,M.,Sönmez,S. ,Ağsaran ,B.,Alagöz,Z. ,Çıtak,S. ,Saadet Uras,D. (2019). Portakal (citrus sinensis) budama atığı uygulamalarının toprak verimlilik parametrelerindeki değişim üzerine etkileri. *Medıterranean agrıcultural Scıence*, 32(Özel Sayı): 25-33.

BÖLÜM 16

BAHÇE BİTKİLERİ ÜRÜNLERİNDE ATIK YÖNETİMİ

Doç. Dr. Atilla ÇAKIR[1], Dr. Öğr. Üyesi M. İlhan ODABAŞIOĞLU[2], Öğr. Gör. Fırat İŞLEK[3]

[*1]Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü/Bingöl, Türkiye. acakir@bingol.edu.tr, Orcid: 0000-0001-9732-9272
[2]Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü/Adıyaman, Türkiye. modabasioglu@adıyaman.edu.tr, Orcid: 0000-0001-8060-3407
[*1]Muş Alparslan Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Fakültesi Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü/Muş, Türkiye. firatislek12@gmail.com, Orcid: 0000-0003-3157-36801
*Sorumlu yazar: cakiratilla@gmail.com

1. GİRİŞ

Çevre, insanlar dahil bütün canlıların hayatları boyunca iç içe olduğu ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları kültürel, ekonomik, sosyal, biyolojik ve fiziki ortamlardır. Kısaca tüm canlı varlıkları etkileyen ortamların tümüne çevre denilmektedir. Çevre, yaşam kalitesi ve sürdürülebilirliği için en önemli unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Çevre, yaşam ve her ikisinin sürdürülebilirliği birbirine bağlı önemli unsurlardır. Sözü edilen unsurların korunması, sürdürülebilmesi ve geliştirilmesinde en önemli görev insanlara düşmektedir (Özek, 1994).

Fakat insanlar, kendisine sosyal, fiziki, ruhi ve moral olarak güç veren ve bununla birlikte entelektüel gelişmesini sağlamak amacıyla hem çevreyi oluşturmakta hem de yok edebilmektedir (Altınbaş, 1995).

Sosyal çevrenin korunması, sürdürülmesi ve geliştirilmesi, insan sağlığına olumlu etkisinin yanı sıra daha iyi yaşam süresine ek olarak ekonomik gelişmeyi de sağlamaktadır. Bu anlamda insanoğlu çeşitli çabalar ile hayatını iyileştirme, ekonomik kar elde etmek amacıyla çevresini kirletmekte ve bozmaktadır.

Yapılan araştırmalar dünyadaki mevcut çevre kirliliğinin yarısından fazlasının son 35-40 yılda meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Karaer ve Gürlük, 2003). Çevre kirliliğinin önemli kaynaklarından biri hızlı nüfus artışıdır. Hızlı nüfus artışı ve söz konusu bu artışın beraberinde getirmiş olduğu plansız kentleşme çevre kirliliği sürecini daha da hızlandırmaktadır. Daha iyi yaşam standartlarının oluşturulması için oluşturulan kentsel yaşam alanları çevresel sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte kent,

sanayi bölgelerinin bulunduğu bölgelerde düzenli ve sürdürülebilir bir alt yapının oluşturulmaması da çevre kirliliğinde önemli bir payının olduğu söylenebilir. Geri dönüşümün yaygınlaştırılmamış olması da çevre kirliğinin başka bir nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yoğun nüfus artışı ve kentleşme ile birlikte, canlı beslenmesinde temel gıda olan bitkisel üretim alanları da azaltmaktadır. Söz konusu bu alanların azalmasına rağmen ihtiyaç duyulan gıda maddesi ihtiyacı da artmaktadır. Buna paralel olarak insan, gıda ihtiyacının karşılanması için yoğun tarımsal girdiye ihtiyaç duyulmaktadır. İnsan gıda ihtiyacını karşılamak için yapılan tüm bitkisel üretim faaliyetleri, direk etkileşim içerisinde olduğumuz doğal dengeyi de bozmaktadır.

Tarımsal üretim, çevre ile iç içe olan bir uygulama alanıdır. Artan gıda ihtiyacının karşılanabilmesi için entansif tarım zorunlu hale getirmektedir. Doğal faktörlerin yanı sıra, yoğun tarımsal üretimde teknoloji ile birlikte pestisit ve kimyasal gübrenin kullanılması, ekoloji ile birlikte toprak ve su gibi tarımsal üretim için oldukça önemli olan doğal kaynakların bileşimlerinin değişmesine neden olmaktadır (Güler, 2004). Bitkisel ve hayvansal üretim bir organik üretim olduğundan, sonuçta gıda kaynağı olan protein ve besin kaynakları çevre kirliliğinden doğru ya da dolaylı olarak etkilenebilmektedir (Ekingen, 1989; Karaman, 2006).

Ekonomik anlamda kalkınmanın daha hızlı olduğu ülkelerin çevreye vermiş olduğu zararlar çok daha fazla olabilmektedir (Stern, 1998; Karaer ve Gürlük, 2003). Ekonomideki diğer sektörlere bakıldığında, tarımın hem olumlu hem de olumsuz çevre etkilerine sahip olduğu

bilinmektedir. Örneğin bir bölgede tarımın gelişmiş olması, bölgedeki oksijen üretimini, doğal yaşamı ve iklimi olumlu yönde etkilerken, özellikle, entansif tarımın yoğun olduğu bölgelerde pestisit kirliliği, tuzluluk ve inorganik nitrat kirliliği problemleri tarımın çevreye verdiği bazı olumsuz etkiler olarak göze çarpmaktadır (Karaer ve Gürlük, 2003).

Bu çalışmada tarımsal üretim uygulamasının çevreye olan olumlu-olumsuz etkileri irdelenmiştir. Ayrıca tarımsal üretim faaliyetleri sonucu elde edilen tarımsal ürün atıklarının çevre kirliliği üzerine etkileri ve bu olumsuz etkileri gidermek için uygulanabilecek atık yönetimi konuları işlenerek atıkların çevreye dost yeni ürünlere dönüştürürken ekonomik anlamda yarar sağlama yöntemleri üzerinde durulmuştur.

2.TARIMSAL ÜRETİM FAALİYETLERİNİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİ

Tarımın yoğunlaşması ve sürekli gelişmesi sonucunda çevreyi koruyucu politikaların benimsenmesi birçok ülkenin başlıca gündemini oluşturmaktadır. Çiftlik hayvanları artıklarının kontrol edilmemesi, örtü altı yetiştiricilikte atık maddelerinin yoğunluğu, azotlu gübreler ve pestisit kirliliği, peyzajın deformasyona uğratılması, kentsel atıkların geri dönüşümde yeteri kadar değerlendirilememesi sonucunda çevre ile direk ilişki içinde olan yabani hayatın kaybolması ve toprak erozyon tarım-çevre etkileşiminde temel konular olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal dengeyi koruma politikaları geliştirilirken, kısa-uzun vadede, sektörler bazında (endüstri, konut, tarım, inşaat, enerji, taşımacılık,)

alınacak bütün kararlarda mutlaka çevre etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Sözen, 1994).

Çevre kirliliğine neden olan tarımsal faktörler şu şekilde sıralanabilir.

2.1. Pestisit Kirliliği

Bitkisel üretimde pestisitlerin uygulanması ürün artışında önemli bir etken olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk olarak 1930'ların sonlarında dikloro difenil trikloroetan (DDT) gibi güçlü pestisitler tütün ve pamuk gibi gıda olarak tüketilmeyen ürünlerde kullanılmıştır. Bunu izleyen sonraki yıllarda herbisit, insektisit ve fungusitlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. II. Dünya savası sonrasında, gıda üretimini arttırmak amacıyla kimyasal uygulamalarının geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmalar yapılmıştır (Dubgaard, 1991). Pestisitlerin modern tarımda yoğun kullanılmaya başlanmasıyla birlikte flora ve faunanın bozulmasına, yer üstü suların, denizlerin ve hatta yer altı suların kirlenmesine neden olmuştur (Kahn, 1991). Buna ek olarak pestisitlerin özellikle gıda zincirinin hangi aşamasında ve ne konsantrasyonda zararlı etkisinin olabileceğine ait sağlıklı bilgilerin olmaması da ayrı bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Turabi, 2007). Örneğin pestisit uygulanmış bitkilerin çiftlik hayvanları tarafından tüketilmesi ile söz konusu pestisitler bu hayvanlar tarafından sindirilmekte ve pestisit kalıntıları gut bakterisine dönüşebilmektedir. Besin piramidi zincirinin en tepe noktasında bulunan insanlarda (özellikle çocuklarda) bu kimyasal birikebilmektedir (Burnett, 1990).

2.2. İnorganik Nitrat Kirliliği

Bitki büyümesi için gerekli temel besin elementlerinden biri olan azot, doğal topraklarda yeteri kadar bulunamayabilmektedir. Besin elementinin dengesizliği mikroorganizma ve bitki büyümesini sınırlandırmaktadır (CPCB, 2000). Azotlu gübrelerin kullanılmasıyla daha verimli bitkisel üretimin elde edilmesinin anlaşılmasıyla birlikte, inorganik gübre talebinde artış söz konusu olmuştur. Yoğun azotlu gübrelerin kullanılması–toprakta azot dengesinin bozulmasına neden olmuştur. Toprakta biriken azotun yıkanarak akarsu, göl ve denizlere ulaşması ile beraber söz konusu bu ortamlarda çözünmüş azotun birikmesine neden olmuştur (Munasinghe, 1993).

2.3. Hayvan Artıkları

Çiftlik hayvanları (et-süt, kümes hayvancılığı) ve endüstrisinin yoğunlaşması ile birlikte, özellikle amonyak emisyonu sonucunda asit yağmurlarının oluşmasına, metan gazı ise sera etkisine yol açarak küresel anlamda kirliliğe neden olmuştur (Bauer 1994). Ayrıca hayvan yetiştiriciliği sırasında ortaya çıkan hayvan artıklarının toprak verimliliğine olan olumlu etkisinin yanı sıra toprakta birikecek olan nitrat ve fosfat kirliliğine de neden olabildiği bildirilmektedir. Söz konusu kirliliğin giderilmesinin sosyal maliyetinin çok yüksek olduğu düşünülmektedir (Tamminga ve Wijnands 1991).

2.4. Toprak Erozyonu

Bitkisel üretimin temel yapı taşlarından biri olan toprağın yanlış tarımsal uygulamalar sonucu bozulabilmektedir. Yapısı bozulan toprağı

eski haline getirebilmek çok fazla zaman almakla birlikte, maliyeti de çok yüksek olabilmektedir. Ayrıca rüzgar ve su erozyonundan dolayı verimli topraklar başka yerlere taşınabilmekte ve mevcut tarım alanları çoraklaşabilmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre Afrika'da 320 milyon hektar tarım arazisi erozyon nedeniyle kullanılmaz hale geldiği bildirilmektedir (CPCB, 2000).

2.5. Tuzluluk

Kurak bölgeler başta olmak üzere sulu tarımsal üretimde yanlış ve kalitesiz sulamalar ile tuzlulaşmanın çok daha hızlı olduğu bilinmektedir. Çünkü kurak bölgelerde yapılan yoğun sulamalarda hızlı buharlaşma nedeniyle sulama suyu içerisindeki tuz toprak yüzeyinde birikmektedir (Kara ve Apan, 2000; Singer and Munnis, 2002). Toprakta fazla biriken tuzdan dolayı mevcut besin elementlerinin bulunma oranları değişmektedir. Söz konusu bu değişim antogonizim olayının ortaya çıkmasında neden olmaktadır. Antogonizimden dolayı verim düşmekte ve toprak verimsizleşmektedir. Tuzlu toprakların ıslahının maliyetinin çok yüksek olduğu ve uzun bir süreç gerektiren bir uygulama olduğu bilinmektedir. Çevre kirliliğinden direk etkilenen toprağın korunması ve sürdürülebilirliği açısından kısa ve uzun vadede programların geliştirilmesi gerekmektedir (Yurtseven, 1999).

2.6. Tarım Topraklarının Amaç Dışı Kullanımı

Özellikle hızlı nüfus artışına paralel olarak çarpık kentleşme ve endüstrileşmenin yanında düzensiz turizm yatırımları, orman yangınları ve sedimentleşme arazi kullanımını sınırlandırmakta ve üretim gücünü düşürmektedir. Bu nedenle çevreye dolaylı ya da doğrudan etkisi olan

toprak ve tarım alanlarının korunması ve sürdürülebilirliğinin planlı bir şekilde geliştirilmesi çevre kirliliğini azaltıcı etkisi olacaktır (Altınbaş, 1995).

3. TARIMSAL ÜRÜNLERİN ÇEVREYE OLAN ETKİLERİ

Literatür bildirişlerinde pek yer verilmemiş olsa da insanoğlunun ilk buluşu çöptür. Çöp, genel anlamda işe yaramaz ya da zararlı olduğu düşüncesi ile ekonomik değere sahip olmayan malzemeler olarak adlandırılmaktadır. Aslında çöp veya atık tanımı son 20 yılda değişmiş ve atığa ekonomik bir değer olarak bakılmaya başlanılmıştır. Günümüzde atıklar birçok toplumda hem bir hammadde hem de bir yer üstü madenciliği olarak benimsenmeye başlanmıştır (Alper, 2010).

Tarımsal üretim sonucu elde edilmiş ürünlerin atıklarını aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür.

1. Meyve ve sebze pazarı atıkları

2. Gıda işleme endüstrisi atıkları

3. Gıda atıkları

3.1. Meyve ve sebze pazarı atıkları

Tahmini meyve ve sebze üretiminin yaklaşık 3’te 1’i atık olarak çöpe atılmaktadır. Buna ek olarak meyve ve sebze pazarlarındaki kirli ortam ve hijyenik olmayan koşullar, hem alıcılar hem de satıcılar için çevre ve sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Bütün pazarlar (küçük veya büyük şehirlerde) çöp, çürük sebze ve koku yayan meyveler oluşturmaktadır. Sivil yetkililerin bu amaçla birkaç çalışanı olmasına rağmen, çevre kirliliğine neden olan bu atıkların çevreye zarar

vermeden yok edilmesi veya değerlendirilmesi için uygun bir mekanizma bulunmamaktadır (Yaman, 2012; Üçok, 2016)

3.2. Gıda işleme endüstrisi atıkları

Gıda işleme endüstrisi hem paketleme hem de işleme/katma değer faaliyetlerini içermektedir. Söz konusu bu işletmelerde atıkların ana materyalini meyve ve sebzelerin kabuk, posa ve diğer kısımları oluşturmaktadır. Gıda işleme endüstrisinde ilgili meyve ve sebzelerin yıkama süreçleri ile birlikte paketleme faaliyetleri de atık üretmektedir. Mevsime göre organik atıkların türleri değişmekle birlikte tüm bu işlemler sonucunda atık su oluşumuna da katkıda bulunarak çevre kirliliğine sebep olabilmektedir.

3.3. Gıda atıkları

İnsanoğlunun devamlılığını sağlayabilmesi için beslenmesi gerekmektedir. Yaşamını idame etmek için beslenen insanoğlunun bu faaliyeti gerçekleştirirken üzerinde yaşadığı çevrenin dengede kalmasını sağlaması gerekmektedir (Çakmak, 2012). Çünkü ekolojik denge, canlı yaşamının sürmesi için gerekli olan bileşenlerin (oksijen, su, karbondioksit, azot vb) bir döngü içerisinde devam etmesi gerekmektedir. Fakat insanoğlunun daha fazla üretme ve tüketme isteğinden dolayı sınırlı kaynakların bilinçsizce kullanılmasından nedeniyle üretim ve tüketim artıkları çevreyi kirletmektedir. Yapılan çalışmalarda yıllık üretilen gıdaların %30'unun kaybolduğu ve çöpe atıldığı bildirilmektedir (Gustavsson ve ark., 2011).

Gıda atıklarının oluşturduğu kirlilik, doğal kaynakların azalması, ekonomik ve toplumsal zararlar göz önüne alındığında gıda atıklarının etkin bir şekilde yönetimi ve yeniden değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın devamı için hem ülkemizde hem de tüm dünyada her geçen gün önem kazanan konulardan biridir (Kılınç Şahin ve Bekar, 2018).

Dünyada ve ülkemizde her geçen gün önem kazanan konulardan bir diğeri de gıda atıklarıdır. Söz konusu bu gıdaların oluşturmuş olduğu kirlilik, doğal kaynakların sınırlı olması, azalması ve toplumsal zararları göz önüne alındığında gıda atıklarının etkin bir şekilde değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması açısından büyük bir önem arz etmektedir (Creedon ve ark., 2010; Özdemir, 2010).

4. ATIK YÖNETİMİ

Atık yönetimi, atık malzemelerin toplanması, taşınması, işlenmesi, bertarafı veya geri dönüştürülmesi yönetimi ve izlenmesini içermektedir.

Atık yönetiminin başlıca ilkeleri şunlardır:

4.1. Miktarını düşürmek

Atık önleme veya “kaynak azaltma”, daha az tüketmek ve atmak anlamına gelmektedir. Kaynak azaltma aslında ilk etapta atık oluşumunu engellemekte, bu nedenle en çok tercih edilen atık yönetimi yöntemidir ve uzun bir süreç gerektirmektedir. Arıtma ve bertaraf maliyetleri (ve muhtemelen “atık” ürünler için ikincil pazarlar bularak atıkların yok edilmesi ve çevreyi koruyan kaynakların tüketiminden

kaynaklanan çevresel etkileri azaltarak alternatif gelir akışları yaratmaktır.

4.2. Yeniden Kullanım

Oluşan atıkları hayır kurumlarına ve topluluk gruplarına bağışlayarak veya satarak yeniden kullanmak israfı da azaltmaktadır. Mümkün olduğunda ürünleri yeniden kullanmak, geri dönüşümden daha iyi bir sonuç vermektedir. Çünkü ürünün tekrar kullanılmadan önce yeniden işlenmesine gerek kalmamaktadır.

4.3. Geri dönüşüm

Geri dönüşüm işlemi atık haline gelebilecek malzemeleri yeniden kullanılabilecek değerli kaynaklara dönüştürmektedir. Ayrıca, bir dizi çevresel, finansal ve sosyal fayda sağlar.

4.4. Yeniden satın alma

Geri dönüşümü ekonomik olarak mümkün kılmak için geri dönüştürülmüş ürünler ve ambalajlar satın alınmalıdır. Geri dönüştürülmüş ürünler satın alındığında, geri dönüştürülebilir malzemelerin toplanması, üretilmesi ve yeni ürünler olarak pazarlanması için ekonomik bir teşvik oluşturmaktadır.

4.5. Dönüştürme

Tohumlar, çekirdekler, kabuklar ~~ve kabuklar~~ gibi gizli proses yan ürünleri, yağlar, antioksidanlar vb. gibi katma değerli ürünlere dönüştürülmesi işlemidir.

5. ATIK YÖNETİMİ YAKLAŞIMLARI

5.1. Düzenli depolama

Atıkların bir çöplükte yok edilmesi, atığın gömülmesini içermektedir ve bu, çoğu ülkede yaygın bir uygulama olmaya devam etmektedir. Düzenli depolama alanları genellikle terk edilmiş veya kullanılmayan taş ocaklarında, maden boşluklarında veya ariyet ocaklarında kurulmuştur. Düzgün tasarlanmış ve iyi yönetilen bir depolama, atık malzemelerin bertaraf edilmesi için hijyenik ve nispeten ucuz bir yöntem olabilir. Daha eski, kötü tasarlanmış veya kötü yönetilen çöplükler, rüzgarla savrulan çöpler, haşeratların oluşması ve sıvı sızıntısı oluşumu gibi bir dizi olumsuz çevresel etki yaratabilmektedir. Düzenli depolama alanlarının diğer bir yaygın ürünü, organik atıkların anaerobik olarak parçalanmasıyla üretilen gazdır (çoğunlukla metan ve karbondioksitten oluşur). Bu gazlar atmosferik sıcaklık artışına, sıcaklık artışı da bitkisel üretimin azalmasına yol açmaktadır (Tursun ve ark., 2018).

Meyve ve sebze atıklarının genellikle düzenli depolama alanına girmesinin nedenlerinden biri, diğer bertaraf yöntemlerinin çoğunun atığın önce işlenmesini gerektirmesidir. Bu nedenle, atığı bir çöp sahasına yüklemek, ondan kurtulmanın en kolay ve en hızlı yöntemidir. Ne yazık ki çoğu zaman olduğu gibi, en kolay yol en çevreci yol değildir.

5.2. Yakma

Yakma, katı organik atıkların yakılarak kalıntı ve gaz halinde ürünlere dönüştürüldüğü bir yok etme yöntemidir. Bu işlem, katı atık hacmini orijinal hacmin yüzde 20 ila 30'una kadar düşürmektedir. Yakma işlemi esas olarak kurutma, buharlaştırma ve ateşe verme işlemlerini içermektedir. Yakma ve diğer yüksek sıcaklıktaki atık arıtma sistemleri bazen "termal arıtma" olarak tanımlanır. Yakma fırınları atık maddeleri ısı, gaz, buhar ve küle dönüştürmektedir (Yelda and Kansal, 2003).

Yakma işlemi hem bireyler tarafından küçük ölçekte hem de büyük ölçekte sanayi tarafından gerçekleştirilir. Hareketli ızgara, sabit ızgara, döner fırın, akışkan yatak gibi birçok yakma tesisi tasarımı bulunmaktadır. Fakat bu uygulamada gaz halindeki kirleticilerin emisyonu gibi sorunlar nedeniyle tartışmalı bir atık yönetim yöntemidir.

5.3. Kompost Üretimi

Dünyanın dört bir yanındaki çöplükler endişe verici bir oranda artış göstermektedir. Buna rağmen dünya üzerinde biriken atık miktarı artmaya devam etmektedir. Çöplere atılan katı atıkların %20'lik kısmını peyzaj tasarımında kullanılan bitki artıkları oluşturmaktadır. Bu yüzden birçok ülkede söz konusu bu atıkların çöpe atılması yasaklamıştır. Bu ve buna benzer atıkları yok etmenin bir alternatif yolu olarak peyzaj atıklarının değerlendirilmesidir. Yaşam döngüsünün devam etmesi için doğanın organik maddeleri toprağa geri dönüştürme yöntemi olan kompost üretimi en güzel alternatifi olabilmektedir. Sağlıklı toprakta yaşayan milyarlarca mikroorganizma, ölü bitki

parçalarını yeni bitki büyümesi için yeniden besin elementlerinde dönüştürmektedir. Kompost üretimi amatör işletmelerin de uygulayabileceği kolay bir işlemdir. Topraktaki organik madde miktarını arttıran kompost ayrıca; nemi koruma, yabani otları kontrol etme, erozyonu azaltma, görünümü iyileştirme ve toprağın çok hızlı ısınmasını veya soğumasını önleme gibi özellikleri de bulunmaktadır (Ataman, 1988 ; Chen et al., 1988).

Bunula birlikte kısa sürede ve çok az maliyet ile doğal kaynaklar ve çevreyi korunurken, toprak sağlığı ve görünümü iyileştirilebilir, gübre ve malç için ekonomik anlamda tasarruf sağlanabilmektedir. Elde edilen kompost, bahçelerde, peyzaj alanlarında ve çiçek yetiştiriciliğinde tekrar kullanılarak çevre korumaya yardımcı olunabilmektedir.

5.4. Biyogaz üretimi

Biyogaz üretmek için bir anaerobik fermantasyon sistemi kullanarak yenilenebilir enerji üretme yöntemidir. Bu uygulama da atıkların yok edilmesi sorununu azaltarak katı atık değerlendirilmesi konusunda farkındalık yaratan bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyogaz üretimi ile daha ucuz ve çevreye dost enerji elde edilerek gerek ekonomik gerek ekoloji bakımından fayda sağlanmış olunur. Bütün bunlara ek olarak, biyogaz üretiminden elde edilen yan ürün, çiftçilere biyo-gübre olarak geri satılabilir, bu da ürün verimini artıracak ve gelecek yıllarda toprak verimliliğini sağlayacaktır (Sayın ve Erdoğan, 2011).

5.5. Organik atıkları kağıt yapımında kullanmak

Özellikle tropik bölgelerde yetişen muz gibi meyve ağaçlarının yaprak ve sapları katı atık olarak çok büyük sorunlar yaratabilmektedir. Örneğin Asya'nın en büyük meyve ve sebze pazarı olan Hindistan, kuru yapraklar, saplar ve diğer katı atıklar şeklinde her yıl 10.000 ton atık üretmektedir. Günümüzde giderek kıt ve pahalı olan bambu ve çeltik samanı gibi mevcut kağıt kaynaklarına alternatif olarak muz atığı düşünülmektedir. Bu uygulama sadece mükemmel bir alternatif hammadde sağlamakla kalmaz, aynı zamanda sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olacaktır (Ambulkar and Shekdar, 2004).

5.6. Vermikompost üretimi

Vermikompostlama, solucanların organik maddeleri dönüştürmek için kullanıldığı süreçtir. Bu işlem genellikle atıkları vermikompost olarak bilinen humus benzeri bir malzemeye dönüştürmesidir. Solucanlar atık maddeyi yutar, ilkel taşlıklarında parçalar, sindirilebilir/çürüyebilir kısmı tüketir ve ardından hemen pazarlanabilen ve tüketiciye belgelenmiş çeşitli faydaları olan dengeli, humus benzeri bir madde salgılarlar (Ali et al., 2014). Mikrobiyal aktiviteyi teşvik eden solucanların neden olduğu organik atık ayrışmasının aerobik, biyo-oksidasyon, termofilik olmayan bir işlemidir. Ayrıca solucanlar, bakteri aktivitesini uyararak ve kendi ayrışmaları yoluyla nitrat üretimini arttırmaktadır. Solucan artıklarında toprakta mevcut Ca, Mg, Na, K, P ve Mo gibi değişebilir katyonların konsantrasyonları daha yüksek olduğunu bildiren çalışmalar mevcuttur (Arthur et al., 2012).

5.7. Hayvan yemi olarak bahçe ürünleri

Bahçe bitkileri atıkları, tüm dünyada hayvancılık yemlerinde kullanılan önemli bir bileşendir. Limon ve diğer turunçgil küspesi hayvan yemi olarak kullanılabilir. Ananas atıkları geviş getiren hayvanlar ve domuzlar için iyi bir besin kaynağıdır. Kakao kapsülleri sığır veya domuzların beslenmesinde kullanılabilmektedir. Muz atığı sığırlar ve domuzlar tarafından sevilerek tüketilen besi yemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaju meyveleri şeker bakımından zengindir ve kümes hayvanları veya geviş getiren rasyonlarda bazı tahılların yerini alabilecek potansiyele sahiptir. Domates artıkları (hamur haline getirildikten sonra) protein açısından zengindir ve keçilerin beslenmesinde kullanılabilecek yem kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Organik atıklar üzerinde yetiştirilen tek hücre proteini, protein yönünden zengin hayvan yemi olarak kullanılabilir (Favoino and Hogg, 2008).

Elma posası, mango kabuğu ve çekirdeği, turunçgil kabuğu, üzüm posası ve diğer katı şaraphane atıkları gibi meyve atıkları, kanıtlanmış fizyolojik faydalar sağlayan veya kronik hastalık riskini azaltan gıda bileşenlerinin, nutrasötiklerin ve fonksiyonel gıdaların geri kazanılması için kullanılmıştır. Meyve püresi, tohumlar ve saplar gibi yan ürünler, doymuş yağın etkilerine karşı koyan ve koroner kalp hastalığı mortalite insidansını azaltabilinen antioksidan kaynaklarıdır (fenolik asitler, kersetin, flavonoidler, fitoeleksinler ve pterostilbenler, resveratrol, vb.). Bu maddeler ayrıca anti-inflamatuar aktiviteye, anti-kanserojen ve anti-mutajenik etkilere sahiptir. Üzüm yan ürünlerinden bu ürünlerin geri

kazanılması ile ilgili önemli miktarda bilimsel makale ve izole bileşiklerin geri kazanımı ve antioksidan aktivitesi için tekniklerin geliştirilmesi ile ilgilenen yeni yöntemler bulunmaktadır. Meyve posası, tohumlar, kabuk ve gövde özleri, bakteri türleri üzerinde yüzde beş konsantrasyonda test edildiğinde etkili anti bakteriyel sonuçlara sahiptir. Ekstraktlar, gıda formülasyonlarında gıdaları bozulma bakterilerine karşı korumak için kullanılabilir.

Meyve atıklarının gıda olarak kullanılmasındaki temel sorunlardan biri, atıkların uygun bir mikrobiyolojik kaliteye sahip olmasını sağlamaktır. Bu nedenle sadece aynı gün içinde üretilen atıklar kullanılmalıdır. Bu önlemle bile, atığın, işleme sırasında atılan küflü meyveler, böcekler, yapraklar, gövdeler, topraklar vb. içermesi muhtemeldir ve bunlardan üretilen herhangi bir ürünü kontamine edebilir.

5.8. Doğal renklendiricilerin üretimi için bahçe ürünleri

Pigmentler gıdaların karakteristik kalite kriterleridir, bu nedenle önemlidirler. Doğal gıda renklendiricileri, antosiyaninler, karotenoidler, klorofil, betalainler ve diğer renklendiriciler olarak 5 gruba ayrılabilir. Meyve ve sebzeler, farklı formlarda doğal gıda renklendiricileri içermekte ve bunlar diyetin bir parçası olarak tüketilmektedir. Yeşil sebzelerde lutein ve klorofil, domateste likopen, meyve ve sebzelerde antosiyaninler örnek olarak verilebilir. Doğal renklendiriciler gelişen teknoloji kullanılarak birçok kaynaktan elde edilebilmektedir. Renk özütünün saf renklendirici içeriği uygulanan teknolojiye göre farklılık göstermekle birlikte diğer kimyasalları da içermektedir. Bu nedenle doğal renklendiriciler sadece saf pigmentler

olmayıp, özütlenebilen pigmentlerin karışımından oluşmaktadırlar. İlgili meyve ve sebze kullanılarak doğal renklendiriciler elde edilebilir ve ekonomik anlamda yarar sağlayarak çevreye dost bir üretim gerçekleştirilebilir (Ahsan, 1999).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişmekte olan ülkelerde tarımsal üretimin çevreye olan olumsuz etkiler endüstri atıklarının çevreye olan etkilerine kıyasla daha kontrol edilebilir niteliktedir. Çevreye dost tarımsal üretimin gerçekleştirilmesinde en önemli etken, doğal kaynakların etkin, ekonomik ve yeteri düzeyde kullanılmasıdır. Buna ek olarak doğal kaynaklara verilmesi muhtemel zararların ve ilgili faaliyetlerin taşıyabileceği risklerin doğru ve önceden tahmin edilmesi, gerekli enformasyonun sağlanmasıyla mümkün olacaktır. Bunun için gerekli olan AB'deki FADN sisteminin benzeri ülkemizde de kullanıma geçirilmelidir. Tarımsal faaliyet göstermekte olan gelişmekte olan ülkelerde bazı sorunlu politikalar yanında, aile işletmelerine dayalı tarımsal yapının sağladığı avantajlar kullanılarak, çevre dostu tarım geliştirilebilir. Çevre dostu tarımsal üretimi gerçekleştirmek ve geliştirmek için kimyasal girdilerin yanlış kullanımını önlemek, kontrol etmek büyük bir önem arz etmektedir.

Çevre dostu tarımı desteklemek için, organik tarım sonucu üretilen tarım ürünlerinin, finansman, üretim ve pazarlama aşamalarında desteklenmesi yoluna gidilmelidir.

Tarımsal üretimin çevre ile dost bir şekilde sürdürülmesinin başlangıçta yüksek girdiye ihtiyaç duyduğu düşünülse de daha sonraki yıllarda

bozulan dengeyi sağlamak için gerekli olan girdilerin daha fazla olacağını düşünerek göz ardı edilmemelidir.

Tarımsal ürün eldesinden sonra meydana gelen atıklar kontrolsüz bir şekilde yok edilmemeli, atık bertaraf alanı rehabilite edilmelidir. Açık çöplükten düzenli depolamaya aşamalı olarak geçiş yapılması gerekmektedir. Depolama, biyolojik olarak parçalanamayan, inert atıklar ve geri dönüşüm veya biyolojik işleme için uygun olmayan diğer atıklarla sınırlandırılmalıdır. Geri kalan diğer tarımsal ürünler yapısına uygun bir şekilde işlenerek direk etkileşim halinde bulunan çevre ile dost ve sürdürülebilir bir sistem geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin atık yakma yerine organik atıklardan kompost üretimi basit ve uygulanabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak katma değerli ürünler için atık kullanımına ilişkin en son teknolojinin daha büyük ölçekte test edilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

Ahsan, N. (1999). *Solid Waste Management Plan for Indian Megacities*. Indian Journal Of Environmental Protection 19 (2), 90–95.

Ali MR, Mehraj H, Jamal Uddin AFM. (2014). *Foliar Application of the Leachate from Vermicompost and Mustard Oil Cake on the Growth and Yield of Summer Tomato,* Middle-East Journal of Scientific Research 22 (8): 1233-1237.

Alper, S. (2010). *Türkiye'de Bitkisel Üretimde Girdi Kullanımının Yarattığı Çevresel Sorunlar.* TÜİK, Uzmanlık Tezi. Samsun.

Altınbas, Ü. (1995) *Çevresel Etki Değerlendirilmesinde Doğal Kaynak Olarak Toprak*. ÇED Eğitim Kursu Tebliği, Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.

Ambulkar, AR., Shekdar, AV. (2004). *Prospects of Biomethanation Technology in Indian Context: a Pragmatic Approach.* Journal of Resources, Conservation and Recycling 40 (2), 111–128.

Arthur GD, Aremu AO, Kulkarni MG, *et al*. (2012) *Vermicompost Leachate Alleviates Deficiency of Phosphorus and Potassium in Tomato Seedlings*. Hort Sci. 2012; 47:1304–1307.

Ataman, Y. (1988). *Saksı Kompostlarının Bazı Önemli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri*. Ank.Üni., Zir. Fak. Yay. 1082, Bil. Araş. ve İncel. 585, Ankara.

Bauer, S. (1994). *Development of Environmental İmpact Assessment Tools for Livestock Production Systems*.Vol. 1 : Research Report, Giessen, Germany, pp.4-16.

Burnett, J. (1990). *Ecology, Economics and the Environment*. The Royal Bank of Scotland Review, Volume : 167, pp.3-15.

Cakmak I. (2012). *Plant nitrition research: Priorities to Meet Human Needs for Food in Sustainable Ways*. Plant and Soil.2012; 247: 3-24.

Chen, Y., Inbar, Y., Habar, Y. 1988. *Composts as Potting Media. Soil.* Sci, 145 (4): 298-304.

CPCB. (2000). *Status of Solid Waste Generation, Collection,* Treatment and Disposal in Metrocities, Series: CUPS/46/1999–2000.

Creedon, M., Cunningham, D., Hogan, J. (2010). *Food Waste Prevention Guide Ireland. Clean Technology Center*, Cork Institude of Technology.

Dubgaard, A. (1991) *Pesticide regulations in Denmark, in farming and the countryside.* CAB International, Wallingford

Ekingen, HR. (1989). *Çevre kirliliğinin tarım ve tarım ürünleri etkisi*. Marmara Bölgesi Tarımının Verimlilik Sorunları Sempozyumu 102-108.ss. MPM, Ankara.

Favoino, E,, Hogg, D. (2008). *Effects of composted organic wastes on ecosystems – a specific angle: The potential contribution of biowastes to tackle climate change and reference to Soil Policy*. Proceedings CODIS Conference, pp 143 – 154, Solothurn, Switzerland, February.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A. (2011). *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention.* Study conducted for the International Congress SAVE FOOD! Düsseldorf, Germany.

Güler, S. (2004). *Dünya'da ve Türkiye'de Gübre Tüketiminde Yaşanan Gelişmeler.* Türkiye 3. Ulusal Gübre Kongresi, Tarım-Sanayi-Çevre, 11-13 Ekim 2004, Tokat, 47-54.

Kahn, JR. (1991) *Atrazine Pollution and Chesapeake Fisheries, Farming and Countryside an Economic Analysis of External Costs and Benefits*, Wallingford, CAB International.

Kara, T., Apan. M. (2000). *Tuzlu Taban Suyunun Sulamalarda Kullanımı İçin Bir Hesaplama Yöntemi*. O.M.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 15(3):62-67.

Karaer, F., Gürlük, S. (2003). *Gelişmekte Olan Ülkelerde Tarım-Toprak-Çevre-Ekonomi İletişimi*, Doğuş Üniversitesi Dergisi, 4(2), 297-206

Karaman, S. (2006). *Hayvansal Üretimden Kaynaklanan Çevre Sorunları ve Çözüm Olanakları*, Journal of Science and Engineering, 9 (2): 133-139.

Kılınç Şahin, S., Bekar, A. (2018). *Küresel Bir Sorun "Gıda Atıkları": Otel İşletmelerindeki Boyutları*. Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 6(4), 1039-1061. DOI: 10.21325/jotags. 2018.347

Munasinghe, M. (1993) *Environmental economics and sustainability*. Paper N : 3, Washington DC, The World Bank Environment.

Özdemir, B. (2010). *Dışarıda Yemek Yeme Olgusu: Kuramsal Bir Model Önerisi, Anatolia*: Turizm Araştırmaları Dergisi, 21(2), 218-232.

Özek, E. (1994). *Tarımdan Kaynaklanan Çevre Kirlenmesi ve Simülasyon Çalışmaları*. Ankara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Zootekni ABD, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 79 s.

Sayın, U., Erdoğan, D. (2011). *Atık Yönetiminde Biyometanizasyon Teknolojisi,* Çevre ve Orman Bakanlığı Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, ICCI, İstanbul

Singer, MJ., Munns, DN. (2002). *Soils. An Introduction,* 5th. Edition, Prentice Hall, Inc. New Jersey.

Soil.2012; 247: 3- 24.

Sözen, N. (1994) *Çevre kaynakları ve ÇED eğitimi*. Ankara, Türkiye Çevre Vakfı pp.64.

Stern, D. (1998) *Progress on the environmental Kuznets curve*. Environmental Development Economics, 3. ss.175-178.

Tamminga, G., Wijnands, J. (1991) *Animal Waste Problems in the Netherlands, in Farming and the Countryside*. Wallingford, CAB International. *The WHO recommended classification of pesticides by hazard, and guidelines to classification 1998-1999*. (1999) WHO/PCS/98.21, Geneva, International Programme on Chemical Safety.

Turabi, MS. (2007). *Bitki Koruma Ürünlerinin Ruhsatlandırılması.* Tarım İlaçları Kongre ve Sergisi, TMMOB Ziraat Müh. Odası ve Kimya Müh. Odası, Bildiriler Kitabı.

Tursun, N., Üremiş, İ., Bozdoğan, O., Doğan, MN. (2018). Sıcaklık ve CO_2 Artışlarına Bazı Önemli Yabancı Otların Verdikleri Tepkilerin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 34(3), 1-10

Üçok, S. (2016). *Sebze ve Meyve Pazar Atıklarının Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma,* Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Ben Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 72.

Yaman, K. (2012) *Bitkisel Atıkların Değerlendirilmesi ve Ekonomik Önemi*, Kastamonu Üniversites, Orman Fakültesi Dergisi, 12(2), 339-348.

Yelda, S., Kansal, S. (2003). Economic insight into MSWM in Mumbai

Yurtseven, E. (1999). *Sürdürülebilir Tarım ve Tuzluluk Etkileşimi*. VII. Kültürteknik Kongresi Bildirileri, 11-14 Kasım 1999, Kapadokya, 237-245.

BÖLÜM 17

TÜRKİYEDE HAVA KİRLİLİĞİNİN KENTSEL MEKÂNA ETKİLERİ: SİSTEMATİK LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Dr. Öğr. Üyesi Canan KOÇ[1], Dr. Öğr. Üyesi Ahmet CAF[2]
Doç Dr. Ahmet KOÇ

[1] Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Şehircilik ABD, Diyarbakır Orcid:0000-0003-0992-2290
[2] Bingöl Üniversitesi TBMYO Park ve Bahçe Bit. Bölümü Orcid:0000-0002-4295-7703
[3]Diyarbakır Teknik Bilimler MYO, Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır Orcid:0000-00016932-6680

Giriş

Kentlerdeki nüfus artışıyla birlikte çevre kirliliği sorunları artmaktadır. Fosil yakıt kullanımı, taşıt sayısının giderek artması, sanayi tesislerinin yanlış konumu ya da kirlilik kontrollerinin yeterli düzeyde olmaması gibi durumlar başta olmak üzere çok sayıda nedene bağlı olarak hava kirliliği kentlerde etkisini göstermektedir. Mevsimsel olarak da değişkenlik gösteren hava kirlilik oranları çarpık yapılaşmanın olduğu bölgelerde, sanayi tesisleri ya da taşıt yoğunluğunun fazla olduğu ana ulaşım aksları çevresinde daha çok hissedilmektedir. Beşeri faktörlerin yanı sıra coğrafi çevre koşulları da hava kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Kentler bulundukları arazi konumları ve meteorolojik özellikleri ile hava kirliliğinden doğrudan etkilenmektedir (İbret ve Aydınözü, 2010; Kök, 2018)

Hava kirliliği, dünya çapında milyarlarca insanı etkileyen önemli bir çevre sorunu olmuştur (Ming vd., 2022). Dünya Sağlık Örgütü raporuna göre, dünya nüfusunun % 92'si hava kirliliği limitinin aşıldığı kentlerde yaşamaktadır (Ming vd., 2022). Hava kirliliğinin canlı sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmakla birlikte, Türkiye'de özellikle 1950'lerden sonra hava kirliliği sorunu yaşanmaya başlamış ve günümüze kadar gelen süreçte devam etmiştir. Kentsel alanlardaki plansız gelişmeler ve arazi kullanımındaki doğru olmayan kararlar hava kirliliğinin artışını hızlandırmaktadır. Sanayi alanlarının yanlış yer seçimi, kent içi yeşil alanların yetersiz olması gibi sorunlar hava kalitesinin düşmesine neden olabilmektedir. Bu bağlamda, kentsel planlama çalışmalarında kirletici türlerin

saptanması ve sınır değerlerinin belirlenmesi, hava kirliliğini etkileyen iklimsel oluşumların, topoğrafik özelliklerin ve yapay çevre ilişkisinin bilinmesi önem taşımaktadır.

Ülkemizde hava kirliliğine ilişkin kontrol ve denetimler, yasal çerçeve doğrultusunda yapılmaktadır. Hava kirliliği, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı ile düzenli olarak ölçülmektedir. Türkiye'de 81 ilde de hava kalitesi izleme istasyonu bulunmaktadır.

Ulusal ve uluslararası literatürde hava kirliliği ve etkilerini konu alan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Uluslararası boyutta hava kirliliğinin psikolojik, ekonomik ve çevresel etkilerini tartışan geniş bir literatür bulunmaktadır (Ming vd., 2022). Son dönemde yapılan uluslar arası çalışmalarda Çin başta olmak üzere, Avrupa ve Amerika ülkelerinde kentsel ölçekte hava kirliliğinin ele alındığı görülmektedir. Ai, vd., (2022) yaptıkları çalışmada Çin'deki 281 kenti inceleyerek hava kirliliğinin kentsel yenilik kapasitesi ile olan ilişkisini ortaya koymuşlardır. Zhao vd., (2021) ise çalışmalarında Çin'de kentsel yapı ile hava kirliliği arasındaki ilişkiyi, mekansal ölçüm modeli kullanarak araştırmışlardır. Kentleri çeşitli açılardan ele alan bu tür çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

"Farklı dönem ve yerleşim yerlerinde çeşitli kirletici türleri ile ilgili yapılan çalışmalarda belirlenen ve hava kirliliğine neden olan faktörler, kentin fiziksel yapısı ve hava kirliliği ilişkisinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Literatürde, kentsel hava kirliliği ve bu alanda yapılan ampirik çalışmalar ölçüm yapılan döneme, kirletici

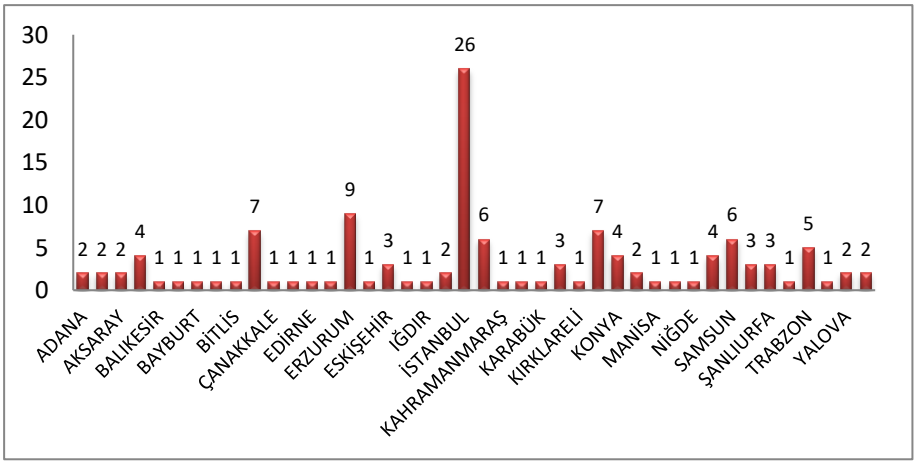
türüne ve kaynağına, alanın türüne ve ölçeğine göre farklılaşmaktadır" (Özcan, 2016). Bu bağlamda, çalışmada, kentlerdeki hava kirliliğini ele alan ulusal tez ve makaleler ele alınarak hangi konu üzerinde yoğunlaşıldığı ortaya konmaktadır.

Yöntem

Çalışmada yöntem olarak literatür taraması uygulanmıştır. Literatür taramasında DergiPark ve YÖK Tez Merkezi kullanılarak "hava kirliliği"ni ele alan çalışmalar belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, Dergipark ile makalelere, Tez Merkezi ile yüksek lisans ve doktora tezlerine ulaşılarak çalışmaların içerikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Elde edilen çalışmalar, kentler bazında tekrar incelenmiş ve tarihsel akışa göre tablolar oluşturulmuştur. Tablolarda, tezler için yıl, yazar bilgileri ve tez adı yer almıştır. Makalelerde ise bu bilgilerin yanı sıra çalışma hakkında kısa bilgiye yer verilmiştir.

Bulgular

Çalışma kapsamında YÖK Tez Merkezi'nden "hava kirliliği" kelimeleri yazılarak arama yapıldığında 1524 adet teze ulaşılmaktadır. Bunların 1219 adetini Yüksek Lisans Tezleri, 237 adetini Doktora tezleri ve 68 adetini diğer uzmanlık tezleri oluşturmaktadır. Yüksek lisans tezlerinin 125 adetinde hava kirliliği kentler bazında ele alınmaktadır. Yüksek lisans tezlerinde 26 adet ile İstanbul en çok çalışılan kent olmuştur. Bunu 9 adetle Erzurum,7 adetle Bursa ve Kocaeli takip etmektedir.



Şekil 1. Yüksek lisans tezlerinde hava kirliliğinin çalışıldığı kentlere göre dağılım (1976-2021)

Yüksek lisans tezleri incelendiğinde çalışmaların çoğunlukla hava kirliliğinin nedenleri ve çözüm önerileri üzerinde yoğunlaşıldığı görülmektedir. Daha çok iklim ve topoğrafyanın hava kirliliği üzerindeki etkileri analiz edilmektedir. Hava kirliliği haritalarının çıkartılması ve modellemeler de elde edilen sonuçlar arasında yer almaktadır. Yüksek lisans tezlerinin yıllar içindeki dağılımına bakıldığında konuyla ilgili en fazla tezin 15 adet ile 2019 yılında yazıldığı anlaşılmaktadır. Bunu 8 adet ile 1996 ve 2021 yılları takip etmektedir. Hava kirliliğinin kentler üzerindeki etkisini araştıran ilk yüksek lisans tezi Atalay, F. tarafından 1976 yılında yazılmıştır.

Tablo 1. Kentlerdeki hava kirliliğini ele alan yüksek lisans tezleri

Yıl	Yazar	Tez adı
1976	Atalay, F.	"Ankara hava kirliliği incelenmesi-temizlenmesi"
1988	Dursun, Ş.	"Samsun il merkezi ile Tekkeköy çevresinde havada bulunan kükürt dioksit (SO2), amonyak (NH3) ve duman konsantrasyonlarının meteorolojik faktörlerle ilişkisinin araştırılması"
	Özsoy, Y.	"İzmir'de hava kirliliğinin meteorolojik klimatolojik nedenleri"
1989	Sayın, A.S.	"İstanbul Kartal ilçesinde hava kirliliği kaynaklarının belirlenmesi için pilot çalışmalar"
1990	Yalçın, N.	"Erzurum'da hava kirliliğinin klimatik açıdan incelenmesi"
1991	Aşçıoğlu, C.	"Assessment of air pollution in Ankara with the use of microbiological methods"
	Doğan, L.	"Adana'da ulaşım kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi"
	Gümüş, F.U.	"İstanbul Fatih ilçesinde bazı hava kirliliği parametrelerinin tesbiti ve irdelenmesi"
1992	Altuntaş, A.K.	"1990-1991 ısınma mevsiminde Konya'daki hava kirliliğinin meteorolojik verilere göre değerlendirilmesi"
	Sengel, C.M.Y.	"Kadıköy Belediye sınırları içerisinde ısınmada kullanılan yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin boyutlarının belirlenmesi ve öneriler getirilmesi"
	Bektaş. H.Ş.	"Samsun-Tekkeköy bölgesi havasındaki SO2 konsantrasyonunun belirlenmesi ve meteorolojik parametrelerle ilişkisinin incelenmesi"
1993	Everest, N.	"Sivas kentinde hava kirliliğinin incelenmesi"
	Öz, Ü.	"1992-1993 ısınma mevsiminde Konya'daki hava kirliliğinin meteorolojik parametrelere göre değişimi ve önleme çareleri"
	Atik, S.	"Eskişehir merkez ilçesinde mikrobiyal hava kirliliği"
	Yazgıç, Ü.	"İstanbul'da hava kirletici parametrelerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi"
	Vardar. N.	"Bursa'daki hava kirliliğinin matematik modelle incelenmesi"
1994	Şahin, F.	"İstanbul'da bazı hava kirliliği parametrelerinin meteorolojik parametrelerle ilişkisi"
1995	Saral, A.	"İstanbul'un hava kirliliği haritasının çıkarılması"
1996	Aksu, R.T.	"Bursa'da kentleşme ve hava kirliliği sorunu"
	Etemoğlu, A.B.	"Bursa Büyükşehri için mevsimlere göre hava kirliliği analizi"
	Kaya, Y.	"Adana ili hava kirliliğinin meteorolojik analizi ve kirlilik ölçütlerinin saptanması"

	Adalı, M.K.	"Trabzon'daki hava kirliliği ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişkinin incelenmesi"
	Şeyran, C.	"Manisa ili hava kirliliği"
	Uçar, A.	"Şanlıurfa'da hava kirliliği ve kontrolü"
	Başara, R.	"Sivas iline ait hava kirliliği verileri ile meteorolojik veriler için çoklu lineer regresyon uygulaması"
	Erol, H.	"Ankara'da hava kirliliği ve çözüm yolları"
1997	Payan, F.	"Bursa İlinin hava kirliliği haritasının çıkarılması"
	Say, S.	"İstanbul'da hava kirliliğinin azaltılmasında doğalgazın etkisi"
	Ocak, S.	"Erzurum'da hava kirliliği, değerlendirilmesi ve atmosferik parametrelerle ilişkilendirilmesi"
1998	Köker, K.	"Ümraniye Belediye sınırlarında hava kirliliğinin hesaplanması ve haritasının çıkarılması"
	Çelebi, Y.	"Samsun'da toplu ulaşımdan kaynaklanan hava kirliliği ve çözüm önerileri"
	Demirci, E.	"Samsun'da hava kirliliğinin matematiksel modellerle incelenmesi ve modellerin karşılaştırılması"
1999	Aydın, C.	"İstanbul'da doğalgaz kullanımının çevreye etkisi"
	Güllü, G.	"Çevrenin önemi, İstanbul'da yaşanan hava kirliliği ve kaliteli kömür kullanımının hava kalitesine etkisi"
	Yıldızhan, A.	"Air quality assesment for İzmir on the basis of İzmir air pollution emission estimaties"
2000	Söyleyici, F.D.	"Konya il merkezinde havada bulunan SO2, NH3 ve duman konsantrasyonlarının meteorolojik faktörlerle ilişkisinin araştırılması"
	Akçay, K.	"Trabzon için istatistiksel bir hava kirliliği modelinin geliştirilmesi"
	Koçak, Y.	"Çevre bilgi sistemleri; İstanbul'da hava kirliliği üzerine çevre bilgi sistemi araştırması"
2001	Uslu, A.	"Ankara il merkezinde hava kirliliğinin gelişimi ve insan sağlığına etkileri"
	Erbaş, O.	"Kütahya'da hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik çözüm önerileri ve matematiksel modelleme"
	Memişoğlu, A.	"Erzurum ilinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği"
	Öztürk, Z.P.	"Eskişehir'de konutsal ısıtma sistemleri, enerji kullanımı ve emisyon kaynaklarının mahalleler bazında dağılımlarının haritalandırılması"
	Ghandour, E.	"Adapazarı bölgesi örneğinde hava kalitesi belirleme çalışması: şehir hava kalitesi ölçümleri ile dispersion modeli sonuçlarının karşılaştırılması"
2002	Tüllüoğlu, M.	"İstanbul ili şartlarında hava kirliliğinden dolayı park ve yol kenarı ağaçlarının yapraklarında partiküler madde birikmesi"

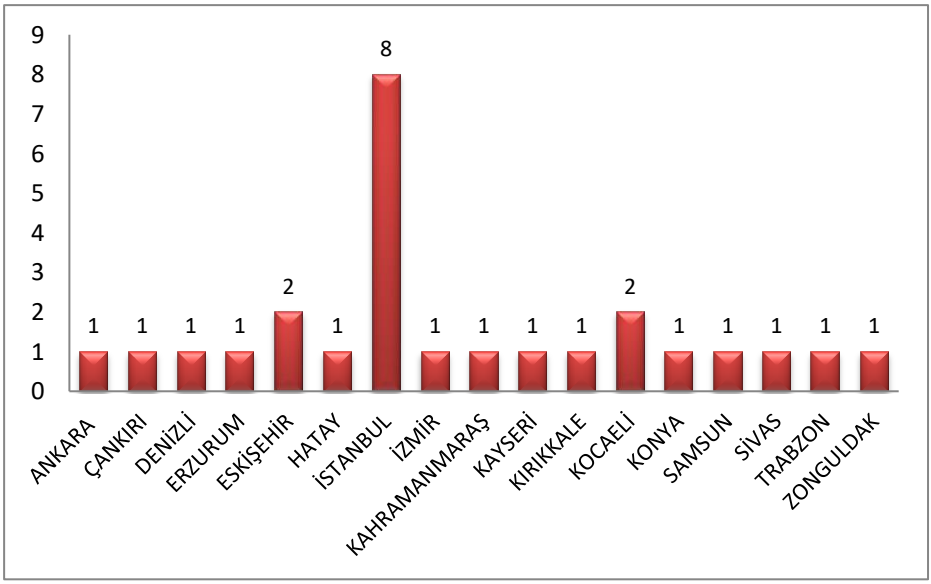
	Ünner, D.T.	"Coğrafi faktörlerin etkisinde Edirne ilinde hava kirliliği problemi"
	Sezen, I.	"Erzurum kenti hava kirliliği sorununun çözümünde peyzaj mimarlığı açısından alınması gereken önlemler"
	Tekin, A.	"Elazığ'da hava kirliliği ve insan sağlığı üzerine etkisi"
	Özkan, A.	"Çorlu ilçesinde emisyon envanteri ve hava kalitesi modellemesi"
	Çelebi, S.	"Havadaki SO2 konsantrasyonunun yapay sinir ağlı bulanık mantık yöntemi ile modellenmesi: Erzurum şehir örneği"
2003	Çınar, H.	"Eskişehir için hava kirliliği envanterinin hazırlanması ve CBS destekli hava kirliliği haritalarının oluşturulması"
	Kocakuş, S.	"Hava kirliliğine katkıda bulunan gaz ve parçacıkların mevsimsel izlenmesi: Yalova alan çalışması"
	Özer, S.	"Bursa'da hava kirliliği sorunu ve alternatif enerji kaynakları"
2004	Uzunali, D.	"Trabzon kent merkezi için 1998-2002 verilerine dayalı hava kirliliği haritaları çalışması"
	Sözak, G.G.	"Bilecik ilinin hava kirliliği envanteri ve hava kalitesi modellemesi"
2005	Yıldızay, H.D.	"Kütahya'da doğalgaz kullanımının hava kalitesine etkilerinin irdelenmesi"
	Irmak, E.Ç.	"Yalova ili 2003-2004 dönemi hava kirliliği çalışması"
	Çağlayan, C.	"1997-2004 yılları arasında doğalgaz kullanımının İstanbul'un hava kirliliği üzerine etkileri"
	Gül, N.	"Afyon'da kömür kullanımının hava kirliliğine etkisi ve çözüm önerileri"
	Erbaşlar, T.	"Bursa atmosferindeki klasik hava kirletici konsantrasyon seviyeleri ve birbirleri ile ilişkilerinin değerlendirilmesi"
2006	Aydın, Ö.	"Havadaki SO2 ve PM konsantrasyonunun istatistiksel yöntemler ile modellenmesi: Zonguldak şehir örneği"
	Ak, H.	"İstanbul ilinde partiküler madde değerlerinin incelenmesi"
	Taş, F.	"Hava kirliliği ve Kastamonu şehir merkezi için değerlendirme"
2007	Anıl, İ.	"Investigation of traffic related inhalable particulate matter in Istanbul"
	Yollu, B.	"Marmara Üniversitesi Göztepe Kampusu atmosferindeki parçacıkların sınıflandırılması"
	Sağol, S.	"Erzurum ili hava kirliliğinin tarihi eserler üzerine etkileri"
2008	Özaslan, Ü	"Kocaeli kentinde hava kirliliğine neden olan inorganik gaz kirleticilerin düzeylerinin, dağılımlarının ve kaynaklarının belirlenmesi"
	Kılıç, E.	"Bayburt ili hava kalitesinin değerlendirilmesi"

	Sert, İ.	"Balıkesir il merkezinde motorlu taşıtlardan kaynaklanan emisyon envanterinin hesaplanması"
	Yurdam, A.H.	"Çanakkale kent merkezinde atmosfer olayları ve hava kalitesi ilişkisi"
2009	Dede, B.	"Climatological trajectory analysis of air pollution from Istanbul to its surroundings"
	Güner, E.D.	"Kentsel hava kirliliği: Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi (İstanbul)"
	Gültürk, E.	"Sivas ilinde doğal gaz kullanımının meteorolojik ölçümler ve havakirliliği üzerine etki sinin incelenmesi"
	Odabaş, B.B.	"Adapazarı ilçesinde 2007 yılındaki ısınma kaynaklı emisyonların analizi ve envanterlenmesi"
2010	Parlak, B.	"Air pollution effects on the façade of the botter apartment in Istanbul"
	Munzuroğlu, Ü.	"İstanbul trafiğindeki ticari taksilerin emisyon açısından olumsuz etkileri"
	Saraçoğlu, H.	"İzmir Limanı'na gelen gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonlarının incelenmesi ve çevresel etkileri"
	Borucu, G.	"İstanbul'da çocuk oyun parklarında atmosferik aerosollerin elementel kompozisyonunun incelenmesi"
	Kaygaldurak, S.	"Adapazarı atmosferi partikül maddelerinde (PM1 ve PM10) bulunan Fe, Pb, Cr, Zn ve Cd içeriklerinin tayin edilmesi"
2011	Sarı, D.	"Inventory of air pollutant emissions from domestic heating in residential areas of Izmir"
2012	Karapınar, Ç.	"Kahramanmaraş'ta doğalgaz kullanımının hava kalitesi üzerindeki etkisinin araştırılması"
	Akyürek, Ö.	"Trabzon kent merkezi için hava kirliliği ile meteorolojik koşullar arasındaki ilişkinin 2006-2011 arası verilerine dayalı olarak incelenmesi"
	Karabaş, A.S.	"Kayseri ili baz alınarak enerji, gürültü ve hava kirliliği haritalarının coğrafi bilgi sistemi yardımıyla oluşturulması ve analizi"
	Seçgin, A.	"Gebze çevresindeki Aerosol formundaki hava kirliliğinin Raman Lidarı ile incelenmesi"
2013	Özer, F.	"Karabük'te doğalgaz kullanımının hava kirliliğinin azaltılmasına etkisi"
	Güngör, A.	"Isparta ilindeki atmosferde bulunan kükürtdiksit (SO2) ve partikül madde (PM) konsantrasyonunun çoklu doğrusal regresyon yöntemi ile modellenmesi"
2014	Apaydın, D.	"Kayseri ili için alansal kaynaklı emisyon envanteri"
	Nuhoğlu, A.Z.	"Isparta kent merkezi hava kalitesi ve meteorolojik faktörler arasındaki ilişkinin veri madenciliği süreci ile tespit edilmesi"
2015	Aydınöz, E.	"Şanlıurfa hava kirliliğinin Chimere modeli ile

		incelenmesi”
	Sarı, E.	“Şehirlerarası yol güzergâhındaki yerleşim yerlerinin gürültü ve hava kirliliği sorunu (Havza-Samsun örneği)”
	Demir, M.	“Dilovası'nda hava kirliliğinin meteorolojik açıdan analizi”
2016	Ağaç, K.	“İstanbul Kağıthane bölgesinde yüksek PM10 konsantrasyonlarının meteorolojik olarak incelenmesi”
	Çavuş, P.C.	“Erzurum'un hava kalitesi değerlendirilmesi ve modellenmesi”
	Özçomak, D.	“Analysis of air pollution over Izmir via atmospheric modeling”
	Polat, E.E.	“Gaziantep'in trafik kaynaklı hava kirliliğinin belirlenmesi üzerine bir çalışma”
2017	Duman, C.	“Bursa Kenti'nin hava kalitesini etkileyen coğrafi faktörler ve kirleticilerin zaman içerisindeki değişimi”
	Alparslan, H.T.	“Erzurum ili hava kalitesinin değerlendirilmesi”
	Tezel, M.N.	“Evaluation of air and noise pollution sourced from road traffic in Trabzon city and examination of the relationship between them”
	Alver, F.	“Samsun Limanı'ndaki gemi trafiği kaynaklı egzoz emisyonlarının envanterinin çıkarılması”
2018	Gündüz, H.İ.	“Uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri entegrasyonu ile Aksaray ili hava kalitesi haritasının oluşturulması”
2019	Arslantaş, O.A.	“Akıllı ulaşım sistemi uygulamalarıyla hava kirliliğinin azaltılması: Dilovası senaryosu”
	Ekinci, A.	“Şanlıurfa'nın sosyo ekonomik durumunun hava kirliliği üzerine etkisi”
	Sarı, E.N.	“Hava kirliliği ve konut dokusu arasındaki ilişkinin analizi: Erzurum örneği”
	Çelik, E.	“Bitlis ili hava kirliliğinin toprak kirliliğine etkileri”
	Şahin, F.	“Iğdır il merkezinde tezeğin yakıt olarak kullanımı sebebi ile azotlu gaz salınımının hava kirliliğine etkileri”
	Ögetürk, A.	“Kirletici gaz ve toz emisyonlarının bir şehir yerleşkesindekidağılımının incelenmesi: Diyarbakır örneği”
	Sağlar, E.	“İzmir ili hava kirliliğinin alansal ve zamansal olarak analizi”
	Yaşa, S.	“Kocaeli atmosferinde ağır metal kirliliğinin likenler kullanılarak izlenmesi”
	Gubadlı, S.	“Zonguldak limanında gemi faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliğinin incelenmesi”
	Ergüder, T.O.	“Erzincan şehir merkezinde motorlu taşıt emisyonları kaynaklı hava kirliliği düzeyinin araştırılması”

	Aydoğan, M.	"İstanbul'un hava kalitesinin zamansal ve alansal değerlendirilmesi"
	Aslan, Ö.	"Batman ili için baca gazlarının çevre ve hava kalitesine etkisinin araştırılması"
	Tel, M.	"Niğde il merkezinde evsel ısınma kaynaklı emisyonların aermod vıew hava kalitesi modeli kullanılarak incelenmesi"
	Altuntaş, O.	"Osmangazi köprüsünün Kocaeli Körfez bölgesindeki taşıt kaynaklı emisyon kirliliğine etkisinin modellenmesi"
	Karaman, Ş.	"Van ili endüstriyel alanda atmosferik partikül madde ve çöken toz kirliliğinin değerlendirilmesi"
2020	Karagözoğlu, S.	"Kırklareli merkezinde kükürt oksitlerinin ölümler üzerine etkisinin incelenmesi"
	Özkök, E.A.	"İstanbul ili Anadolu yakası hava kalitesinin biyomonitör likenler ile izlenmesi"
	Öktem, G.O.	"Kuzey Marmara otoyolunun Kocaeli ilindeki hava kalitesi üzerine etkisinin değerlendirilmesi"
2021	İpek, Z.	"Kayseri ili hava kirliliği kaynaklarının incelenmesi ve değerlendirilmesi"
	Solak, G.	"Hava kirliliğinin mekansal bağımlılığının CBS tabanlı araştırılması: Afyonkarahisar örneği"
	Uğurlu, O.	"Konya ilinde hava kirliliğine etki eden faktörlerin mekânsal analizi"
	Demircioğlu, E.	"Sakarya'da taş ocaklarından kaynaklanan partikül madde emisyonları ve etkileri"
	Uğur, O.	"Nevşehir ili karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonunun değerlendirilmesi"
	Yıldırım, S.	"Aksaray atmosferinde parçacık boyut dağılımlı partiküler organik madde kompozisyonunun ve kaynaklarının belirlenmesi"
	İnceoğlu, S.	"İstanbul ili Ümraniye ilçesinde hava kalitesinin değerlendirilmesi"
	Akarsu, T.	"Erzurum' da doğal gaz kullanımının hava kalitesine etkisinin incelenmesi"

Doktora tezlerinin 26 âdetinde hava kirliliği kentler bazında ele alınmakta olup, yüksek lisans tezlerinde olduğu gibi en fazla çalışılan kent 8 adet ile İstanbul olmuştur. Bunu 2 adetle Eskişehir ve Kocaeli takip etmektedir



Şekil 2. Doktora tezlerinde hava kirliliğinin çalışıldığı kentlere göre dağılım (1985-2021)

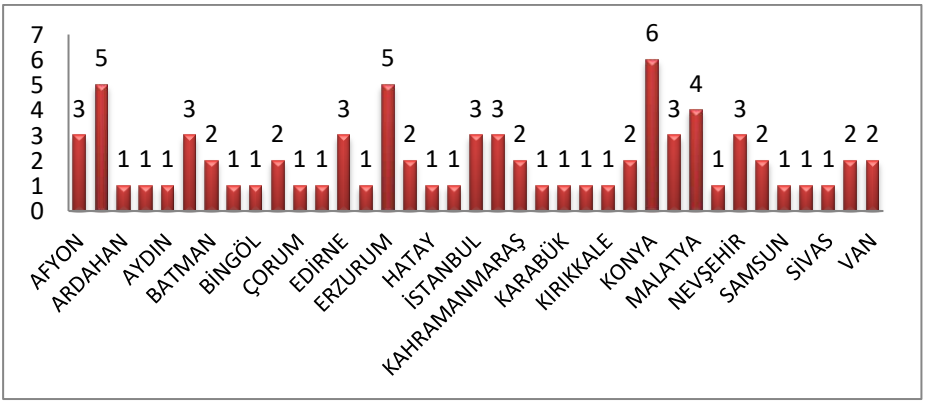
Yüksek lisans tezlerinde olduğu gibi doktora tezleri de hava kirliliğinin nedenleri, çözüm önerileri ve modellemeler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ek olarak, doktora tezleri kapsamında kentsel peyzaj ve peyzaj mimarlığı ile hava kirliliği ilişkisi üzerine çalışmaların da olduğu görülmektedir. Doktora tezlerinin yıllar içindeki dağılımı incelendiğinde konuyla ilgili en fazla tezin 3'er adet ile 1995, 2007, 2012 ve 2019 yıllarında yazıldığı görülmektedir. Hava kirliliğinin kentler üzerindeki etkisini araştıran ilk doktora tezi Kartal, Ş. tarafından 1985 yılında yazılmıştır. Özcan, N.S.'nin 2016 yılında yazdığı "Kentsel Hava Kirliliğini Etkileyen Ve Şehir Planlama İle Kontrol Edilebilen Fiziksel Faktörlerin Mekânsal İstatistik Yöntemleri İle İncelenmesi" başlıklı tezi kentlerin geleceğine yönelik kararların alındığı planlama çalışmaları açısından önem taşımaktadır.

Tablo 2. Kentlerdeki hava kirliliğini ele alan doktora tezleri

Yıl	Yazar	Tez adı
1985	Kartal, Ş	"Kayseri'deki hava kirliliği ve kirletici konsantrasyonlarının meteorolojik parametrelerle ilişkisi"
1991	Gürsu, M.R.	"İstanbul'da hava kirliliği üzerine bir araştırma (1988-1989)"
1995	Barış, M.E.	"Ankara kentinde hava kirliliği sorununun çözümünde peyzaj mimarlığı açısından alınması gerekli önlemler"
	Çınar, Z.	"Kılıçkaya Barajı'nın Sivas'taki meteorolojik etmenler ve hava kirliliği üzerine etkilerinin araştırılması"
	Kızılkaya, A.	"İzmir kenti hava kirliliği araştırması"
1997	Ak, N.	"İstanbul- Zeytinburnu ilçesinde hava kirliliğinin matematik modelle incelenmesi"
2001	Goncaloğlu, B.İ.	"İstanbul'daki sanayi tesislerinden atmosfere atılan hava kirleticilerinin emisyon envanterinin çıkarılması"
2002	Anılsın, F.	"İstanbul kent peyzajında kullanılan yeşil elemanlar ile hava kirliliği arasındaki etkileşim üzerinde araştırmalar"
	Dalyan, E.G.B.	"İstanbul'da coğrafi bilgi sistemleri ile hava kalitesinin incelenmesi"
2003	Chaudhary, M.T.	"Air pollution modeling in İskenderun region of Turkey"
2004	Akay, E.	"Kırıkkale'de taşıt, konut ve endüstriyel kaynaklı hava kirliliği araştırması"
	Onat, B.	"İstanbul atmosferinde hava kirleticilerinin dağılımının modellenmesi"
2005	Ocak, S.	"Erzurum ili hava kirliliğinin matematik modelle incelenmesi"
2006	Çetin, Ş.	"Kocaeli İli'nde nox emisyon dağılımlarının modellenmesi"
2007	Özcan, S.	"Hava ortamında öncelikli organik kirleticilerin tayini için analitik metot optimizasyonu ve Konya kent atmosferinde izlenmesi"
	Arar, S.	"Eskişehir'deki sanayi kaynaklı NO2 ve CO emisyonları ve modelleme"
	Akdemir, A.	"Samsun organize sanayi bölgesinde hava kalite parametrelerinin izlenmesi ve meteorolojik parametrelerle ilişkilerinin incelenmesi"
2012	Demirarslan, K.O.	"Kocaeli ili Körfez ilçesinde hava kirletici kaynaklarının ve hava kalitesi seviyesinin belirlenmesi"
	Uygur, N.	"Kentsel ortam partikül madde kirliliği üzerinde, deniz aerosolü etkisinin araştırılması: İstanbul örneği"

	Timur, Ö.B.	"Yerleşim alanlarında bitkisel materyalle toz engelleme çalışmaları: Çankırı örneği"
2014	Zeydan, Ö.	"Zonguldak bölgesi PM10 konsantrasyonu dağılımının modellenmesi"
2016	Arı, A.	"Eskişehir atmosferindeki pm2.5 parçacıklarının kimyasal karakterizasyonu ve kaynaklarının belirlenmesi"
	Özcan, N.S.	"Kentsel hava kirliliğini etkileyen ve şehir planlama ile kontrol edilebilen fiziksel faktörlerin mekânsal istatistik yöntemleri ile incelenmesi"
2019	Kırmacı, H.K.	"Kahramanmaraş ili için hava kalitesinin analizi ve modellenmesi"
	Köse, S.	"Trabzon Limanı emisyon haritalarının oluşturulması ve çevreye etkisi"
	Tokuşlu, A.	"İstanbul Boğazı'nda gemi kaynaklı hava emisyonlarının analizi ve etkilerinin ortaya konulması"
2020	Aygören, T.	"Denizli Çürüksu Havzası'nın hava kirliliği örneğinde arazi kullanım durumu ve çevre bilinci açısından önemi"

DergiPark veri tabanından "hava kirliliği" kelimeleri yazılarak arama yapıldığında 7840 adet makaleye ulaşılmaktadır. Bunların 75 adetinde hava kirliliği kentler bazında ele alınmaktadır. Makaleler içinde 6 adet ile Konya en çok çalışılan kent olmuştur. Bunu 5 adetle Ankara ve Erzurum takip etmektedir.



Şekil 3. Makalelerde hava kirliliğinin çalışıldığı kentlere göre dağılım (1994-2021)

Makaleler de hava kirliliğinin nedenleri, çözüm önerileri, haritalandırma ve modellemeler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Çalışmalarda, hava kirliliğini etkileyen doğal ve beşeri faktörler anlatılmaktadır. Özellikle hava kalitesi ile meterolojik ve topoğrafik özellikler arasındaki ilişki üzerinde durulmaktadır. Bu anlamda ilk makale, 1994 yılında Hacısalihoğlu, İ. tarafından ele alınmıştır. 2010 sonrasında konuya olan ilgi artmış ve en fazla 2018 yılında 11 adet makale yazılmıştır. 2019 ve 2020 yıllarında 10'ar adet, 2017 ve 2021'de ise 7'şer adet konuyla ilgili makale hazırlanmıştır.

Tablo 3. Kentlerdeki hava kirliliğini ele alan makale çalışmaları

Yıl	Yazar	Yayın adı	Açıklama
1994	Hacısalihoğlu, İ	"Karabük'te Hava Kirliliği"	"Karabük'te yaşanan hava kirliliğinin boyutlarını, nedenlerini ve çözüm önerilerini içermektedir."
1995	Etikan, D. İ. & Alpar, D.	"Ankara'daki Hava Kirliliği Üzerine Bir Çalışma"	"Çeşitli meteorolojik faktörlerle hava kirliliğinin göstergesi olan S02 ve partiküler madde ölçümleri arasındaki ilşkiler çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle incelenmektedir."
1997	Eğri, D. M., Güneş, D. G. , Pehlivan, D. E. & Genç, D. M.	"Son Beş Yıllık Dönemde Malatya İl Merkezinde Hava Kirliliği Eğiliminin İncelenmesi"	"1992-1997 yılları arasında Malatya kent merkezindeki hava kirliliği göstergeleri olarak alınan S02 ve partikül madde (PM) düzeylerinin eğilimleri incelenmektedir. Çalışmanın amacı son 5 yıllık dönemde hava kirliliği göstergelerinin eğilimini ve hava kirliliğinin boyutlarını saptayarak çözüm önerileri ortaya koymaktır."

	Barış, M. E. & Koç, N.	"Ankara Kentinde Hava Kirliliği Sorununun Çözümünde Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınması Gerekli Önlemler"	"Ankara kenti ve yakın çevresinin doğal ve kültürel özellikleri incelenerek bunların hava kirliliği üzerindeki etkileri araştırılmış, hava kirliliği kontrol çalışmalarında bu özelliklere dayalı olarak yapılacak uygulamalara yönelik öneriler getirilmiştir. Çalışmada verilerin analiz, değerlendirme ve haritalama işlemleri bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiş, bu amaçla kentin uydu görüntüsü Landsat 4 ve sayısal haritası kullanılmıştır."
	Eğri, D. M.	"1996-1997 Kış Döneminde Malatya İl Merkezi Hava Kirliliği Parametrelerine Meteorolojik Koşulların Etkisi "	"1996-1997 kış dönemina ait günlük S02 ve partikül madde düzeylerine meteorolojik koşulların etkisi incelenmiştir. Verilerin analizinde çoklu regresyon analizi kullanılmış olup, S02 ve partikül madde bağımlı değişken, hava sıcaklığı, bağıl nem, atmosfer basıncı, yağış miktarı ve rüzgar hızı ise bağımsız (açıklayıcı) değişkenler olarak alınmıştır."
1999	Sabah, E. & Çelik, M. Y.	"Afyon Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi, Ekonomisi Ve Hava Kirliliğini Önlemedeki Katkısı"	"Hava kirliliği yüksek iller arasında yer alan, aynı zamanda önemli bir jeotermal potansiyele sahip olan Afyon'da Jeotermal enerji ve Tunçbilek kömürünün yakıt olarak kullanılması halinde atmosfere karışan SOx ve partikül madde emisyonları karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır."
2002	Sabah, E.	"Afyon'da Sabit Kirletici Kaynaklardan İleri Gelen Hava Kirliliği ve Çözüm Önerileri"	"Afyon il merkezindeki hava kirliliğinin değerlendirilmesinde İl Sağlık Müdürlüğünce 24 saat süreyle yapılan so2 ve pm ölçümlerinin ortalama değerleri esas alınmıştır.1990-99 yılları arasında 10 yıllık periyotta incelenmiştir."

	Dündar, M. & Pala, M.	"17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Adapazarı Cadde Tozlarlnda Ağlr Metal Kirliliği"	"17 Ağustos 1999 depremi sonrası Adapazarı cadde ve sokak tozlarındaki ağır metal (Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cu) derişimlerinin Alevli Atmik Absorbsiyon Spektrometresi (FAAS) ile tayin edilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada örnekler İzmit, Adnan Menderes, Çark, Bankalar, Eski Hendek Caddeleri, Atatürk Bulvarı, Eski Reji Sokak ve Erenler Gemi sokaktan Mayıs 2000 ile Ekim 2000 araası 15 gün arayla alınmıştır."
2003	Köse, R. & Erbaş, O.	"Bazı Meteorolojik Faktorlerin Kutahya'daki Hava Kirliligine Etkisi"	"Son yıllarda birinci derecede hava kirliliğinin yaşandığı Kütahya il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile S02 ve partikül madde (PM) arasındaki istatistiksel ilişkiler araştırılmıştır."
2005	Başar, P. , Okyay, P. , Ergin, F. , Coşan, S. & Yıldız, A.	"Air Pollution in Aydin City Between 1997-2004"	"1997-2004 yılları arasında Aydın ili kent merkezindeki kükürtdioksit ve partikül madde düzeyleri incelenmiştir. Veriler, Aydın İl Sağlık Müdürlüğü Çevre Sağlığı Şubesi'nden elde edilmiştir."
2007	Doğan, F., Kitapçıoğlu, G.	"İzmir İlinde Hava Kirliliğinin Yıllar İtibariyle Karşılaştırılması "	"İzmir ilinde 1989 – 2004 yılları arası kış dönemi hava kirliliğini değerlendirilerek ve hava kirliliği ölçümü ile ilgili olarak yapılan değişiklikler ile hava kirliliği değerleri arasındaki ilişkileri saptanmaktır."
2008	Sever, R.	"Malatya'daki Hava Kirliliğine Coğrafi Bakış"	"Malatya şehrinde hava kirliliğini ortaya çıkaran jeomorfolojik, klimatik ve meteorolojik parametreler yanında, özellikle beşeri ve ekonomik faaliyetleri göz önüne alan bazı coğrafi değerlendirmeler yapılmıştır."

	Gürtekin, E.	"Elazığ İl Merkezinde Hava Kirliliği"	"Elazığ İl merkezindeki SO_2 ve partikül madde (PM) parametreleri bakımından hava kirliliğinin 1990-2006 yılları arası ve 1990-1991 ile 2006-2007 kış dönemi arası eğilimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçların, Hava Kalitesi Kontrolü Yönetmeliği (HKKY) ve Avrupa Birliği (EC) sınır değerlerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır."
2010	İbret, B. Ü. & Aydınözü, D.	"Şehirleşmede Yanlış Yer Seçiminin Hava Kirliliği Üzerine Olan Etkisine Bir Örnek: Kastamonu Şehri"	"Kastamonu Şehri örneği üzerinden şehirlerin yerleştikleri yerlerin topografik ve klimatik özelliklerinin hava kirliliğine olan etkisi, hava kirliliğinin beşeri ve ekonomik sebepleri ile birlikte araştırılmıştır."
2011	Sezen, İ. & Yılmaz, S.	"Erzurum Kent Merkezinde 1994-2004 Yılları Arasındaki Hava Kirliliği Durumu"	"Erzurum kentinde 1994-2004 yılları arasında kış aylarında kükürdioksit (SO2) ve partikül madde (PM) ölçüm değerlerleri dikkate alınarak bir hava kirliliği haritası oluşturulmuştur."
	Topçu, N.	"Fosil Yakıtların Erzurum Hava Kirliliğine Katkısı"	"Çevre Sorunları Araştırma Merkezi tarafından yaklaşık 10 yıldır yapılan araştırmalar sayesinde Erzurum'daki hava kirliliğinin boyutları ve önlemleri araştınlmaya çalışılmıştır."
	Özdemir, M. A. & Boyraz, Z.	"Elazığ Şehir Merkezinde Hava Kirliliğini Doğuran Nedenler Ve Kirlilik Parametrelerinin Zaman İçindeki Değişimine Coğrafi Bir Yaklaşım"	"Birinci dereceden hava kirliliğine sahip iller arasında gösterilen Elazığ şehir merkezindeki hava kirliliği problemi coğrafi açıdan ele alınmıştır."

2012	Menteşe, S. & Tağıl, Ş.	"Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi"	"Bilecik kentinin 2008-2010 dönemine ait günlük hava kirliliği (SO2 ve PM10) ve meteorolojik faktörlerden hava sıcaklığı, rüzgâr hızı, bağıl nem ve basınç verileri kullanılmıştır. Hava kirliliğine neden olan elemanlar ile incelenen meteorolojik faktörler arasındaki ilişki istatistikî yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir."
	Kara, G.	"Kentsel Hava Kirleticilerine Meteorolojinin Etkisi: Konya Örneği"	"Konya'nın hava kalite seviyeleri üzerine meteorolojik faktörlerin etkisi belirlenmektir. Ölçümler, Konya'nın farklı bölgelerinde bulunan 4 sabit istasyonda ve 1 mobil istasyonda gerçekleştirilmiştir."
2013	Çiftci, Ç. , Dursun, Ş. , Levend, S. & Kunt, F.	"Topoğrafik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya'da Hava Kirliliğine Etkisi"	"Tarım ve sanayi kenti olan Konya ilinin hava kalitesine meteorolojik, topoğrafik ve mekânsal etkileri incelenmiştir."
	Bozyiğit, R.	"Konya'da Hava Kirliliği"	"Konya şehrinde hava kirliliğinin oluşmasında etkili olan doğal faktörler ile beşeri unsurlar ele alınmaktadır."
	Batan, M.	"Batman İlinde Kirletici Emisyonlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Küresel Isınmaya Etkisi"	"Batman'ın hava kirliliği ile sıcaklık değerleri arasındaki ilişki ortaya konmaktadır."
	Kon, O.	"Binalarda Dış Duvar Yalıtımının Hava Kirliliği Açısından Önemi: Balıkesir İl Merkezi Örneği"	"Balıkesir ilini temsil eden örnek bir bina seçilmiştir. Örnek binada doğal gaz ve kömürün ısıtma amaçlı yakıt olarak kullanıldığı kabul edilmiştir. Örnek binanın dış duvarlarında farklı kalınlıkta ve tipte yalıtım malzemeleri kullanılmıştır ve bu kullanımların hava kirliliğine olan etkileri araştırılmıştır."

	Keser, N.	"Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik ve Klimatik Faktörler"	"Kütahya'nın topografik ve klimatik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir."
2014	İmal, M. , Karapınar, Ç. & Doğan, O.	"Hava Kalitesine Doğalgazın Etkisi: Kahramanmaraş Örnek Çalışması"	"Kahramanmaraş ilinin doğalgaz kullanmaya başlamadan önceki ve doğalgaza geçiş ile hava kirlilik parametrelerindeki değişim incelenmiştir."
	Güngör, A. & Sevindir, H. C.	"Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürt dioksit (SO2) ve Partikül Madde (PM) Konsantrasyonu nun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi"	"2007-2012 yıllarına ait beş kış dönemi (Ekim-Mart) için gözlemlenen, meteoroloji vehava kalitesi günlük verileri kullanılarak çoklu doğrusal regresyon modelde stepwiseselection yöntemi ile SO2 ve PM için toplam altı adet model denklemi elde edilmiştir."
2015	Kopar, İ. & Zengin, M.	"Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi"	"Erzurum kentinde hava kalitesinin zamansal ve mekânsal gelişimini belirlemek amacıyla 1990–2008 yılları arasındaki SO2 (Kükürt dioksit) ve PM (Partikül Madde) konsantrasyonlarının, coğrafi faktörler ve ölçüm değerlerine bağlı kalınarak analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinden yararlanılarak kent merkezli, belli dönemleri esas alan SO2 ve PM ölçüm değerlerine ait mekânsal analiz haritaları oluşturulmuştur."

	Avşar, E.	"Balıkesir İli Burhaniye İlçesi (İskele Mahallesi) Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi"	"Balıkesir İli Burhaniye İlçesi İskele Mahallesi'nde hava kalitesi değerlendirilmesidir. Bu kapsamda; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait mobil ölçüm aracı kullanılarak hava kalitesine yönelik ölçüm çalışması yapılmıştır."
2016	Şahin, K. , Bağcı, H. R. & Sarı, E.	"Havza'da (Samsun) Hava Kirliliği Algısı"	"Halkın kirlilik algısını belirlemek için 2014 yılında anket uygulaması yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre sahanın topoğrafik ve meteorolojik koşulları kış mevsiminde hava kirliliğine uygun ortam oluşturmaktadır."
	Çetin, M. & Demirci, O. K.	"Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi"	"Erzincan'da ısınma amaçlı fosil yakıt (genelde kömür) kullanımından bir diğer fosil yakıt olan doğal gaza geçiş ile birlikte hava kirlilik parametrelerindeki değişim incelenmiştir. Erzincan kent merkezinde; son 8 yıl içinde ısınma amaçlı doğal gaz kullanımı, doğal gaz kullanımının getirdiği avantajlar ile hava kirliliği üzerindeki olumlu yönde değişim ve hava kalitesindeki iyileşmeler baz alınmıştır."
	Yolsal, H.	"Estımatıon Of The Aır Qualıty Trends In Istanbul"	"İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından kurulan farklı izleme istasyonlarından 2005-2014 döneminde derlenen aylık veriler yardımıyla, İstanbul için hava kirleticilerinin trendi sınanmıştır."
	Özşahin, E. , Eroğlu, İ. & Pektezel, H	"Keşan'da (Edirne) Hava Kirliliği"	"Keşan şehrindeki hava kirliliğinin doğal ve beşeri coğrafya faktörleri ile ilişkisi araştırılmış, kirliliğin sebep ve sonuçları tartışılmıştır. Edirne İl Çevre ve Orman Müdürlüğü tarafından yapılmış hava kirliliği ölçüm verilerinin 2013-2015 kullanıldığı çalışma, 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritaları detayında gerçekleştirilmiştir."

	Koç, A. , Yılmaz, S. & Mutlu, E.	"Effect of Large Green Areas On Aır Qualıty In Center of Erzurum"	"Erzurum Kenti'ne ait olan hava kirletici etmenlerden kükürt dioksit (SO2) koordinatları belli olan 20 adet gezici istasyondan alanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığından temin edilen bu değerler kullanılarak, Arc-GIS paket programında geoistatiksel yöntemle hava kalitesi haritası elde edilmiştir. Sonuçlara göre elde edilen kitle yeşil alanlar ile hava kirliliği haritası örtüştürülmüştür."
2017	Adın, H. , Yaşar, F. , Altun, Ş. & Işcan, B.	"Batman Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Kontrolü"	"Batman şehir merkezide, hava kirliliği oluşturan temel bileşenlerden olan kükürtdioksit(SO2) ve partikül maddeler (PM) 2006-2011 yılları için incelenmiştir. Ölçülen değerler, Hava Kalitesi Kontrol Yönetmeliği (HKKY) ve Avrupa Birliğinin (AB) belirlediği sınır değerlere göre kıyaslanmıştır."
	Morcalı, M. H. & Akan, D. S.	"Kahramanmaraş Hava Kirliliği Kaynaklarının İzlenmesi ve Belirlenmesi"	"Kahramanmaraş'ta Necip Fazıl Kültür Merkezi'ne yerleştirilen hava kalitesi izleme istasyonundan bazı hava kirliliği emisyon parametreleri (örneğin; SO2, PM10, NO2, O3) elde edilmiştir. Mevsimsel, çevresel ve sosyal etkiler takip edilen değerler üzerindeki etkileri analiz edilmiştir."
	Cansaran, D.	"Bir Çevre Sorunsalı Olarak Hava Kirliliği: Kırıkkale İli Örneği"	"Kırıkkale ilinin 2010-2016 yılları arasında son yedi yıllık hava kirliliği izleme verileri incelenerek ilin hava kirliliği bakımından hangi düzeyde olduğu ile ilgili çıkarımlar yapılmaya ve sorunlarla ilgili çözüm üretilmeye çalışılmıştır."

	Toros, H. & Bağış, S.	"Hava Kirlilik Modellerinde Kullanılacak Emisyon Envanteri Oluşturulması için Yaklaşımlar ve İstanbul Hava Kirliliği Dağılımı Örneği"	"Emisyon envanterinin oluşturularak yeni nesil hava kirliliği modellerinde kullanılmasının sağlanması amaçlanmıştır."
	Garipağaoğlu, N. & Duman, C.	"Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi"	"Hava kirliliğine etki eden fiziki coğrafya faktörleri değerlendirerek, Bursa Kenti hava kalitesinin 1990-2016 yılları arasındaki değişimi incelenmiştir."
	Caf, A. , Koç, A. & Yılmaz, S.	"Kentleşmenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi; Bingöl İli Örneği"	"İnsan etkilerinden kaynaklanan hava kirliğinin Bingöl İli üzerindeki etkilerini amaçlayan bu çalışma 2007-2015 yılları arasında 8 yıllık uzun zamanı kapsayan uzun vadeli meteorolojik değerlerden yola çıkılarak yapılmıştır. Aynı zamanda araç ve konut sayısındaki değişimler göz önünde bulundurularak hava kalitesiyle arasındaki bağ incelenmiştir. Çalışmada metot olarak istatiksel yöntemlerle CANOCO veri tabanında ordinasyon analizleri yapılmıştır."
	İskender, S. , Bolu, F. , Yılmaz, M. & Mayda, A.	"Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 Tarihleri Arasındaki Verilerinin İncelenmesi"	"Düzce ilinin 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 tarihleri arasındaki hava kalitesi verilerinin haftanın günlerine, aylara ve kış-yaz sezonuna göre değişimlerini incelemek amaçlanmıştır."

2018	Kunt F. , Dursun Ş. Konya M	"Konya Merkezinde Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi"	"Çalışmanın amacı; son yıllarda Türkiye'de birinci derecede önemli hava kirliliği olaylarının yaşandığı Konya il merkezine ait bazı meteorolojik parametreler ile kükürt dioksit ve Partikül Madde değeri arasındaki ilişkilerin araştırılmasıdır."
	Koç, C. & Koç, A.	"An Assessment Through Relationship Between Air Pollution and Climatic Parameters in City of Igdır"	"Hava kirliliği ve iklimsel parametreler arasındaki ilişki istatiksel olarak analiz edilmektedir."
	Alkan, A	"Hava Kirliliğinin Ciddi Boyutlara Ulaştığı Kentlere Bir Örnek: Siirt"	"Çalışmanın amacı, Siirt kentindeki hava kirlilik durumunu incelemek, hava kirliliğinin oluşturduğu sorunlar ve bu sorunlara çözümler geliştirmektir."
	Yazıcı, H. , Koca, N. & Ekiz, E.	"Topoğrafik, Meteorolojik ve Klimatolojik Faktörlerin Afyonkarahisar Şehrindeki Hava Kirliliği Üzerine Etkileri"	"Afyonkarahisar şehrinde kış aylarında havadaki kirlilik konsantrasyonunun artışına neden olan başlıca çevresel faktörler incelenmiştir."
	Toros H. , Bağış S. , Gemici Z.	"Ankara'da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi"	"Ankara'da 8 noktada ölçümü yapılan veriler ve coğrafi şartları baz alınarak geri yönde modelleme ile istenilen noktalar için kirlilik yoğunluk haritası oluşturulmaktadır."
	Başak, S.& Demirarslan, K. O.	"Hava Kirliliğinin Kar Sularına Etkisi: Artvin İli Örneği"	"Artvin merkeze bağlı üniversite Rektörlüğü'nün de bulunduğu Seyitler Köyü'nde 3 noktadan (A, B ve C noktaları) ve şehir merkezinden (D noktası) alınan kar numunelerinde çözünmüş oksijen, NO3, bulanıklık, iletkenlik ve pH analizleri yapılmıştır."

	Demirel,H. & Ateş, A.	"Sapanca Gölü Çevresinde Karayolu Trafiğinden Kaynaklanan Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri"	"Sapanca Gölü'nü çevreleyen otoyollarda taşıt sayımları yapılarak farklı araç türleri için saatlik trafik yoğunlukları belirlenmiştir. Trafik kaynaklı hava kirleticilerinin (PM, NOx. CO, VOC) EMEP/EEA emisyon faktörleri kullanılarak emisyon envanterlenmesi yapılmış, Sapanca gölüne etki edebilecek emisyon miktarları belirlenmiştir."
	Tecer L.H., Tağıl Ş., Fıçıcı, M.	"Çorlu (Tekirdağ) Hava Kirliliğinden Etkileniyor mu?"	"Tekirdağ ilinin nüfus artış hızı en değişken olan ilçelerinden Çorlu'nun inorganik ve organik hava kirliliği haritaları çıkarılmıştır. Çalışmalar Ağustos 2015 ve Şubat 2016 aylarında yaz ve kış dönemlerinde 2 periyotta gerçekleştirilmiştir".
	Kara G. , Yalçınkaya B. , Özdil B.	"Konya İlinin Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi"	"2012-2017 yıllarındaki günlük ortalama PM10 ve SO2 konsantrasyonları ile meterolojik faktörler (rüzgâr hızı, sıcaklık, bağıl nem, basınç ve yağış) arasındaki ilişki istatistiksel olarak incelenmiştir."
	Yılmaz, B.	"Manisa'da Partikül Madde (PM10) Kirliliğinin Değerlendirilmesi"	"Manisa'da 2009-2017 yılları arasında Aralık-Ocak aylarına ait PM10 değişimleri AB limit değerleri ve ulusal yönetmelikle belirlenmiş yıllık sınır değerler eşliğinde değerlendirilmiştir. Ayrıca rüzgâr hızının PM10 kirliliği değişimindeki etkileri incelenmiş ve ilgili regresyon denklemleri elde edilmiştir."
	Koşan, Z. , Kavuncuoğlu, D. , Çalıkoğlu, E. O. & Bilge Yerli, E.	"Evaluation of Air Pollution by PM10 And So2 Levels in Erzurum Province, Turkey: Descriptive study"	"2012-2017 yılları arasında Erzurum şehir merkezinde havadaki PM10 (10 mikrondan küçük partiküller) ve SO2 (sülfür dioksit) düzeyleri değerlendirilmiştir."

2019	Öztürk, D. & Bayram, T.	"Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği"	"Van ili kent merkezinde hava kirletici parametrelerin zamansal ve mevsimsel dağılımı, konsantrasyonları, kirletici parametrelerin sıcaklık ile ilişkisi izin verilen sınır değerlere göre tartışılmış ve kent için çözüme yönelik önerilere yer verilmiştir."
	Cicibıyık, A. , Şarlak, N. & Üstün, D	"Karaman İli Hava Kirliliği Durumu"	"Çalışmanın amacı, 2018 yılına kadar havası kirli olarak rapor edilen Karaman ilinin havasını PM10 ölçümleri kullanılarak istatistiksel olarak analiz etmektir. Çalışmada 2012-2017 yılları arası günlük PM10 değerleri kullanılmıştır."
	Gül İ. , Yorulmaz F. , Altınok A. , Eskiocak M	"Edirne İl Merkezinde 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi"	"Çalışmanın amacı, Edirne il merkezindeki hava kirliliği ölçüm istasyonlarından elde edilen PM10, PM2.5 ve SO_2 değerlerinin 2014, 2015 ve 2016 yılları arasındaki farklarını, yaz-kış ve 24 saat içindeki değişimlerini incelemektir."
	Mutlu, A.	"Balıkesir Şehir Merkezinde Trafik Kaynaklı Hava Kirliliği Seviyelerinin Analizi"	"Balıkesir il merkezinde trafikten kaynaklanan hava kirliliği seviyeleri incelenmiştir. İl merkezinde bulunan toplam 24 kavşak analiz edilmiş ve bu kavşaklardan geçen taşıt sayımları yapılmıştır. Elde edilen veriler COPERT programı yardımı ile analiz edilerek, kirleticilere ait trafik kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır."
	Kara G. , Bozkurt Ç. , Çay Y.	"Konya'da Hava Kirliliği Konusunda Farkındalık Düzeyinin Belirlenmesi"	"Çalışmada Konya'nın Selçuklu, Meram ve Karatay merkez ilçelerinde hava kirliliğine karşı halkın duyarlılığını ve bilinç düzeyini belirlemek amacıyla 400 kişiye birebir görüşme yöntemiyle 27 soruluk bir anket uygulanmıştır."

	Özel, G.	"Markov Zinciri Kullanarak Ankara İli İçin Hava Kirliliği Tahmini"	"Ankara şehir merkezinde bulunan Ocak ile Aralık 2017 tarihleri arasındaki Bahçelievler istasyonuna ait günlük hava kirleticileri PM10, SO2, NO, NO2, NOX, CO değerleri ile sıcaklık, rüzgâr hızı ve nemlilik gibi meteorolojik faktörlerin değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. PM10 hava kalitesi indeksi değerlerinden yararlanarak Markov zincirleri ile uzun döneme ait hava kirliliği değerlerinin tahmini amaçlanmıştır."
	Tığlı, N. E. & Cangür, Ş.	"Ankara'da Farklı Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarında n Elde Edilen Verilerin Kantil Regresyon Analizi ile İncelenmesi"	"Farklı beşeri ve coğrafi özelliklere ait beş istasyon (Keçiören, Sıhhiye, Cebeci, Dikmen, Sincan) seçilerek, 1 Ocak-31 Aralık 2017 tarihleri arasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan günlük 6 saat aralıklı veriler baz alınmıştır. Hava kirliliği parametrelerinden Partikül Madde 10 (PM10), SO2, NO2, CO, O3 bağımlı değişkenler olarak alınırken, iklim elemanları sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, bağıl nem ve basınç ölçümlerinin her biri de bağımsız değişken olarak alınmıştır. Bu değişkenler Kantil regresyon analizi yöntemiyle R programı kullanılarak analiz edilmiştir."
	Yakın, A. & Behçet, R.	"Van İli Trafik Kaynaklı Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri"	"Van ilini çevreleyen yollarda taşıt sayımları yapılarak trafik yoğunluğu belirlenmiştir. Trafik kaynaklı hava kirleticilerinin (CO, NOx, PM, VOC) "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook" emisyon faktörleri kullanılarak, emisyon envanteri çıkarılmıştır. Van iline etki eden emisyon miktarları belirlenmiştir".

	Yılmaz, M.	"Manisa Merkez ve Soma İlçesi 2017 Yılı Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi"	"Muhtemel hava kirletici kaynaklarının farklı olduğu Manisa-Merkez ve Manisa-Soma hava kalitesinin kükürtdioksit (SO2) ve partikül madde (PM10) parametreleri yönünden karşılaştırılması yapılmıştır."
	Gül İ. , Yorulmaz F.	"Edirne Merkez İlçede Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Ölçülen Partiküler Madde 10 (Pm10) Bileşiminin Araştırılması"	"Bu çalışmanın amacı; Edirne il merkezinde PM_{10} ve bileşimindeki element düzeylerinin, bu parametreler kaynaklı olası hava kirliliği ve kaynaklarının ortaya konmasıdır."
2020	Fertelli, A.	"Sivas İlindeki Hava Kirliliğine Doğalgaz Kullanımının Etkileri"	"2005 yılından itibaren Sivas ilinde kullanılmaya başlayan doğalgazın hava kirlilik parametreleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 2008 ve 2017 yıllarındaki PM10 ve SO2 değerleri aylık ve yıllık olarak incelenmiştir."
	Azboy N. , İnandı T. , Eltaş M. C.	"Hatay'da PM10 ve SO2 Düzeyi ve Değişimleri, 2007-2017"	"Çalışmanın amacı Hatay'da hava kalitesini PM_{10} ve SO_2 üzerinden yıllar itibarı ile değerlendirmektir. Çalışmanın verileri Antakya ve İskenderun'da rutin ölçüm yapan hava kalitesi izlem istasyonların 2007 ve 2017 yılları arasındaki yaptığı ölçümlerden elde edilmiştir."

	Oğuz, K.	"Nevşehir İlinde Hava Kalitesinin ve Meteorolojik Faktörlerin Hava Kirliliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi"	"Nevşehir bölgesindeki hava kirliliğinin ve limiti aşan kirli gün sayısının değerlendirilmesi ile birlikte meteorolojik faktörlerin hava kirliliğine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalite İzleme İstasyon verilerinden Nevşehir iline ait 2010-2019 yılları arası PM10, SO2, hava sıcaklığı, basınç, rüzgâr hızı ve bağıl nem verileri elde edilmiştir. Bu verilerin Mann-Kendall ve Şen testi yardımı ile trend ve eğimleri hesaplanmıştır."
	Çetin, M. & Ergüder, T. O.	"Erzincan'da Motorlu Taşıtlar Tarafından Atmosfere Bırakılan Egzoz Emisyonları ve Tahmini Miktarlarının Belirlenmesi"	"Erzincan il merkezindeki taşıtlarla ilgili veriler, yapılan anket çalışmaları ve Erzincan Trafik Bölge Müdürlüğü'nden alınan bilgiler ile elde edilmiştir. Yapılan anketler ile farklı sınıflara ait 947 taşıta ulaşılıp, bu taşıtların üretim yılları, boyutları, Emisyon Standartları, kullandığı yakıt cinsi, kullanım amacı, segmenti gibi özellikleri belirlenmiştir. Taşıtlar belirlenen sınıflara ayrıldıktan sonra COPERT 5 programı yardımıyla emisyon miktarları teorik olarak hesaplanıp, Erzincan il merkezindeki motorlu taşıt kaynaklı hava kirliliğini önlemek için öneriler sunulmuştur."
	Yılmaz M. , Toros H. , İncecik S. , Öztürk Z. , Kirkil G. , Öztaş D. , Akçay M. , Dinç U. , Gültekin M. , Emanet Beba H. , Arslantaş O. A.	"Dilovası Hava Kirliliğinin Trafik Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi"	"Dilovası (Kocaeli) bölgesindeki hava kirliliği problemlerine çözüm getirebilmek için kirletici kaynaklardan yayılan emisyonların oluşturduğu PM10, PM2.5, SO2, CO, O3 ve NOx derişimlerinin 2014-2019 dönemi içerisindeki yersel ve zamansal değişimleri incelenecek, bu seviyelerin meteorolojik şartlar ile olan bağlantıları araştırılmıştır."

	Yılmaz, M. , Emanet Beba, H. , Dinç, U. , Ünal, Z. F. , Toros, H. & Öztürk, Z.	"Dilovası Hava Kalitesinin Ulusal Mevzuata Göre Değerlendirilmesi"	"Dilovası'nda bulunan dört adet hava kalitesi istasyonunda SO2, PM10, NO2, NOx, CO ve O3 konsantrasyonları saatlik olarak ölçülmektedir. 2014-2019 yılları arasında ölçülen kirlilik seviyeleri, tolerans paylarıyla birlikte her yıl için belirlenmiş limit değerler ile kıyaslanmıştır. Bu sayede Dilovası hava kalitesi için bir değerlendirme yapılmıştır."
	Gül, İ.	"Tekirdağ İli 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi"	"Tekirdağ il genelindeki hava kirliliği ölçüm istasyonlarından elde edilen PM10, PM2.5, SO2 ve NOX değerlerinin 2014, 2015 ve 2016 yılları arasındaki farkları, yaz-kış ve 24 saat içindeki değişimleri incelenmektir."
	Behcet, R. & Yakın, A.	"Malatya İli Trafik Kaynaklı Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri"	"Malatya ilini çevreleyen yollarda seyreden taşıtların sayımları yapılarak trafik yoğunluğu belirlenmiş ve trafik kaynaklı hava kirleticileri hesaplanarak, emisyon envanteri oluşturulmuştur."
	Teker A. G.	"İzmir İlinde 2009-2018 Yılları Arasında Partiküler Madde Kirliliği"	"Araştırmanın amacı İzmir merkezinde bulunan 10 istasyonda ölçülen PM10 değerlerinin 2009-2018 yılları arasındaki değişimini incelemektir. Araştırmanın verileri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait www.havaizleme.gov.tr adresinden alınmıştır. İzmir merkezinde bulunan 10 istasyona ait 2009-2018 yıllarındaki tüm PM10 ölçümleri değerlendirmeye alınmıştır."

	Guliyev, R. & Akgün, M.	"Ardahan'da Kullanılan Kömürün Hava Kirliliğine Etkisinin İncelenmesi"	"Ardahan'da ısınma amaçlı kullanılan kömürün kalorisinin, çevreye verilen kükürt dioksit gazının ve kül miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Ardahan ili genelinde (Ardahan Merkez, Ardahan Halil Efendi Mahallesi, Göle, Çıldır, Damal, Posof, Hanak İlçeleri) kullanılan kömürün miktarı ve kalitesi (içeriğindeki kükürt miktarı, nemi, sabit karbon miktarı ve üst ısı değeri) tespit edilmiştir."
2021	İskan, S. & Koç, T.	"İnegöl (Bursa) havzasında hava kalitesinin fiziki ortam ile ilişkisi"	"İnegöl yerleşmesinin etkileşim alanı da dikkate alınarak, Kasım-Aralık 2016 ile Ocak- Şubat 2017 kış (soğuk) döneminden hareketle, hava kalitesi özelliklerini belirleyerek, bu durumu şekillendiren fiziki ortam özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır."
	Baştürk, E. & Alver, A.	"Nevşehir İli Hava Kalitesinin Markov Zinciri ile Tahmini"	"Nevşehir İlinde µg m-3 seviyesinde bulunan PM10, SO2, CO, NO2 ve O3 gibi temel hava kirletici parametreleri 01.08.2019-19.11.2020 tarihleri arasında izlenilmiş ve bu parametrelere bağlı olarak Hava Kalite İndeksi (HKİ) değerleri hesaplanmıştır."
	Şahin Arslan, N.	"Parkların Hava Kirliğini Azaltıcı Etkisinin Çorum Örneğinde İncelenmesi"	"Yoğun hava kirliliğinin görüldüğü bir şehir olan Çorum'da, 1643 ha alana sahip Bahçelievler Mahallesinde, ağaç ve çalıların çeşitli kirleticileri havadan uzaklaştırma miktarları i-Tree Canopy aracı kullanılarak hesaplanmıştır."
	Yılmaz M.	"Covıd-19 Pandemıc Stay Home Practıce: Its Effect On Kütahya Aır Qualıty"	"COVID-19 salgını nedeniyle "evde kal" ve toplumsal hareket kısıtlama uygulamasının hava kalitesine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Kütahya il merkezinde 11 Mart-25 Mayıs 2019 ve 11 Mart-25 Mayıs 2020 tarihleri arasındaki PM10, PM2,5 ve SO2 değişkenlerine ait ölçüm değerleri, 24 saatlik ortalama sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır."

	Aydın, N. & Yetişkul, E.	"Sokağa Çıkma Yasaklarının Kentlerin Hava Kalitesi Üzerindeki Etkisi, İzmir Örneği"	"İzmir metropoliten alanında PM10 atmosferik kirleticisinin konsantrasyonlarının Covid-19 Pandemisi önlemleri kapsamında sokağa çıkma yasaklarının uygulandığı günlerde nasıl değiştiğini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda İzmir'de bulunan 8 adet hava kalitesi ölçüm istasyon değerleri baz alınmıştır."
	Batur, A. & Aksu, G. A.	"Partikül Madde (PM10) Konsantrasyonunun Kentsel Yeşil Alan Sisteminin Değerlendirilmesinde Ekolojik İndikatör Olarak Kullanımı: İstanbul - Beşiktaş Örneği"	"Farklı peysaj unsurlarına ve yoğun bir nüfusa sahip olduğu için Beşiktaş ilçesi seçilmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Müdürlüğü Beşiktaş İlçe Ölçüm İstasyonu'na ait 1998-2019 yılları arası PM10 konsantrasyon değerleri gözden geçirilmiş, aylık ortalamaları temsil edecek şekilde yıllık grafikler hazırlanarak ön araştırma gerçekleştirilmiştir."
	Cüce, H. & Uğur, O.	"Nevşehir İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Covid-19 Salgını Başlangıç Döneminde Değerlendirilmesi"	"Nevşehir İli karayolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının (CO2, CH4, N2O) Covid-19 salgını başlangıç döneminde (2020 Mart-Ekim) değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Emisyonların hesabında, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kılavuzunda yer alan ve ülkelere önerilen Tier 1 hesaplama metodolojisinden yararlanılmıştır."

İncelenen tezler ve makalelerde hava kirliğinin nedenleri ve sonuçları değerlendirilerek önerilerin geliştirildiği görülmektedir. Farklı yöntemlerin kullanıldığı çalışmalarda Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı verileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

SONUÇ

Ülkemizde kentler üzerindeki hava kirliğinin olumsuz etkilerini ele alan çalışmalara daha çok 1975 sonrasında rastlanılmakla birlikte, günümüzde de konuya olan ilgi artmaktadır. Kentler bazında yapılan çalışmalarda genellikle hava kirliğinin yüksek değerlerde olduğu sanayi tesislerinin bulunduğu, deniz ve kara ulaşımının yoğun ya da fosil yakıt kullanımının yaygın olduğu bölgeler değerlendirilmektedir. Kentler açısından oldukça önemli olan arazi kullanım, peyzaj planlama, ekolojik planlama ve sürdürülebilirlik gibi kavramları konu alan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Yapılması düşünülen çalışmalarda bu alanlara da yer verilmesinde fayda bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

Adın, H. , Yaşar, F. , Altun, Ş. & Işcan, B. 2017. Batman Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Kontrolü, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi , 7 (1/2) , 48-55 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/buyasambid/issue/29807/320562

Ai, H., Wang , M., Zhang, YJ, Zhu, TT. 2022. How does air pollution affect urban innovation capability? Evidence from 281 cities in China, Structural Change and Economic Dynamics.

Alkan, A. 2018. Hava Kirliliğinin Ciddi Boyutlara Ulaştığı Kentlere Bir Örnek: Siirt. Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 7 (2) , 641-666 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlissos/issue/41200/475981

Avşar, E. 2015. Balıkesir İli Burhaniye İlçesi (İskele Mahallesi) Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi . Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , 4 (1) , 68-82 . DOI: 10.17798/beufen.40291

Aydın, N. & Yetişkul, E. 2021. Sokağa Çıkma Yasaklarının Kentlerin Hava Kalitesi Üzerindeki Etkisi, İzmir Örneği . İDEALKENT , COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü , 389-414 . DOI: 10.31198/idealkent.880951

Azboy N. , İnandı T. , Eltaş M. C. 2020. Hatay'da PM10 ve SO2 Düzeyi ve Değişimleri, 2007-2017. Mustafa Kemal Üniversitesi Tıp Dergisi. 11(39): 18-25.

Barış, M. E. & Koç, N. 1997. Ankara Kentinde Hava Kirliliği Sorununun Çözümünde Peyzaj Mimarlığı Açısından Alınması Gerekli Önlemler . Journal of Agricultural Sciences , 03 (02) , 1-8 . DOI: 10.1501/Tarimbil_0000000306

Başak, S. & Demirarslan, K. O. 2018. Hava Kirliliğinin Kar Sularına Etkisi: Artvin İli Örneği . İklim Değişikliği ve Çevre , 3 (1) , 9-15 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/idec/issue/38803/445934

Başar, P. , Okyay, P. , Ergin, F. , Coşan, S. & Yıldız, A. 2005. Air Pollution in Aydin City Between 1997-2004 . Meandros Medical And Dental Journal , 6 (3) , 11-15 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/meandrosmdj/issue/43945/541242

Baştürk, E. & Alver, A. 2021. Nevşehir İli Hava Kalitesinin Markov Zinciri ile Tahmini . Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (5) , 1707-1723 . DOI: 10.29130/dubited.885779

Batan, M. 2013. Batman İlinde Kirletici Emisyonlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Küresel Isınmaya Etkisi . Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi , 3 (2) , 90-104 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/buyasambid/issue/29820/320772

Batur, A. & Aksu, G. A. 2021. Partikül Madde (PM10) Konsantrasyonunun Kentsel Yeşil Alan Sisteminin Değerlendirilmesinde Ekolojik İndikatör Olarak Kullanımı: İstanbul - Beşiktaş Örneği . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (27) , 125-134 . DOI: 10.31590/ejosat.947260

Behcet, R. & Yakın, A. 2020. Malatya İli Trafik Kaynaklı Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri . Journal of the Institute of Science and Technology , 10 (4) , 2783-2790 . DOI: 10.21597/jist.704308

Bozyiğit, R. 2013. Konya'da Hava Kirliliği . Marmara Coğrafya Dergisi , (1) , 335-344 . Retrieved from https://dergipark.org.tr /tr/pub/marucog/issue/448/560507

Caf, A. , Koç, A. & Yılmaz, S. 2017. Kentleşmenin Hava Kalitesi Üzerine Etkisi; Bingöl İli Örneği . Journal of the Institute of Science and Technology , 7 (3) , 231-238 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jist/issue/34626/389969

Cansaran, D. 2017. Bir Çevre Sorunsalı Olarak Hava Kirliliği: Kırıkkale İli Örneği . Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi , İktisat Özel Sayısı , 79-94 . DOI: 10.29029/busbed.336094

Cicibıyık, A. , Şarlak, N. & Üstün, D. 2019. Karaman İli Hava Kirliliği Durumu . Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi , 1 (1) , 59-69 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmujens/issue/ 57687/820866

Cüce, H. & Uğur, O. 2021. Nevşehir İlinde Karayolu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Covid-19 Salgını Başlangıç Döneminde Değerlendirilmesi . Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi , 11 (1) , 118-134 . DOI: 10.31466/kfbd.885 206

Çetin, M. & Demirci, O. K. 2016. Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi . Erzincan University Journal of Science and Technology , 9 (1) , 8-18 . DOI: 10.18185/eufbed.61841

Çetin, M. & Ergüder, T. O. 2020. Erzincan'da Motorlu Taşıtlar Tarafından Atmosfere Bırakılan Egzoz Emisyonları ve Tahmini Miktarlarının Belirlenmesi . Erzincan University Journal of Science and Technology , 13 (3) , 1403-1412 . DOI: 10.18185/ erzifbed.638290

Çiftci, Ç. , Dursun, Ş. , Levend, S. & Kunt, F. 2013. Topoğrafik Yapı, İklim Şartları ve Kentleşmenin Konya'da Hava Kirliliğine Etkisi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1 (1) , 19-24 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/5383/73020

Demirel, H. & Ateş, A. 2018. Sapanca Gölü çevresinde karayolu trafiğinden kaynaklanan hava kirleticilerinin emisyon envanteri. Sakarya University Journal of Science , 22 (2) , 150-158 . DOI: 10.16984/saufenbilder.291218

Doğan, F., Kitapçıoğlu, G. Eylül 2007 "İzmir ilinde hava kirliliğinin yıllar itibariyle karşılaştırılması". Ege Tıp Dergisi 46 / 3 129-133.

Dündar, M. & Pala, M. 2002. 17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Adapazarı Cadde Tozlarlnda Ağlr Metal Kirliliği. Sakarya University Journal of Science , 6 (3) , 63-68 . Retrieved from http://www.saujs.sakarya.edu.tr/tr/pub/issue/20689/220978

Eğri, D. M. , Güneş, D. G. , Pehlivan, D. E. & Genç, D. M. 1997. Son Beş Yıllık Dönemde Malatya İl Merkezinde Hava Kirliliği Eğiliminin İncelenmesi . Journal of Turgut Ozal Medical Center , 4 (4) , . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/totm /issue/13147/158542

Eğri, D. M. 1997. 1996-1997 Kış Döneminde Malatya İl Merkezi Hava Kirliliği Parametrelerine Meteorolojik Koşulların Etkisi . Journal of Turgut Ozal Medical Center , 4 (3) , . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/totm/issue/13148/158563

Etikan, D. İ. & Alpar, D. 1995. Ankara daki hava kirliliği üzerine bir çalışma . Journal of Turgut Ozal Medical Center , 2 (2) , . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/totm/issue/13157/158764

Fertelli, A. 2020. Sivas İlindeki Hava Kirliliğine Doğalgaz Kullanımının Etkileri . Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 2(2),18-23.. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/bjesr/issue/57523/766724

Garipağaoğlu, N. & Duman, C. 2017. Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi . Marmara Coğrafya Dergisi, 0 (36) , 57-70 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog/issue/30253/329057

Guliyev, R. & Akgün, M. 2020. Ardahan'da kullanılan kömürün hava kirliliğine etkisinin incelenmesi . Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 22 (2) , 479-489 . DOI: 10.25092/baunfbed.709411

Gül, İ. 2020. Tekirdağ İli 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi . Balıkesir Medical Journal , 4 (1) , 13-25 . DOI: 10.33716/bmedj.675374

Gül İ. , Yorulmaz F. , Altınok A. , Eskiocak M. 2019. Edirne İl Merkezinde 2014-2016 Yılları Arasında Dış Ortam Hava

Kalitesinin Değerlendirilmesi. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2019; 4(2): 131-142.

Gül İ. , Yorulmaz F. 2019. Edirne Merkez İlçede Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı Hava Kalitesi İzleme İstasyonunda Ölçülen Partiküler Madde 10 (Pm10) Bileşiminin Araştırılması, ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2019; 4(3): 331-342.

Güngör, A. & Sevindir, H. C. 2014. Isparta İlindeki Atmosferde Bulunan Kükürt dioksit (SO2) ve Partikül Madde (PM) Konsantrasyonunun Çoklu Doğrusal Regresyon Yöntemi İle Modellenmesi . Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 17 (1) , 95-108 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sdufenbed/issue/20800/222054

Gürtekin, E. 2008. Elazığ il merkezinde hava kirliliği . Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi , 6 (3) , 78-83 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/fudad/issue/47155/593801

Hacısalihoğlu, İ. 1994. Karabük'te hava kirliliği . Türk Coğrafya Dergisi , 0 (29) , 475-494 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21258/228185

İbret, B. Ü. & Aydınözü, D. 2010. Şehirleşmede Yanlış Yer Seçiminin Hava Kirliliği Üzerine Olan Etkisine Bir Örnek: Kastamonu Şehri . Coğrafya Dergisi , 0 (18) , 71-88 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25046/264418

İmal, M. , Karapınar, Ç. & Doğan, O. 2014. Hava Kalitesine Doğalgazın Etkisi: Kahramanmaraş Örnek Çalışması . Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri

Dergisi , 16 (2) , 22-28 . Retrieved from http://jes.ksu.edu.tr/tr /pub/issue/19363/205343

İskan, S. & Koç, T. 2021. İnegöl (Bursa) havzasında hava kalitesinin fiziki ortam ile ilişkisi . Türk Coğrafya Dergisi , (77) , 7-18 . DOI: 10.17211/tcd.871839

İskender, S. , Bolu, F. , Yılmaz, M. & Mayda, A. 2017. Düzce Hava Kalitesi İzleme İstasyonu 1 Ekim 2011-31 Mart 2015 Tarihleri Arasındaki Verilerinin İncelenmesi . Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 6 (3) , 161-167 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzcesbed/issue/31078/66722

Kara, G. 2012. Kentsel Hava Kirleticilerine Meteorolojinin Etkisi: Konya Örneği . Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 27 (3) , 73-86 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23227/248005

Kara G. , Bozkurt Ç. , Çay Y. 2019. Konya'da Hava Kirliliği Konusunda Farkındalık Düzeyinin Belirlenmesi. UCBAD 2(2): 91-94.

Kara G. , Yalçınkaya B. 2018. Özdil B. Konya İlinin Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi. UCBAD 1(2): 104-109.

Keser, N. 2013. Kütahya'da Hava Kirliliğine Etki Eden Topografik Ve Klimatik Faktörler . Marmara Coğrafya Dergisi , (5) , 69-100. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/marucog /issue /452/567534

Koç, A. , Yılmaz, S. & Mutlu, E. 2016. Effect Of Large Green Areas On Aır Qualıty In Center of Erzurum . Journal of the Institute of

Science and Technology , 6 (4) , 109-112 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/jist/issue/34623/385665

Koç, C. & Koç, A. 2018. An Assessment Through Relationship Between Air Pollution and Climatic Parameters in City of Igdır . Kent Akademisi , 11 (1) , 1-10 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/kent/issue/36326/377068

Kon, O. 2013. Binalarda Dış Duvar Yalıtımının Hava Kirliliği Açısından Önemi: Balıkesir İl Merkezi Örneği. Engineering Sciences, 8(1),39-53. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsaeng/issue/19851/212598

Kopar, İ. & Zengin, M. 2015. Coğrafi Faktörlere Bağlı Olarak Erzurum Kentinde Hava Kalitesinin Zamansal ve Mekânsal Değişiminin Belirlenmesi . Türk Coğrafya Dergisi , 0 (53) , 51-69 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21228/228416

Koşan, Z. , Kavuncuoğlu, D. , Çalıkoğlu, E. O. & Bilge Yerli, E. 2018. Evaluation of air pollution by PM10 and SO2 levels in Erzurum province, Turkey: Descriptive study . Journal of Surgery and Medicine , 2 (3) , 265-268 . DOI: 10.28982/josam.422921

Kök F. 2018. Kentlerde Hava Kirliliğini Önleyecek ya da Azaltacak Yöntem İçin Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi. UCBAD 1(3): 145-157.

Köse, R. & Erbaş, O. 2003. Bazı Meteorolojik Faktorlerin Kutahya'daki Hava Kirliligine Etkisi . Journal of Science and Technology of Dumlupınar University , (004) , 255-269 .

Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/dpufbed/issue/36325/410919

Kunt F. , Dursun Ş. 2018. Konya Merkezinde Hava Kirliliğine Bazı Meteorolojik Faktörlerin Etkisi. UCBAD 1(1): 54-61

Menteşe, S. & Tağıl, Ş. 2012. Bilecik'te İklim Elemanlarının Hava Kirliliği Üzerine Etkisi . Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 15 (28) , 3-16 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/baunsobed/issue/50183/645979

Ming, Y., Deng, H., Wu, X. 2022. The negative effect of air pollution on people's pro-environmental behavior, Journal of Business Research, 142: 72-87.

Morcalı, M. H. & Akan, D. S. 2017. Kahramanmaraş Hava Kirliliği Kaynaklarının İzlenmesi ve Belirlenmesi . Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi , 20 (2) , 105-115 . DOI: 10.17780/ksujes.310602

Mutlu, A. 2019. Balıkesir Şehir Merkezinde Trafik Kaynaklı Hava Kirliliği Seviyelerinin Analizi . Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 21 (1) , 152-168 . DOI: 10.25092/baunfbed.532605

Oğuz, K. 2020. Nevşehir İlinde Hava Kalitesinin ve Meteorolojik Faktörlerin Hava Kirliliği Üzerine Etkilerinin İncelenmesi . Doğal Afetler ve Çevre Dergisi , 6 (2) , 391-404 . DOI: 10.21324/dacd.686052

Özdemir, M. A. & Boyraz, Z. 2011. Elazığ Şehir Merkezinde Hava Kirliliğini Doğuran Nedenler Ve Kirlilik Parametrelerinin Zaman İçindeki Değişimine Coğrafi Bir Yaklaşım. Doğu

Coğrafya Dergisi, 7(8),. Retrieved from https://dergipark.org.tr /tr/pub/ataunidcd/issue/2431/30892

Özcan, N.S. 2016. Kentsel Hava Kirliliğini Etkileyen ve Şehir Planlama ile Kontrol Edilebilen Fiziksel Faktörlerin Mekânsal İstatistik Yöntemleri ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Özel, G. 2019. Markov Zinciri Kullanarak Ankara İli İçin Hava Kirliliği Tahmini . Bilge International Journal of Science and Technology Research , 3 (2) , 144-151 . DOI: 10.30516/bilgesci.546317

Özşahin, E. , Eroğlu, İ. & Pektezel, H. 2016. Keşan'da Edirne Hava Kirliliği . Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi , (36) , 83-100 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub /susbed/issue/61816/924823

Öztürk, D. & Bayram, T. 2019. Van İli Kent Merkezinde Hava Kirliliği . Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(3), 1142-1153 . DOI: 10.17798/bitlisfen.529099

Sabah, E. & Çelik, M. Y. 1999. Afyon Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi, Ekonomisi Ve Hava Kirliliğini Önlemedeki Katkısı . Bilimsel Madencilik Dergisi , 38 (3) , 3-14 . Retrieved from http://www.mining.org.tr/tr/pub/issue/32524/361362

Sabah, E. 2002. Afyon'da Sabit Kirletici Kaynaklardan İleri Gelen Hava Kirliliği ve Çözüm Önerileri . Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi,2(1),61-78. Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue /1592/19783

Sever, R. 2008. Malatya'daki Hava Kirliliğine Coğrafi Bakış . Doğu Coğrafya Dergisi , 13 (20) , 59-76 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunidcd/issue/2444/30985

Sezen, İ. & Yılmaz, S. 2011. Erzurum Kent Merkezinde 1994-2004 Yılları Arasındaki Hava Kirliliği Durumu. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi , 37 (2) , 217-224 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunizfd/issue/2934/40601

Şahin, K. , Bağcı, H. R. & Sarı, E. 2016. HAVZA'DA (SAMSUN) HAVA KİRLİLİĞİ ALGISI . Studies of The Ottoman Domain (Osmanlı Hakimiyet Sahası Çalışmaları) , 6 (11) , 29-42 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsc/issue/27166/285809

Şahin Arslan, N. 2021. Parkların Hava Kirliğini Azaltıcı Etkisinin Çorum Örneğinde İncelenmesi . Turkish Journal of Forest Science , 5 (2) , 401-407 . DOI: 10.32328/turkjforsci.917787

Tecer L.H., Tağıl Ş., Fıçıcı, M. 2018 Çorlu (Tekirdağ) Hava Kirliliğinden Etkileniyor mu?, European Journal of Engineering and Applied Sciences, 1 (1), 8-18.

Teker A. G. 2020 İzmir İlinde 2009-2018 Yılları Arasında Partiküler Madde Kirliliği, ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi. 2020; 5(2): 216-222.

Tığlı, N. E. & Cangür, Ş. 2019. Ankara'da Farklı Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarından Elde Edilen Verilerin Kantil Regresyon Analizi İle İncelenmesi . Nicel Bilimler Dergisi , 1 (2) , 62-86 . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/nicel/issue/51142/567926

Topçu, N. 2011. Fosil Yakıtların Erzurum Hava Kirliliğine Katkısı . Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi , 24 (2) , . Retrieved from https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunizfd/issue /3009/41737

Toros, H. & Bağış, S. 2017. Hava Kirlilik Modellerinde Kullanılacak Emisyon Envanteri Oluşturulması için Yaklaşımlar ve İstanbul Hava Kirliliği Dağılımı Örneği . Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi , 32 (2) , 1-12 . DOI: 10.21605/cukurovaummfd.357001

Toros H. , Bağış S. 2018. Gemici Z. Ankara'da Hava Kirliliği Mekânsal Dağılımının Modellenmesi. UCBAD 1(1): 20-53.

Yakın, A. & Behçet, R. 2019. Van İli Trafik Kaynaklı Hava Kirleticilerinin Emisyon Envanteri . Journal of the Institute of Science and Technology , 9 (3) , 1567-1573 . DOI: 10.21597/jist.548606

Yazıcı, H. , Koca, N. & Ekiz, E. 2018. Topoğrafik, meteorolojik ve klimatolojik faktörlerin Afyonkarahisar şehrindeki hava kirliliği üzerine etkileri . Türk Coğrafya Dergisi , (71) , 63-68 . DOI: 10.17211/tcd.430631

Yılmaz, M. 2019. Manisa Merkez Ve Soma İlçesi 2017 Yılı Hava Kalitesi Verilerinin Değerlendirilmesi . Kocatepe Tıp Dergisi , 20 (2) , 77-82 . DOI: 10.18229/kocatepetip.408426

Yılmaz, M. , Emanet Beba, H. , Dinç, U. , Ünal, Z. F. , Toros, H. & Öztürk, Z. 2020 Dilovası Hava Kalitesinin Ulusal Mevzuata Göre Değerlendirilmesi . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , (19) , 703-714 . DOI: 10.31590/ejosat.703579

Yılmaz M. 2021. Covıd-19 Pandemıc Stay Home Practıce: Its Effect On Kütahya Aır Qualıty. ESTÜDAM Halk Sağlığı Dergisi., 6(2): 123-129.

Yılmaz M. , Toros H. , İncecik S. , Öztürk Z. , Kirkil G. , Öztaş D. , Akçay M. , Dinç U. , Gültekin M. , Emanet Beba H. , Arslantaş O. A. 2020. Dilovası Hava Kirliliğinin Trafik Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi. UCBAD. 3(1): 43-51.

Yılmaz, B. 2018. Manisa'da partikül madde (PM10) kirliliğinin değerlendirilmesi . Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 20 (1) , 626-633 . DOI: 10.25092/baunfbed. 442994

Yolsal, H. 2016. Estımatıon Of The Aır Qualıty Trends In Istanbul . Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi , 38 (1) , 375-399 . DOI: 10.14780/iibd.98771

Zhao, L., Liu, C., Liu, X., Liu, K., Shi, Y. 2021. Urban spatial structural options for air pollution control in China: Evidence from provincial and municipal levels, Energy Reports, 7(7):93-105.

BÖLÜM 18

YEREL ENDEMİK *Campanula baskilensis*'in MİNERAL DÜZEYLERİNİN ICP-MS İLE BERLİRLENMESİ

Öğr. Gör. Ebubekir İZOL[1]* , Prof. Dr. Lütfi BEHÇET[2]
Doç. Dr. Aydın Şükrü BENGÜ[3], Öğr. Gör. Enes KAYA[4]

[1]Bingöl Üniversitesi, Arı ve Doğal Ürünler Ar-Ge ve Ür-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bingöl, TÜRKİYE Orcid No: 0000-0003-0788-4999,*eizol@bingol.edu.tr
[2]Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Bingöl, TÜRKİYE Orcid No: 0000-0001-8334-7816, lbehcet@bingol.edu.tr
[3]Bingöl Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bingöl, TÜRKİYE Orcid No: 0000-0002-7635-4855, abengu@bingol.edu.tr
[4]Bingöl Üniversitesi, Arı ve Doğal Ürünler Ar-Ge ve Ür-Ge Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bingöl, TÜRKİYE Orcid No: 0000-0003-3973-168X, eneskaya@bingol.edu.tr

1. GİRİŞ

Bitkilerin gıda ve süs olarak kullanılmasının yanı sıra geleneksel tıpta yer edindiği binlerce yıldan beri bilinmektedir. Modern tıbbın ve analitik cihazların gelişimine paralel olarak bu şifalı bitkilerin kimyasal içeriği de merak uyandırmış, yeni çalışma ve istihdam alanları oluşturmuştur. Ülkemizde de dünyadaki bu trend ile orantılı bir şekilde bitkilerin içeriği ile ilgili akademik çalışmalarda gözle görülür bir artış gözlenmektedir. Özellikle biyolojik sistemlerde kofaktör olarak görev yapan ve aynı şekilde eksiklikleri veya fazlalıkları zarara neden olabilen metallerin belirlenmesi ve konsantrasyonlarının da bulunması çok önem arz etmektedir.

Türkiye'de Behçet ve ark. 2019 tarafından keşfedilen Campanulacea familyasına ait yeni bir lokal endemik tür olan *Campanula baskilensis* Behçet nov. Sp. adı ile Türkiye'nin doğusunda Elazığ'ın Baskil ilçesinde tespit edilmiş ve kayıtlara lokal endemik olarak geçmiştir. Taşlık ve çorak arazide yetişebilmektedir. Campanulacea (Çan çiçeğigiller) familyası tek yıllık veya çok yıllık olabilen otsu veya çalı formunda çiçekli bitkiler ailesindendir. Çiçeklerinden dolayı süs bitkisi olarak yetiştirilen birçok türü vardır. Sarı, mavi, mor ve kırmızı renklerde ve dikkat çekici çiçeklere sahip olabilirler. Kuzey ve güney yarım kürede rastlanmıştır. Çok geniş bir aile olan Campanulacea'nin bazı türleri zehirli bileşikler içerirken bazı türleri de astım tedavisinde ve nikotine benzer bir bileşik (lobelin) içerdiğinden sigarayı bırakma ile mücadelede kullanılmıştır (Behçet ve İlçim 2018). Görüntüsü Şekil 1.'de verilmiştir.

Şekil 1. *Campanula baskilensis* (Behçet ve İlçim 2018).

Ağır metaller maruz kalma ve birikme ile canlı vücudunu tehdit eden elementlerdir, diğer eser elementlerin ve minerallerin pek çoğu ise canlıların sağlığını devam ettirmesinde, hastalıklara karşı dirençli olmasında önem arz etmektedir. Burada çok önemli bir faktör vardır ki o da dozaj faktörüdür, canlı vücuduna alımı çok faydalı bir element dahi olsa dozajın üzerinde alındığında fayda görülmesi beklenen element canlıya zarar verebilmektedir. Bu çalışmada yerel endemik yeni bir bitki türü olan *Campanula baskilensis* bitkisinin mineral etkisinin bilinebilmesi için ICP-MS ile Li, B, Na, Mg, Al, K, Ca, Cr, Mn, Fe, Co,

Ni, Cu, Zn, As, Se, Ag, Cd, Cs, Ba, Hg, Pb, Hg ve Pb konsatrasyonlarına bakılmıştır. Bu eser elementlerin her birinin genel özellikleri ve sağlığa etkilerini şöyle sıralayabiliriz:

Arsenik (As)'e maruz kalma ve vücuda alınması ile insan sağlığı etkilenmektedir. As maruziyeti sudan, yiyecek ve havadan meydana gelebilirken, bütün önemli kronik As zehirlenmeleri sudan kaynaklanmaktadır. As'a maruz kalma deri, saç ve tırnak gibi dokularda As birikmesine sebep olarak hiperpigmentasyon ve keratoz gibi çeşitli klinik semptomlara sebep olur. Ayrıca iç organ, akciğer ve cilt kanseri riskinde artışa neden olur. Kardiyovasküler hastalıklar ile nöropati de As tüketimi ile ilişkilendirilmiştir. Yüksek konsantrasyonda As ile sözel IQ (zeka seviyesi) ve uzun süreli bellek de etkilenebilir, hormon regülasyonunu ve hormon aracılı gen transkripsiyonunu baskılayabilir. Erken doğumda artışlara, bebeklerin doğum ağırlıklarında azalmalara ve fetal kayıplara neden olabilmektedir (Kapaj ve ark. 2007).

Kadmiyum genellikle çevrede ve yerkabuğunda düşük seviyelerde bulunurken, insan faaliyetleri bu seviyeleri daha da yükseltmiştir. Kadmiyum metal cevherlerinde, kayalarda ve topraklarda fosil yakıtlarda, insan ve hayvan atıklarında ve gübre üretmek için kullanılan fosfat kayalarında bulunur. Kadmiyum kemikler, akciğer sistemi ve böbrek fonksiyonu üzerinde ciddi etkilere neden olabilir. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) tarafından, insan ve hayvan araştırmalarına dayalı olarak, Grup 1 olarak bilinen insan kanserojeni olarak sınıflandırılmıştır. Akut maruziyet pulmoner ödemden ölümle sonuçlanabilir. Kronik maruziyetin kalsiyumun ve düşük moleküler

ağırlıklı proteinlerin atılımını artırabilecek böbrek hasarına neden olduğu bilinmektedir (İzol ve ark. 2021).

Cıva, insan vücudunda esansiyel olmayan ve toksik bir metaldir. Cıva, çevrede her yerde bulunur, doğal ürünlerde ve günlük hayatta karşılaşılan maddelerde yaygın olarak bulunur. Cıvanın inorganik cıva bileşikleri, elemental (veya metalik) cıva ve organik cıva bileşikleri olmak üzere üç formu vardır. İnorganik cıva bileşikleri, insan vücuduna girdikten sonra %7 ile %15 biyoyararlanımı ile suda çözünür; ayrıca tahriş edicidirler ve gastrointestinal semptomlara neden olurlar (Park ve Zheng 2012).

Kurşun toksisitesi en tehlikeli ağır metallerden biridir. Vücuda su, toz, toprak ilaçlar ve kurşun bazlı boya yoluyla girebilir. Çocuklar özellikle kurşun toksisitesi geliştirmeye daha eğilimlidirler. Kurşun, glutatyonun yetersiz olması durumlarında oksidatif stresi indükleyerek hareket eder. Kurşun ayrıca lipid peroksidasyonu indükleyerek ile hücre zarının harabiyetine bağlı olarak hemolitik anemiye neden olabilir. Kurşun toksisitesi ayrıca organ hasarına bağlı ciddi sağlık sorunlarına neden olur ve nörotransmiter seviyelerini etkiler, hatta bazıları ölüme yol açar (Debnath ve ark. 2019).

Alüminyum (Al), hayat için gerekli bir element değildir ve oldukça inert minerallerin bir bileşenidir. İçme suyu kaynaklarına bulaştığı için alüminyumun insandaki birikimi artmıştır. Epidemiyolojik ve deneysel bulgular, alüminyumun önceden zannedildiği kadar tehlikesiz olmadığı ve alüminyumun Alzheimer hastalığının başlamasına ve ilerlemesine neden olabileceğini göstermektedir. Deneysel veriler, alüminyuma

maruz kalmanın beyinde aşırı inflamatuar etkiye yol açabileceğine dair göstergelerle de desteklenmektedir (Fekete ve ark. 2013).

Lityum, kayalarda, topraklarda, yüzey sularında, yeraltı sularında ve deniz suyunda eser miktarda ve yaygın olarak dağılmıştır. Metalik lityum ve bileşikleri esas olarak cam, pil üretiminde, seramik, sentetik kauçuk imalatında, plastikler, farmasötik ürünler, alüminyum metal alaşımlarında, bazı organik reaktiflerin sentezinde indirgeyici madde olarak bir kurutma maddesi olarak, nükleer endüstride nötron yakalayıcı olarak ve tıpta bipolar bozukluğu tedavi etmek için altın standart olarak kullanılır. Lityum'un çevresel toksisitesi düşüktür biyolojik olarak vücutta birikmesi beklenmemektedir. Lityum bitkiler için diyet minerali değildir, ancak bitki büyümesini teşvik eder (Aral ve Vecchio-Sadus 2011, Gitlin 2016).

Çeşitli deneysel modellerden elde edilen artan kanıtlar, borun insanlar için biyoaktif ve faydalı bir element hatta belki de gerekli olduğunu göstermektedir. Borun faydaları arasında kemik büyümesi ve bakımı, artrit hafifletme veya risk azaltma, merkezi sinir sistemi düzenleme, kanser riskini azaltma, hormon ve bağışıklık tepkisi kolaylaştırma, iltihaplanma ve oksidatif stres modülasyonu yer alır (Nielsen ve Meacham 2011).

Sodyum (Na) ve potasyum (K), sırasıyla hücre dışı ve hücre içi sıvılardaki birincil katyonlardır. Sıvı dengesinin düzenlenmesi, membran potansiyeli ve kas kasılması dahil olmak üzere önemli fizyolojik roller oynarlar. Hem Na hem de K, kardiyovasküler hastalık, kan basıncı, astım, mide kanseri, kardiyak aritmiler, böbrek taşları,

osteoporoz, glukoz intoleransı ve kas zayıflığı dahil olmak üzere sağlık etkileriyle geniş ölçüde ilişkilidir (Whelton ve He 2014). Sağlık kuruluşlarının bazıları, alım düzeyine bakılmaksızın sodyum alımının düşürülmesinin kan basıncını düşüreceği ve dolayısıyla, kardiyovasküler hastalık insidansını azaltacağını iddia etmektedirler (Mente ve ark. 2021). Pek çok çalışma, artan potasyum alımının insan sağlığı üzerinde faydalı etkileri olduğunu göstermektedir. Epidemiyolojik ve klinik çalışmalar, yüksek potasyum diyetinin hem yüksek kan basıncı kişilerde kan basıncını düşürdüğünü göstermektedir, artan potasyum alımının kardiyovasküler hastalık mortalitesini azalttığını göstermektedir. Ayrıca böbrek hastalığının ilerlemesini durdurur veya en azından yavaşlatabilir. Artan potasyum alımı, idrarla kalsiyum atılımını azaltır ve muhtemelen osteoporoz riskini azaltır (He ve MacGregor 2008).

Magnezyum vücutta en çok bulunan dördüncü katyondur. 300'den fazla enzimatik reaksiyon için bir kofaktör olarak rolünün yanında insan vücudunda çeşitli işlevleri vardır. Pek çok araştırma, düşük magnezyum seviyelerinin çeşitli kronik hastalıklarla ilişkili olduğunu bildirmiştir. Magnezyum, osteoporoz, diyabet, preeklampsi, bronşiyal astım, migren ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çeşitli durumlarda tedavi edici ve önleyici olarak önemli rol oynayabilir (Al Alawi ve ark. 2018).

Kalsiyum, kas kasılması, kan pıhtılaşması, güçlü kemikler ve dişler oluşturma, iletim, sinir uyarısı, oosit aktivasyonu, kalp atışının düzenlenmesi ve hücrelerdeki sıvı dengesindeki homeastasi açısından çok önemlidir. Hamilelik, emzirme, çocukluk gibi büyüme döneminde

kalsiyum gereksinimi en fazladır. Kalsiyum eksikliğinin uzun süreli olması durumunda, kemiğin bozulduğu ve kırıkların arttığı oestoporoz meydana gelebilir (Pravina ve ark. 2013).

Krom, yeterli içeriğinin alaşım yüzeyinde oksitlenme ve korozyona karşı koruyucu özelliğinden dolayı diş implantlar ve tıbbi aletlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom tıbbi amaçlar için düşük konsantrasyonlarda kullanılır ve ayrıca insan lipid ve protein metabolizmasında rol oynar. Tıbbi yönünün yanında, yüksek konsantrasyonlarda, özellikle altı değerlikli krom, toksik ve kanserojendir (Achmad ve ark. 2017).

Demir, oksijen taşınması, deoksiribonükleik asit (DNA) sentezi ve elektron taşınması dâhil olmak üzere birçok metabolik sürece katıldığı için hemen hemen tüm canlı organizmalar için esansiyel bir elementtir. Bununla birlikte, demir serbest radikaller oluşturabileceğinden, vücut dokularındaki konsantrasyonunun düzenlenmesi gerekir çünkü aşırı miktarlarda doku harabiyetine yol açabilir. Demir metabolizması bozuklukları, insanların en yaygın hastalıkları arasındadır aşırı demir yüklenmesinden anemiye muhtemelen nörodejeneratif hastalıklara kadar çeşitli klinik belirtileri olan geniş bir hastalık yelpazesini kapsar (Abbaspour ve ark. 2014, Bengü ve ark. 2020).

Kobalt (Co) ve bileşikleri doğada yaygın olarak bulunur ve çok sayıda antropojenik aktivitenin parçasıdır. Kobalt, B12 vitamininin metal bileşeni olarak biyolojik olarak gerekli bir role sahip olmasına rağmen, aşırı maruziyetin başlıca nörolojik, kardiyovasküler ve endokrin

bozuklukları olmak üzere çeşitli olumsuz sağlık etkilerine neden olduğu kanıtlanmıştır (Leyssens ve ark. 2017).

Nikel, su, hava, toprakta çevre ve yaygın olarak bulunan bir geçiş elementidir. Nikelin çevrede her yerde bulunmasına rağmen, insanlar ve hayvanlar için iz element olarak fonksiyonel rolü henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Doğal kaynaklardan ve antropojenik aktiviteden kaynaklanabilir. Nikelden kaynaklanan çevre kirliliği sanayi, katı ve sıvı yakıtların yanı sıra endüstriyel ve belediye atıklardan oluşur. Nikel teması, alerji, kardiyovasküler ve akciğer fibrozu, böbrek hastalıkları, akciğer kanseri gibi insan sağlığı üzerinde farklı yan etkilere neden olabilir (Genchi ve ark. 2020).

Bakır insan sağlığı için önemli bir mineraldir ve fakat alınan miktara bağlı olarak toksik olabilir. Metabolizması diğer mikro minerallerle sıkı bir şekilde iç içedir ve eksikliğinin demir mobilizasyonunu bozduğu ve ikincil demir eksikliğine sebep olduğu bilinmektedir. Bakır, bağışıklık fonksiyonu, kemik sağlığı ve artan enfeksiyon sıklığı, kolesterol ve kardiyovasküler risk metabolizmasındaki değişiklikler ile ilişkilidir (Araya ve ark. 2007).

Çinko (Zn), insan sağlığı açısından önemi büyük olan ve en önemli temel elementlerden biridir. Oksidatif strese tepki, , bağışıklık tepkileri homeostaz, DNA hasar onarımı, hücre döngüsü ilerlemesi, DNA replikasyonu, apoptoz ve yaşlanma gibi biyokimyasal yolaklar ve hücresel fonksiyonlardaki rolü önemlidir. Çinko (Zn), pek çok biyolojik fonksiyonda yer alır ve 300'den fazla enzime ve 2000'den fazla transkripsiyonel faktöre bağlanma kapasitesi sebebi ile çok amaçlı bir

eser element olarak kabul edilir. Zn, kollajen ve protein sentezi için gerekli olduğu bilinmekte böylece yara iyileşmesine ve sağlıklı bir cilde katkıda bulunur. Dünya nüfusunun neredeyse %17'sinde Zn eksikliği gözlenmekte ve bu eksikliğin etkisi ile birçok organ sistemini etkileyerek hem de hücre aracılı hem hümoral bağışıklığın etkilenmesine ve bozulmasına neden olarak enfeksiyona yatkınlığı artırmaktadır (Chasapis ve ark. 2020).

Selenyum (Se) bileşiklerine kronik maruz kalmanın insanlarda çeşitli olumsuz sağlık etkileri olduğu epidemiyolojik çalışmalar ve vaka raporları ile gösterilmiştir. Selenyumun toksik etkisi endokrin fonksiyon, özellikle diyetle maruziyetin ardından büyüme hormonu ve tiroid hormonlarının sentezi üzerindedir. Bunların dışında gastrointestinal rahatsızlıklar, doğal öldürücü hücre aktivitesinin bozulması ve daha yüksek seviyelerde hepatotoksisite olabilir. Saç ve tırnak dökülmesi, dermatit gibi dermatolojik etkiler gibi etkiler de yüksek düzeyde çevresel selenyuma maruz kaldıktan sonra ortaya çıkar (Vinceti ve ark. 2001).

Sr (Stronsiyum) çevrede her yerde bulunan bir elementtir. Stronsiyum bilinen herhangi bir biyolojik rolü olmadığı için esansiyel bir element olarak kabul edilmemekte ancak tüm canlı organizmalarda bulunur. Kararlı ve radyoaktif stronsiyum bileşikleri birçok araştırma ve tıp alanları da dâhil olmak üzere birçok endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Stronsiyum kalsiyum elementine benzer; kalsiyum gibi, kemiğin yapısına katılır. Alındığı dozaja bağlı olarak insanlarda hem faydalı hem de zararlı etkilere neden olabilir. Radyoaktif

stronsiyuma maruz kalma, kemik kanseri ve çeşitli kemik bozuklukları da dâhil olmak üzere çeşitli hastalıklara yol açan sağlık sorunlarına sebep olabilir (Höllriegl ve München 2011).

Mo (Molibden), temel eser bir elementtir ve canlıların hayatta kalması için çok Molibden, birçok gıdada doğal olarak bulunan ve ayrıca besin takviyesi olarak da bulunan temel bir eser elementtir. Molibden, vücutta sentezlenen ve dört enzimin işleyişi için gerekli kofaktör olan molibdopterinin yapısal bir bileşenidir: ksantin oksidaz, sülfit oksidaz, aldehit oksidaz ve mitokondriyal amidoksim azaltıcı bileşen (mARC). Bu enzimler, kükürt içeren amino asitleri pürinler, pirimidinler de dahil olmak üzere heterosiklik bileşikleri metabolize eder (Micronutrients 2001, Schwarz ve Belaidi 2013).

Gümüşün geçmişte bir antibiyotik olarak uzun ve merak uyandıran bir insan sağlığı bakımında önemli bir yeri vardır. Yara bakımı, kemik protezleri, su arıtma, cerrahi cihazlarda, kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Biyoteknolojinin gelişimi ile, iyonize olabilen gümüş kumaşlara dahil edilerek hijyen ve hastane enfeksiyonlarına karşı kullanılmaktadır. Gümüş veya gümüş bileşiklerinin bakteri veya mantar hücre zarlarıyla etkileşime girmesi ile antimikrobiyal etki göstermektedir. Gümüşün toksititesi insan vücudunda düşüktür özellikle yutma, soluma, deriye uygulama veya hematojen ürolojik yollar ile klinik maruziyet sebebi ile minimum risk beklenir (Lansdown 2006).

Cs (Sezyum) metabolizması ve akut ve kronik toksisitesi hakkında bilgi yeterince bilinmemektedir. Sezyum klorürün oral alımı, kanser tedavisi

için tamamlayıcı bir alternatif tıp yöntemi olan "yüksek pH kanser tedavisi" olarak adlandırılan hipotez temelinde geniş çapta desteklenmiştir. Fakat bu öneri için ne teorik ne de deneysel temeller ile şu ana kadar tam olarak doğrulanmış bir tümör regresyonu rapor edilmemiştir. Bu sebep ile sağlıkçılar alternatif tıpta sezyumun dikkatsiz kullanımının bir sonucu olarak kardiyak komplikasyonların oluşabileceğinin farkında olmalıdırlar (Melnikov ve Zanoni 2010).

Ba (Baryum) maruziyetinin potansiyel sağlık etkileri büyük ölçüde hayvan çalışmalarına dayanırken, insanlar için, özellikle kronik düşük seviyeli maruziyetler için epidemiyolojik veriler azdır. Sağlık etkileri arasında böbrek hastalıkları ve kardiyovasküler, nörolojik, zihinsel ve metabolik bozukluklar yer alır. Yaş, ırk, diyet kalıpları, davranışsal riskler (örneğin sigara), insan organizması ile emilen baryuma müdahale eden ilaçlar ve hamilelik gibi spesifik fizyolojik durumlar insan sağlığı üzerindeki baryum etkilerini değiştirebilir. Yüksek seviyede baryuma maruz kalma sonucunda, merkezi sinir sistemi bozuklukları böbrek ve karaciğer yetmezliği, çizgili, düz ve kalp kaslarının uyarılması, yüksek kan basıncı, düşük vücut ağırlığı, kemiklerde artan Ba birikimi, düşük vücut ağırlığı ve daha kısa bir yaşam süresi gibi etkiler görünebilir (Kravchenko ve ark. 2014).

2. MATERYAL METOT

Bitkinin Toplanması

Bitki Lütfi Behçet tarafından Türkiye'nin Elazığ ilinin Baskil ilçesinde bulunmuş ve toplanmıştır. Lokal endemik bir tür olarak herbaryuma kaydedilmiştir.

Kimyasallar

Deneysel aşamaların tümünde ultrapure saf su (18.3 MΩ cm−1) kullanılmıştır. Nitrik asit olarak ise suprapure %65'lik kullanıldı. Internal standart ve kalibrasyon standardı olarak hazır konsantrasyonu belli olan standartlar kullanılmıştır.

Cihaz Analiz Metodu ve Numune Hazırlama

Bitki örneği ilk olarak mikrodalga fırında nitrik asit ile tamamen çözünene kadar yakılmıştır. Çözünen numune %1'lik nitrik asit ve saf su ile ICP-MS metoduna uygun olarak seyreltilmiştir. Kalibrasyon çözeltisi için mix standartlar kullanılmıştır. Kalibrasyonda en az 5 farklı derişim kullanılmıştır. Önce cihazın belirlenen elementler ile kalibrasyonu yapılıp grafiği çıkarılmıştır. Sonra kalibrasyona uygun numune seyreltmesi yapılmıştır. Ölçümün güvenilirliği için standart numune de analiz edilmiştir.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonuçlar üç paralel analizin ortalaması ve standart sapma değerleri ile Tablo 1.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Analiz Sonuçları, ND: Not Detected

Elementler	**Li** (µg/kg)	**B** (µg/kg)	**Na** (mg/kg)	**Mg** (mg/kg)	**Al** (mg/kg)	**K** (mg/kg)	**Ca** (mg/kg)
Campanula baskilensis	3,2±0,02	6,1±0,01	217,3±0,08	10,06±0,09	11,4±0,05	21,9±0,3	52,7±1,2
Elementler	**Mn** (mg/kg)	**Fe** (mg/kg)	**Co** (µg/kg)	**Ni** (µg/kg)	**Cu** (µg/kg)	**Zn** (mg/kg)	**As** (µg/kg)
Campanula baskilensis	0,42±0,02	9,63±0,09	4,8±0,01	30,1±0,9	20,8±0,7	52.1±0,01	2,47±0,01
Elementler	**Se** (µg/kg)	**Ag** (µg/kg)	**Cd** (µg/kg)	**Cs** (µg/kg)	**Ba** (µg/kg)	**Hg** (µg/kg)	**Pb** (µg/kg)
Campanula baskilensis	0.4 ±0,01	1,9±0,01	0,87±0,01	0,72±0,02	148,1±2	ND	ND

Analiz sonuçlarının literatür verileri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Özellikle toksik özellik gösteren cıva ve kurşun elementinin lod sınırının altında kaldığından belirlenememesi önemlidir. En yüksek derişim gösteren elementlerin mineraller (Na, Mg, Al, K, Ca) olduğu görülmüştür. Buda mineral değerinden zengin bir bitki olduğunu ortaya çıkarmıştır. Diğer zararlı etki gösterebilen As, Cd, Co, Cu, Ni elementlerinin ise konsantrasyonlarının düşük olması önemlidir. Böylece lokal endemik bir tür olan *Campanula baskilensis'*in ICP-MS ile mineral ve metal konsantrasyonları kalitatif ve kantitatif olarak ilk kez analiz edilip ilk olarak literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca daha geniş elementleri içeren farklı çalışmalarda yapılabilir. Çevre için kirlilik oluşturan ve zararlı etkileri ile biyolojik sistemlere hasar veren yüksek konsantrasyonlu ağır metaller Dünya Sağlık Örgütünün belirlediği

limitlerde bulunmuştur. Bu nedenle bitki türünün çevre kirliliğinden etkilenmediği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Abbaspour N, Hurrell R, Kelishadi R (2014) Review on iron and its importance for human health. Journal of Research in Medical Sciences : The Official Journal of Isfahan University of Medical Sciences 19: (2)164.

Achmad RT, Budiawan, Auerkari EI (2017) Effects of chromium on human body. Annual Research and Review in Biology 13: (2)1–8.

Al Alawi AM, Majoni SW, Falhammar H (2018) Magnesium and Human Health: Perspectives and Research Directions. International Journal of Endocrinology 2018: .

Aral H, Vecchio-Sadus A (2011) Lithium: Environmental Pollution and Health Effects. Encyclopedia of Environmental Health 499–508.

Araya M, Olivares M, Pizarro F (2007) Copper in human health. International Journal of Environment and Health 1: (4)608–620.

Behçet L, İlçim A (2018) Campanula baskilensis sp. nov. (Campanulaceae), a new chasmophyte from Turkey with unusual capsule dehiscence. Nordic Journal of Botany 36: (10)e01940.

Bengü, A. Ş., & Kutlu, M. A. (2020). Bingöl'den temin edilen ballarda ıcp-ms ile bazı temel ve toksik elementlerin analizi. Uludağ Arıcılık Dergisi (1): 1–12.

Chasapis CT, Ntoupa PSA, Spiliopoulou CA, Stefanidou ME (2020) Recent aspects of the effects of zinc on human health. Archives of Toxicology 94: (5)1443–1460.

Debnath B, Singh W, Manna K (2019) Sources and toxicological

effects of lead on human health. Indian Journal of Medical Specialities 10: (2)66.

İzol, E; Kaya, E; Karahan, D (2021) Investigation of some metals in honey samples produced in different regions of Bingöl Province by ICP-MS, Mellifera, 21(1):1-17.

Fekete V, Vandevijvere S, Bolle F, Van Loco J (2013) Estimation of dietary aluminum exposure of the Belgian adult population: Evaluation of contribution of food and kitchenware. Food and Chemical Toxicology 55: 602–608.

Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A (2020) Nickel: Human health and environmental toxicology. International Journal of Environmental Research and Public Health 17: (3).

Gitlin M (2016) Lithium side effects and toxicity: prevalence and management strategies. International Journal of Bipolar Disorders 4: (1).

He FJ, MacGregor GA (2008) Beneficial effects of potassium on human health. Physiologia Plantarum 133: (4)725–735.

Höllriegl V, München HZ (2011) Strontium in the Environment and Possible Human Health Effects. Encyclopedia of Environmental Health 268–275.

Kapaj S, Peterson H, Liber K, Bhattacharya P (2007) Human Health Effects From Chronic Arsenic Poisoning–A Review. https://doi.org/10.1080/10934520600873571 41: (10)2399–2428.

Kravchenko J, Darrah TH, Miller RK, Lyerly HK, Vengosh A (2014) A review of the health impacts of barium from natural and anthropogenic exposure. Environmental Geochemistry and Health 36: (4)797–814.

Lansdown ABG (2006) Silver in health care: Antimicrobial effects and safety in use. Current Problems in Dermatology 33: 17–34.

Leyssens L, Vinck B, Van Der Straeten C, Wuyts F, Maes L (2017) Cobalt toxicity in humans—A review of the potential sources and systemic health effects. Toxicology 387: 43–56.

Melnikov P, Zanoni LZ (2010) Clinical effects of cesium intake. Biological Trace Element Research 135: (1–3)1–9.

Mente A, O'donnell M, Yusuf S (2021) Sodium intake and health: What should we recommend based on the current evidence? Nutrients 13: (9)3–13.

Micronutrients I of M (US) P on (2001) Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc .

Nielsen FH, Meacham SL (2011) Growing Evidence for Human Health Benefits of Boron. Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine 16: (3)169–180.

Park JD, Zheng W (2012) Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. Journal of Preventive Medicine and Public Health 45: (6)344–352.

Pravina P, Sayaji D, Avinash M (2013) Calcium and its role in human body. International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences 4: (2)659–668.

Schwarz G, Belaidi AA (2013) Molybdenum in Human Health and Disease. Metal Ions in Life Sciences 13: 415–450.

Vikipedi [Internet]. Available from: https://tr.wikipedia.org/wiki /Çan_çiçeğigiller

Vinceti M, Wei ET, Malagoli C, Bergomi M, Vivoli G (2001) Adverse health effects of selenium in humans. Reviews on environmental health 16: (4)233–251.

Whelton PK, He J (2014) Health effects of sodium and potassium in humans. Current Opinion in Lipidology 25: (1)75–79.

İKSAD
Publishing House

ISBN: 978-625-8405-32-3