



Topraktaki Ağır Metallerin Güncel Analiz Yöntemleri

Ebubekir İzol^{1*} Orhan İnik²

^{1*} Bingöl University, Bee and Natural Products R&D and P&D Application and Research Center, Bingol, Turkey, (ORCID: 0000-0003-0788-4999), eizol@bingol.edu.tr

² Bingöl University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Bingöl, Turkey, (ORCID: 0000-0003-1473-1392), oinik@bingol.edu.tr

(1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences ICEANS 2022, May 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1111496)

ATIF/REFERENCE: İzol, E. & İnik, O. (2022). Topraktaki Ağır Metallerin Güncel Analiz Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 116-120.

Öz

Toprak sahip olduğu özelliklerinden dolayı ekosistemin en önemli parçasıdır. Toprağın sağlığının yitirmesi demek tüm ekosistemin sağlığının yitirmesi demektir. Ağır metaller toprak sağlığını tehdit eden en önemli faktördür. Doğal ve yapay (Sanayi atıkları ve endüstri, kirliliği, trafiki, kentleşme, kimyasal gübreler ve ilaçlar, kontrolsüz tarım faaliyetleri gibi) nedenlerden dolayı toprakta ağır metal kirliliği oluşması özellikle canlı organizmalarda bıraktıkları kalıcı zararlar açısından bir tehdit oluşturmaktadır. Bu zararlar ağır metallerin toprak yoluyla bitkisel ve hayvansal besinlere ve oradan da insanlara ulaşması ve birikimi ile olmaktadır. Bu nedenle toprağın muhtevastındaki ağır metallerin konsantrasyonlarının belirlenmesi ve düzenli periyotlarla takip edilmesi hem bitki hem de çevre sağlığı açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada toprakta güncel ağır metal analizi teknikleri derlenmiştir.

Toprakta ağır metal konsantrasyonlarının belirlenmesi farklı teknikler ile gerçekleştirilmektedir. Bu tekniklerin başında 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) gelmektedir. Analiz yöntemleri gelişen teknoloji ile hızla artmakta ve güvenilirliği, hassasiyeti, tekrarlana bilirliği ve doğrululuğu yüksek olan yöntemler öne çıkmaktadır. Bu tekniklerin avantaj ve dezavantajlarının bilinmesi toprakta ağır metal analizleri öncesinde araştırma alanları ve konularına göre yönlendirici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, toprak, mineral, ICP, AAS

Current Analysis Methods of Heavy Metals in Soil

Abstract

Soil is the most important part of the ecosystem due to its properties. The loss of the health of the soil means the loss of the health of the entire ecosystem. Heavy metals are the most important factor threatening soil health. Heavy metal pollution in the soil due to natural and artificial (industrial wastes and industry, polluted air, traffic, urbanization, chemical fertilizers and pesticides, uncontrolled agricultural activities) poses a threat especially in terms of permanent damage to living organisms. These damages occur when heavy metals reach and accumulate through the soil to plant and animal foods and from there to humans. For this reason, it is very important to determine the concentrations of heavy metals in the soil and to monitor them regularly, both in terms of plant and environmental health. For this reason, current heavy metal analysis techniques in soil were compiled in this study.

Determination of heavy metal concentrations in soil is carried out by different techniques. At the beginning of these techniques are Atomic Absorption Spectrometer (AAS), Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer (ICP-OES), Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES), Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS). Analysis methods are increasing rapidly with the developing technology and methods with high reliability, sensitivity, reproducibility and accuracy come to the fore. Knowing the advantages and disadvantages of these techniques will guide the research areas and subjects before heavy metal analysis in the soil.

Keywords: Heavy metal, soil, mineral, ICP, AAS

1. Giriş

Ekosistemin en önemli parçası topraktır. Toprak sahip olduğu özellikleri nedeniyle mekânsal olarak değişkenlik gösterir. Bu özelliklerinden en önemli olanlarından biri doğada kirleticiler için filtre görevi üstlenmesidir. Bu nedenle korunamaması ve doğru yönetilememesi, sağlığının ve dolayısıyla tüm ekosistemin sağlığının bozulmasına neden olabilir (Bezdicsek, Papendick, & Lal, 1997; KARA & Ertan, 2018). Toprağın tamponlama özelliği sayesinde su ve hava ekosisteminin aksine doğada kirleticilerin neden olduğu kirliliğin ortaya çıkmasını önleyen bir filtrasyon görevi vardır (Başkaya, 2003; Göçmez, 2006). Ancak yanlış toprak yönetimleri, dışardan ilave edilen maddeler, fazla üretim sağlamak için yanlış tarımsal uygulamalarla toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin yanın da verimlilik özelliklerini de gün geçtikçe kaybetmektedir. Özellikle son yıllarda tüm dünyada dikkat çeken bir konu olan topraklarda bulunan ağır metal kirliliği bu etkide büyük bir paya sahiptirler (Z. Özbek, 2010).

Ağır metaller, toprakların oluşumu sırasında doğal bir şekilde kirliliğe neden olabilirler. Ancak günümüzde insanların çeşitli nedenlerle toprağa ilave ettikleri maddelerin yapısında bulunan ağır metaller, toprakta metal kirliliğin başlıca sebepleridir (Çepel, 1997; H. Özbek, Kaya, Gök, & Kaptan, 1993; Tok, 1997). İnsan aktivitelerinin bir sonucu ya da toprağın jeolojik sürecine bağlı olarak topraktaki ağır metal konsantrasyonları 1 mg/kg'dan 100.000 mg/kg'a kadar değişen oranlarda olabilir (Blaylock, 2000; Melih, TOZLU, metin KUMLAY, & PEHLUVAN, 2009). Özellikle Sanayi devri ile birlikte tarım arazilerine kimyasal girdilerin artmasıyla bu değişim artmıştır. Bu artış bazı ağır metallerin (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn vb.) toprakta fazla konsantrasyonları doğal su ve karasal ekosistemlerinin bozulmasına neden olur (Gardea-Torresdey et al., 1996; Meagher, 2000).

Topraktaki bu kirlilik dünya üzerinde pek çok yerde canlıları olumsuz etkiler. Özellikle bitkiler bu kirliliğe direk maruz kalan canlı sınıftadırlar (Cunningham, Shann, Crowley, & Anderson, 1997; Meagher, 2000; Raskin & Ensley, 2000). Bitkiler için uygun konsantrasyondaki ağır metallerin bazıları önemli mikro-elementlerdir. Ancak bu metallerin yüksek konsantrasyonları bitki büyümesini engeller ve metabolik düzensizliğe neden olurlar (Carlson et al., 1991; Fernandes & Henriques, 1991). Örneğin bakır (Cu) toprakta iyon formunda iken bitkiler tarafından bünyesine alınır. Ancak tarımsal ürünlerde kullandığımız pestisitler Cu'nun kaynağıdır. Toprakta bulunan Cu bazı bileşiklerle (PO₄, CO₃-2 vb.) etkililiğe girerek bitkiler tarafından alınmaz hale gelmektedir. Buna ilaveten toprakta Cu kirliliği içme sularına bulaştığında sudaki organizmalarda ve insanlarda zehir etkisi oluşturabilmektedir (KARA & Ertan, 2018; Wang, Qiao, Liu, & Zhu, 2012).

Bir başka ağır metal olan nikelin (Ni) topraktaki kaynağı volkanik kökenli kayaların yapısındaki mineraller ve tarımsal amaçlı kullanılan fosforlu kimyasal gübrelerdir (Brohi, Aydeniz, Karaman, & 1995.). Kara ve ark. (2004) Niğde ilinde patates üretimi yapılan topraklarda yaptıkları bir araştırmada kimyasal gübrelerin kullanımı fazla olan alanlarda Ni değerlerin sınır değerlerinin fazla olduğu ve buna bu bağlı olarak asitleşmenin arttığını görmüşlerdir (Kara, Pirlak, & Özdilek, 2004).

Toprakta ki ağır metal kirliliği gün geçtikçe artmakta ve buna bağlı olarak çevre kirliliğinin yanında artık insan sağlığı içinde

ciddi bir tehdit olmaktadır. Çünkü toprakta biriken ağır metaller bitkiye, bitkiden hayvana, hayvandan insana doğru ilerleyen besin zinciri vasıtasıyla insan sağlığını etkilemektedir (Koch & Grupe, 1993; Zheng et al., 2012). Örneğin insanda Çinko (Zn); insanda öksürme ve üşüme, kadmium (Cd); kimyasal zattüre ve akciğer ödemi, Ni; nefes darlığı ve nefes alıştırma güçlüğüne neden olduğu tespit edilmiştir (Kent, 1998).

Ağır metal kirliliği artık doğadaki ekolojik sistemde büyük bir sorun haline gelmiştir. Besin zinciri yolu ile çok ciddi sağlık sorunlarına neden olarak insana ulaşmaktadır. Bu zincirin en önemli kaynağı olan toprak, gün geçtikçe ağır metal kirliliğine maruz kalmaktadır. Bu kirliliğin önüne geçmek için toprakta ağır metal varlığının erken belirlenmesi ve önlem alınması çok önemlidir.

Bu çalışmada toprakta ağır metallerin belirlenmesi ve tespit edilmesinde güncel kalitatif ve kantitatif analiz yöntemlerine değinilmiştir.

1.1. Ağır Metaller

Ağır metaller genel olarak yoğunluğu 5 g/cm³'den daha büyük olan metallere denilmektedir. Bu tanımlamada birçok sayıda metal yer alırken başlıca ise civa (Hg), kurşun (Pb), kadmium (Cd), bakır (Cu), krom (Cr), çinko (Zn), demir (Fe), nikel (Ni), alüminyum (Al) elementleri öne çıkmaktadır (Seven, Büşra, Darende, & Sevda, 2018). Ağır metallerin toprakta ve gıdalarda literatürde belirtilen alt ve üst limitler bulunmaktadır. Bu belirtilen konsantrasyonlar sağlık açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle ağır metal limitlerinin belirlenmesi çok önemlidir.

Spektroskopik analiz yöntemleri içinde başlıca AAS gelmektedir. Buna gelişen teknoloji ile ICP teknikleri eşlik etmiştir. ICP teknikleri de kendi içinde farklı cihazlar ile birleştirilerek ICP-OES, ICP-AES ve ICP-MS sistemleri oluşturulmuştur. Bu sistemlerden en gelişmiş olan ise ICP-MS teknolojisi kabul edilmektedir. Bu metodlar arasındaki farklılıklar yapılacak çalışmalara rehberlik yapmakta ve doğru yöntemin seçilmesini sağlamaktadır (İzol & İzol, 2022). Bir numunenin analizi yapılırken; metodun tekrarlanabilirliği, metodun duyarlılığı, doğruluğu ve seçiciliği, ara basamak içerip içermemesi, analizinin maliyeti ve süresi, örnek ve sarf miktarı, metotta yer alan elementlerin girişim yapıp yapmadığı, aynı anda çoklu analiz gerçekleştirilebilmesi, izotop analizi yapabilme, konsantrasyon limitleri ve numune çözme yöntemi gibi özelliklere dikkat edilmektedir (Ferrarello, Fernández de la Campa, & Sanz-Medel, 2002; İzol & İzol, 2022; Olesik, 2003).

1.2. Toprak İle Başlıca Ağır Metal Analiz Yöntemleri

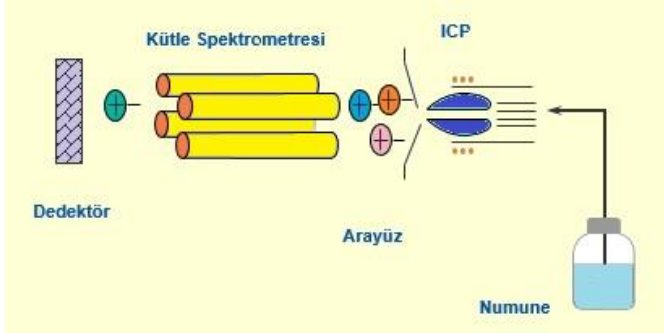
AAS: Prensipte olarak elementleri yüksek sıcaklıkta gaz fazına dönüştürerek elektromanyetik ışınları absorblama temeline göre çalışmaktadır. Numunelerin genellikle mg/kg ve düşük limitlere inmesi bile µg/kg konsantrasyonlarında kantitatif analizleri yapılmaktadır. Oyuk katot lambaları bulunmakta ve zamanla değişmesi gerekmektedir. Numune farklı çözücüler ile yakılarak seyreltilip cihaza hazır hale getirilmektedir. Önceliğinde ise standartların cihaza belli kalibrasyonlarda okutulması ve kalibrasyon eğrisi çizildikten sonra numune analizi gerçekleştirilmektedir. ICP tekniklerine göre hassasiyeti daha düşüktür ve eski teknoloji olarak görülmektedir fakat mg/kg düzeyinde hala birçok toprak analizlerinde kullanılmaktadır. Işık kaynağı, atomlaştırıcı, monokromatör ve dedektör kısımlarından

oluşmakta ve farklı element girişimleri görülmektedir (Sanz-Medel, Gomis, Fuente, & Jimeno, 1984).

ICP-OES: Prensip olarak atomları yüksek sıcaklıkta uyarıp elektronların seviyesini atlattıktan sonra elektronların tekrar kendi enerji düzeylerine geçtiklerinde yaydıkları ışınların saptanması temeline göre çalışmaktadır. Metal elementlerinin enerji sevipleri şiddeti ile emisyon yaptıkları dalga boylarının şiddeti belirlenerek kantitatif ve kalitatif analizler yapabilmektedir (İzol & İzol, 2022).

ICP-AES: ICP teknolojisi ile atomik emisyon spektrometresinin kombinasyonundan oluşmaktadır. Prensip olarak numuneyi plazmaya püskürtürerek iyonlaştırmakta ve oluşan iyonların emisyonlarının ölçülmesi temeline işlem yapmaktadır. Nicel ve nitel analizler yapabilmekte ve µg/kg limitlerine kadar ölçüm gerçekleştirmektedir (Thompson & Walsh, 1984).

ICP-MS: ICP, 7000 K (Kelvin) sıcaklığına kadar yüksek sıcaklıkta plazma yardımı ile numunelerin iyonlarına ayrışmasını sağlarken MS ise iyonların kütlelerini kullanarak atomların ayrışmasını gerçekleştirerek kalitatif ve kantitatif ölçümleri yapmaktadır (Ebubekir, Enes, & Davut, 2021). Bu tekniğin üstünlükleri; izotop analizleri, spektral kolaylık, çok düşük belirleme limitleri (ppb, ppt gibi), aynı anda birden çok elementli kantitatif analiz yapabilmeye, geniş dinamik limit aralığı ve girişimleri engellemedir. Çalışma prensibi Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. ICP-MS Prensibi (İzol & İzol, 2022).

Bu tekniklerin tümünde numuneler belirli çözücüler (nitrik asit, hidrojen peroksit, hidroklorik asit vb.) ile mikrodalga fırınlarda yakılarak çözünürleştirilmektedir. Sonra kalibrasyon bilgilerine göre konsantrasyonları seyreltme işlemleri yapılarak ayarlanmakta ve numuneler cihaza hazır hale getirilmektedir.

1.3. Toprak İle Yapılan Bazı Ağır Metal Çalışmalar

Hatay ilinde yapılan çalışmada, toprak ve bitkilerdeki ağır metallerin kara yolu ile ilişkisini ortaya koymak için 8 farklı noktadan numuneler alınmış ve ICP-OES ile analizler gerçekleştirilmiştir. Toprak numunelerindeki ağır metaller DTPA (dietilen triamin pentaasetik asit) ile çözünmüştür. Toprak numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Toprak numunelerindeki ağır metal konsantrasyonları

Table 1. Heavy metal concentrations in soil samples

Ağır Metal	Konsantrasyon (mg/kg)
Pb	0,130-0,780
Cd	0-0,265
Ni	0,370-3,97
Cr	0-0,120
Co	0-1,83
Al	0-0,700
Fe	1,45-22,8
Cu	0,385-5,43
Mn	1,96-27
Zn	0-4,26

Çalışma sonucunda toprak numunelerinde Dünya ve Türkiye'de kabul edilebilir derişim limitlerini aşmadığı belirlenmiştir. Ek olarak karayolundan uzaklaştıkça ağır metal derişimlerinin düştüğü görülmüştür (Özkan, 2017).

Tekirdağ ilinde yapılan çalışmada sanayinin yoğun olduğu 7 farklı bölgeden toprak örnekleri FAAS (Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi) ile Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Co, Mn, Cr ve Cu elementlerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Bir bölgede Ni, Cd, Cr, Zn metallerinin limitleri Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde belirtilen seviyeleri aştığı belirlenmiştir (DÖKMECİ, Çelik, KAYKIOĞLU, & Öngen, 2017).

Adana ilinde ise 52 farklı bölgeden toprak numunesinin AAS ile Hg, Pb, Cd, Al, Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, As, Cr ve Co ağır metallerinin konsantrasyonları belirlenmiştir. Sonuçlar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Toprak Kirliliği yönetmeliği limitleri ile kıyaslanmış ve Fe, Mn ve Pb metalleri limitlerin altında, Cu, Hg, Co ve Cd elementlerinde ise birkaç numunenin referans limitlerinin üzerinde çıktığı bulunmuştur (AKYILDIZ & KARATAŞ, 2018).

Çin'de yapılan çalışmada evlerdeki ağır metal konsantrasyonlarını belirlemek için farklı evlerden toz numuneleri ve yakın çevrelerinden toprak numuneleri alınmış ve analizleri yapılmıştır. Evlerde Mn, V, Co ve Cr derişimleri topraktakilerine yakın bulunmuştur. Belirlenen düzeylerin insan sağlığına olumsuz etki etmeyeceği ifade edilmiştir (Wan, Han, Liu, & Yang, 2016).

Gümüşhane ilinde antimonit cevherleşme alanında yapılan çalışmada belirli bölgelerden alınan toprak numunelerinin ağır metal analizleri ICP-MS ve ICP-AES ile yapılmıştır. Ortalama olarak Cu 81.01, Pb 25.46, Zn 75.93, Co 28.18, Cd 0.18, Sb 4.41 (mg/kg) olarak bulunmuştur (Gardea-Torresdey et al., 1996; VURAL & ÇİÇEK, 2020).

Bayburt ilinde yapılan çalışmada 10 farklı bölgeden toprak örneği alınmış ve ICP-MS ile Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cd ve Mg ağır metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Tüm numuneler içinde en yüksek konsantrasyon Mg metalinde tespit edilmiştir. Derişimlerin sıralaması ise Mg > Fe > Mn > Ni > Cr > Pb > Cu > Co > Zn > Cd şeklinde bulunmuştur. Bazı bölgelerde sınır limitlerinin üzerinde limitler tespit edilmiştir (Sinan, Volkan, & CENGİZ, 2021).

2. Sonuçlar

Toprak yenilenemeyen ve alternatifi olmayan tek kaynaktır. Ekosistemin en önemli parçası olmasından dolayı korunması ve doğru yönetilmesi çok önem arz etmektedir. Toprak sağlığının bozulması, bitkisel ve hayvansal üretimin yanında ekosistemdeki tüm canlıların varlığı risk altında olması demektir. Gün geçtikçe artan sanayileşme beraberinde endüstriyel atıklar, motorlu taşıtların artmasıyla çevreye salınan egzoz gazları, tarımda kullanılan kimyasal girdilerle tarımsal alanlarda ve çevrede ağır metal birikmesine neden olmaktadır. Bu birikim ağır metal kirliliğini oluşturmaktadır.

Bunun önüne geçmek için bazı ülkeler çok duyarlı davranışlar sergileyerek sert uygulanan yasalarla toprak ve su kaynaklarını ağır metal kirliliğine karşı koruma altına almışlar. Ülkemizde de kurşun içerikli benzin üretimine son verilmesi bu kirliliğin önüne geçmektedir. Ancak özellikle sanayi devrimi ile birlikte birim alanında fazla üretim yapmak için topraklara çok ciddi maddelerde kimyasal girdi olduğundan tarımsal alanlarda ağır metal kirliliği artmıştır. Özellikle ülkemizde yanlış tarım uygulamalarından dolayı binlerce hektar topraklarımız verimsiz hale gelmiştir. Bunun önüne geçmek için topraktaki ağır metal varlığının bilinmesi büyük önem taşır.

Günümüzde ağır metal analizlerin düzenli ve belirli periyotlarla yapılması çok önemlidir. Bu nedenle kirliliğin önüne geçmek için günümüzün teknolojik imkanlarından faydalanarak toprakta ağır metal tespitleri hızlı bir şekilde yapılabilir. Özellikle ICP-MS cihazıyla ağır metallerin belirlenmesi etkili ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Toprakta ağır metal varlığının bilinmesi; pH düzenlemelerini, organik madde ve gübre kullanımını, doğru bitki yetiştirilmesini, fiziksel stabilizasyon, güçlü asitle yıkama, kireçleme, fosforlu gübre uygulaması, fitoremediasyon teknikleri gibi uygulamalarla ağır metal kirliliği minimize edilebilir.

Kaynakça

AKYILDIZ, M., & KARATAŞ, B. (2018). Adana şehir merkezindeki topraklarda ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 199-214.

Başkaya, H. S. (2003). Metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde uygulanan teknolojiler.

Bezdicak, D. F., Papendick, R. I., & Lal, R. (1997). Introduction: Importance of soil quality to health and sustainable land management. *Methods for assessing soil quality*, 49, 1-8.

Blaylock, M. J. (2000). Phytoextraction of metals. *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*, 53-70.

Brohi, A., Aydeniz, A., Karaman, M., & (1995.). *Toprak Verimliliği*. Tokat: T. G.O.P.Üniv.,Zir.Fak.Yay.

Carlson, C. L., Adriano, D. C., Sajwan, K. S., Abels, S. L., Thoma, D. P., & Driver, J. T. (1991). Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species. *Water, Air, and Soil Pollution*, 59(3), 231-240.

Cunningham, S. D., Shann, J., Crowley, D. E., & Anderson, T. A. (1997). *Phytoremediation of contaminated water and soil*: ACS Publications.

Çepel, N. (1997). *Toprak kirliliği erozyon ve çevreye verdiği zararlar*: TEMA.

DÖKMECİ, A. H., Çelik, S. Ö., KAYKIOĞLU, G., & Öngen, A. (2017). Tekirdağ'da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki

toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 256-263.

Ebubekir, İ., Enes, K., & KARAHAN, D. (2021). Investigation of some metals in honey samples produced in Different Regions of Turkey's Bingöl province by ICP-MS. *Mellifera*, 21(1), 1-17.

Fernandes, J., & Henriques, F. (1991). Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The botanical review*, 57(3), 246-273.

Ferrarello, C., Fernández de la Campa, M., & Sanz-Medel, A. (2002). Multielement trace-element speciation in metal-biomolecules by chromatography coupled with ICP-MS. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 373(6), 412-421.

Gardea-Torresdey, J., Polette, L., Arteaga, S., Tiemann, K., Bibb, J., & Gonzalez, J. (1996). *Determination of the content of hazardous heavy metals on Larrea tridentata grown around a contaminated area*. Paper presented at the Proceedings of the Eleventh Conf. on Hazardous Waste Research,(HSRC/WERC Joint Conference on the Environment), Edited by LR Erickson, DL Tillison, SC Grant, and JP McDonald, Albuquerque, NM.

Göçmez, S. (2006). Menemen ovası topraklarında İZSU kentsel arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Ana Bilim Dalı*, 224.

İzol, E., & İzol, İ. (2022). Arı Ürünlerinin Spektroskopik Yöntemlerle Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi ve Çevreye Etkileri." In Tarımsal Üretimde. In K. KÖKTEN & H. Ş. İNCİ (Eds.), *TARIMSAL ÜRETİMDE, TARIMSAL KİRLİLİĞİN AYAK İZİ* (Vol. bölüm 10). Ankara iksadyayinevi.

KARA, E. E., & Ertan, K. (2018). Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 56-62.

Kara, E. E., Pirlak, U., & Özdilek, H. G. (2004). Evaluation of Heavy Metals'(Cd, Cu, Ni, Ph, and Zn) Distribution in Sowing Regions of Potato Fields in the Province of Niğde, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 153(1), 173-186.

Kent, C. (1998). *Basics of toxicology* (Vol. 3): John Wiley & Sons.

Koch, D., & Grupe, M. (1993). Mobility of Heavy Metals of Geogenic/Antropogenic Origin. *Mitteilungen-derDeutschen-Bodenkundlichen-Gesellschaft*.

Meagher, R. B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current opinion in plant biology*, 3(2), 153-162.

Melih, O., TOZLU, E., metin KUMLAY, A., & PEHLUVAN, M. (2009). Ağır metallerin bitkiler üzerine etkileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 17(2), 14-26.

Olesik, J. (2003). meeting of the Federation of Analytical Chemistry and Spectroscopy Societies. *FACSS, Fort Lauderdale, FL*.

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., & Kaptan, H. (1993). *Toprak Bilimi*. P. Schachtschabel, H. P. Blume, G. Brummer, K.-H. Hartge, U. Schwertmann (Çeviri). *ÇÜ Zir. Fak. Ders Kitapları Yay*(16).

Özbek, Z. (2010). *Topraktaki ağır metaller için sınır değerlerin uygulanabilirliğinin araştırılması*. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özkan, A. (2017). Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), 9-18.

- Raskin, I., & Ensley, B. D. (2000). *Phytoremediation of toxic metals*: John Wiley.
- Sanz-Medel, A., Gomis, D. B., Fuente, E., & Jimeno, S. A. (1984). Extractive fluorimetric determination of ultratraces of lead with 18-crown-6 and eosin. *Talanta*, 31(7), 515-519.
- Seven, T., Büşra, C., Darende, B. N., & Sevda, O. (2018). Hava ve toprakta ağır metal kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 1(2), 91-103.
- Sinan, K., Volkan, G., & CENGİZ, İ. (2021). Toprak ve Bitkilerde Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması: Bayburt İli Örneği. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(2), 195-203.
- Thompson, M., & Walsh, J. N. (1984). *Handbook Of Introductively Coupled Plasma Spectroscopy* (Vol. 42-47). Chapman-Hall, New York.
- Tok, H. (1997). Çevre Kirliliği. Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Yayın No: 185, Ders Kitabı No: 20, Tekirdağ: Turkish.
- VURAL, A., & ÇİÇEK, B. (2020). Cevherleşme sahasında gelişmiş topraklardaki ağır metal kirliliği. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1533-1547.
- Wan, D., Han, Z., Liu, D., & Yang, J. (2016). Risk assessments of heavy metals in house dust from a typical industrial area in Central China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 22(2), 489-501.
- Wang, Y., Qiao, M., Liu, Y., & Zhu, Y. (2012). Health risk assessment of heavy metals in soils and vegetables from wastewater irrigated area, Beijing-Tianjin city cluster, China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 690-698.
- Zheng, X., Pang, L., Wu, J., Pei, L., Tan, L., Yang, C., & Song, X. (2012). Contents of heavy metals in arable soils and birth defect risks in Shanxi, China: a small area level geographic study. *Population and Environment*, 33(2), 259-268.