

BÖLÜM 12

TOPRAK KİRLİLİĞİ

Sevinç YEŞİLYURT¹

Toprak, canlıların yaşaması ve beslenmesi için temel bir ortamdır. Kirlenen bir toprak, bitki gelişimini olumsuz etkileyerek tarımsal verimi düşürür ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olur. Kirleticiler, toprakta bulunan mikroorganizmaların doğal dengesini, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik özelliklerini bozmakta ve verimliliğini azaltmaktadır. İnsan sağlığı açısından da toprak kirliliği ciddi riskler taşımaktadır. Kirli topraklardan elde edilen gıdalar, kimyasal maddeleri insan vücuduna taşımaktadır. Bu durum da çeşitli sağlık sorunlarına (kanser, nörolojik bozukluklar, cilt hastalıkları vb.) neden olabilmektedir. Ayrıca, kirli topraklar, gıda zincirine geçerek insan sağlığını doğrudan tehdit edebilmektedir.

Toprak kirliliği aynı zamanda yer altı su kaynaklarını da kirletmekte ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır. Bu nedenle, toprak kirliliğiyle mücadele, çevre koruma, sürdürülebilir tarım ve geri dönüşüm gibi önlemlerle hayati bir öneme sahiptir. Toprak kirliliği, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli bir tehdit oluşturan, giderek daha fazla dikkat çeken bir sorun olmaktadır. İnsan faaliyetlerinin sonucunda, topraklarda biriken kirleticiler; doğal kaynakların tükenmesine, ekosistemlerin bozulmasına ve insan sağlığının olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Toprakta biriken kirleticilerin arasında tarımda kullanılan kimyasal gübreler ve pestisitler, trafik veya sanayi kaynaklı atıklar, atık su ve her türlü

¹ Prof. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, sevincyesilyurt1@gmail.com, ORCID iD: 0000-0002-0062-0491
DOI: xxxx

olmalı; bireyler, toplumlar ve uluslararası kuruluşlar bu süreçte iş birliği yaparak sürdürülebilir bir gelecek için çözüm odaklı adımlar atmalıdır. Toprak kirliliği sosyal ve ekonomik yönüyle değerlendirildiğinde, tarım ürünlerinin kalitesinin düşmesi ve tarımsal verimin azalması nedeniyle ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca, kirli topraklardan kaynaklanan sağlık sorunları, toplum üzerinde ciddi mali ve sosyal yükler oluşturmaktadır. Bu nedenle, toprak kirliliği ile mücadele sosyal eşitsizliklerin azaltılmasında da önemli bir araçtır. Toprak kirliliğiyle etkin bir şekilde mücadele etmek arazide (tarla, bahçe vs) için düzenli izleme ve değerlendirme sistemlerine ihtiyaç vardır. Toprağın biyolojik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini analiz eden teknolojiler, kirlilik düzeylerini tespit etmek ve iyileştirme stratejilerinin etkinliğini ölçmek için kritik öneme sahiptir. Uydu görüntüleme, sensörler ve büyük veri analizleri, bu süreçleri destekleyen yenilikçi araçlar arasında sayılabilir. Genetik mühendisliği ile kirleticilere dayanıklı hiperakümülatör bitkiler ve daha etkili mikroorganizmalar geliştirilmesi, toprak kirliliğinin giderilmesinde önemli rol oynamaktadır. Nanoteknoloji, kirlilik tespiti ve temizleme süreçlerinde kullanılabilirken, yapay zeka ve otomasyon, iyileştirme süreçlerinin optimizasyonunu sağlayabilir. Toprak kirliliği sınırları aşan bir sorun olduğundan, uluslararası iş birliği gerektirir.

Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları çerçevesinde, toprak sağlığı ve kirlilik yönetimi üzerine ulusal ve uluslararası düzeyde politikalar geliştirilmelidir. Ayrıca, kirliliği önleme ve temizleme projeleri için finansal destek sağlanması, özellikle düşük gelirli ülkelerde etkili çözümler üretilmesine yardımcı olacaktır. Bu unsurlar, toprak kirliliği ile mücadelede kapsamlı bir yaklaşım geliştirilmesine ve bu sorunla daha etkili bir şekilde başa çıkılmasına imkan sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Mikhailenko AV, Ruban DA Ermolaev VA et. al. Cadmium pollution in the tourism environment: A literature review. *Geosciences*. 2020;10: 1-18.
2. Karaca A, Turgay OC. Toprak Kirliliği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*. 2012;1(1): 13 – 19.
3. Chen M, Xu P, Zeng G, Yang, C et al. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*. 2015;33: 745-755.
4. Yücel M, Ekmekçiler ÜS. Çevre dostu ürün kavramına bütünsel yaklaşım; temiz üretim sistemi, eko-etiket, yeşil pazarlama. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*. 2008;7(26): 320-333.
5. Yeşilyurt S, Adiloğlu A. Phytoremediation and Plants Used In Wastewater Pollution. Ertek A (ed.). *Tarımsal Yapılar ve Sulama*. Yaz Yayınları; 2024. p. 54-71

6. Tok HH, Adiloğlu A, Öner N, et al. (2005). Heavy Metal Concentrations in Irrigation Waters and Rice Crops in the Central Trakya Region, *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2005;6 (3): 550 – 562, Thessaloniki, Greece.
7. Özabolat, G., Tuli, A. Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*. 2016;25 (4): 502-521.
8. Adiloğlu S, Bellitürk K, Solmaz Y, et al. Effects of the Various Doses of Vermicompost Implementation on Some Heavy Metal Contents (Cr, Co, Cd, Ni, Pb) of Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Eurasian Journal of Forest Science*. 2017;5(1): 29-34.
9. Naila A, Meerdink G, Jayasena V, et al. A review on global metal accumulators mechanism, enhancement, commercial application, and research trend. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26: 26449-26471.
10. Almasi A, Dargahi A, Ahagh MMH, et al. Efficiency of a constructed wetland in controlling organic pollutants, nitrogen, and heavy metals from sewage. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 2016;9: 2924-2928.
11. Adiloğlu A, Daşdemir AE, Karaman MR, et al. Some Extractable Heavy Metal Content Along the TEM Motorway Soils in Istanbul European Part. *5th International Eurasian Congress on Natural Nutrition, Healthy Life and Sport. Natural'2019*, 2-6 October 2019, Ankara.
12. Baykanoğlu B. Kahramanmaraş il merkezi çevresindeki orman topraklarında ağır metal kirliliğinin incelenmesi. 2024. Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bartın.
13. Aslan D. Torbalı ilçesinde sanayinin yoğun olduğu bölgelerde ağır metal kirliliğinin incelenmesi ve bitkilerle biyosilahlı çalışması. 2022. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
14. Özkan, A. Antakya-Cilvegözü karayolu etrafındaki tarım arazilerinde ve bitkilerdeki ağır metal kirliliği. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 2017;32 (3): 9-18.
15. Aktaş YK, Kocabaş A. Heavy Metal Content of Roadside Soil in Edirne, Turkey. *Analytical Letters*. 2010;43(12): 1869–1878.
16. Adiloğlu A, Adiloğlu S, Bellitürk K, et al. Tekirdağ Kıyı Şeridi Topraklarında Ağır Metal Kirliliği. 1. *Kıyı Bölgelerinde Çevre Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu*, 17 – 20 Kasım 2011, Tekirdağ, s: 351 – 365,
17. Adiloğlu S. Tekirdağ ilinde otoban kenarlarında bulunan tarım arazilerinde bazı ağır metallerin kirliliğinin araştırılması. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Tekirdağ. 2013.
18. Adiloğlu S, Sağlam MT 2015. Karayolu Kenarlarındaki Tarım Arazilerindeki Topraklarda Ekstrakte Edilebilir Kobalt (Co) İçerikleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2015;15: 24-29.
19. Kiziloglu, F M, Turan M, Sahin, U, et al. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural water management*. 2008;95(6): 716-724.
20. Vareda JP, Valente AJM, Durães L. Heavy metals in Iberian soils: Removal by current adsorbents/amendments and prospective for aerogels. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2016;237: 28-42.
21. Güler Ç, Çobanoğlu Z. *Toprak Kirliliği*. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi: 40. ISBN 975-8088-42-4. Barok Ofset Ltd. Şti. 1997.
22. Zhang LL, Chen, Y, Li ZJ. et al. Bioactive properties of the aromatic molecules of spearmint (*Mentha spicata* L.) essential oil: A review. *Food and Function*. 2022;13(6): 3110–3132.
23. Yeşilyurt S, Gürgan M, Sertkahya M. 2024. Biologically Active Compounds from Medicinal and Aromatic Plants for Industrial Applications. Kumar L, Bharadvaja N, Singh R, Anand R. (eds) *Medicinal and Aromatic Plants. Sustainable Landscape Planning and Natural Resources Management*. Springer, Cham. 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60117-0_1

24. Grgan M, Yeşilyurt S, Akgl Ş. Biologically Active Compounds from Medicinal Aromatic Plants: Herbicides, Insecticides, Fungicides, and Pharmaceuticals. Kumar L, Bharadvaja N, Singh R, Anand R. (eds) *Medicinal and Aromatic Plants. Sustainable Landscape Planning and Natural Resources Management*. Springer, 2024. Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-64601-0_1
25. Lal R, Stewart BA. (Eds.). *Principles of sustainable soil management in agroecosystems*. ISBN: 978-1-4665-1347-1, CRC Press. 2013.
26. Gupta A, Rico-Medina A, Caño-Delgado AI.. The physiology of plant responses to drought. *Science*. 2020;368(6488): 266-269.
27. Gltekin R, Yksel M. Irrigation and Water Management Strategies in Arid and Semi-Arid Areas. Ahmet Ertek A (ed.) *Tarımsal Yapılar ve Sulama*. E-ISBN 978-625-6171-10-7. Yaz Yayınları, 2024.
28. Tomar A, Toprak ve Su Kirliliği ve Su Havzalarının Korunması. 1. *İzmir Kent Sempozyumu Bildirileri*, 2014. İzmir, s. 333-345.
29. Gürgan M, Adiloğlu S. Brassica napus: Bioremediation. Karoline M (ed.) *Brassica napus: Cultivation and Uses*. ISBN:978-1-53618-191-3. Nova Science Publishers, Inc. 2020 p. 134.
30. Arslan S, Çiçekgil Z. Türkiye’de Tarım İlacı Kullanım Durumu ve Kullanım Öngörüsü. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*. 2018;4(1): 1-12.
31. Tiryaki O, Canhilal R, Horuz S. Tarım ilaçları kullanımı ve riskleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*. 2010;26(2): 154-169.
32. Gürgan M, Yeşilyurt S. 2023. The Microbiological Evaluation of Agricultural Lands. Sousa RN, Pessoa TN, Mendes KE, (eds.) *Agricultural Soils Agronomic Management*. . ISBN:979-8-89113-000-5. Nova Science Publishers, Inc.. 2023. p. 228
33. Önal S, Gktaş B. Erzurum İlindeki Tketicilerin Organik Tarım rnlerine Ynelik Davranışları. *The Journal of International Scientific Researches*. 2024;9(2): 118-138.
34. Powlson DS, Gregory PJ, Whalley WR. et al. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. 2011;36(1): 72-87.
35. Smith HT, Shappirio M., Sittler EC, et al. Discovery of nitrogen in Saturn’s inner magnetosphere, 2005, *Geophys. Res. Lett.*, 32(14): 1-4. doi:10.1029/2005GL022654.
36. Teng KL, Lin XY, Liu SH, et al. Nitrogen, sulfur coordinated metal complex and reduced graphene oxide hybrid materials as counter electrodes for application in dye-sensitized solar cells, *Organic Electronics*, 2024; 125:106977.
37. Carpenter SR, Bolgrien D, Lathrop RC, et al. Ecological and economic analysis of lake eutrophication by nonpoint pollution. *Australian Journal of Ecology*, 1998; 23: 68-79.
38. Sharpley AN. Chapra SC, Wedepohl R, et al. Managing Agricultural Phosphorus for Protection of Surface Waters: Issues and Options. *Journal of Environmental Quality*. 1994;23: 437-451.
39. Karaman MR, Adiloğlu A, Brohi AR, et al. *Bitki Besleme*. Dumat Offset. Ankara, 212.
40. Horuz A, Korkmaz A, Karaman MR, et al. The evaluation of leaf nutrient contents and element ratios of different raspberry varieties. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 2013; 11 (1): 588-593.
41. Kkaya S, zelik A. Tarımda toprak analizi ve analiz desteğinin işletme üzerine etkileri. *Ziraat Mühendisliği Dergisi*, 2016; 363: 23-30.
42. Gürgan M, Adiloğlu S. Increasing concentrations of iron fertilizer affect antibacterial activity of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Industrial Crops and Products*. 2012;170: 113768
43. Kadioğlu B. Toprak kirliliği ile kimyasal gübre kullanımı arasındaki olası bağıntıların incelenmesi. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*. 2012;1(2): 26-38.
44. Adiloglu A, Adiloglu S. Fertilizer consumption in Turkey between 1960 and 2002. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2005;11(3): 317-325.
45. Yılmaz H, Demircan V, Gül M. Üreticilerin Kimyasal Gübre Kullanımında Bilgi Kaynaklarının Belirlenmesi ve Tarımsal Yayım Açıısından Değerlendirilmesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2009;4(1): 31-44.

46. Sökmen Ö, Özden N, Göçmez S, et al. Manisa İli Demirci ve Selendi İlçeleri Tarım Topraklarının Verimlilik Durumlarının Belirlenmesi ve Haritalanması. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*.2024;21 (2): 517-532.
47. Kılıç B, Sönmez İ. Farklı organik gübre ve dozlarının toprak özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi. *Mediterranean Agricultural Sciences*. 2019;32: 91-96.
48. Akpınar Ç. *Organik Gübreler: Sürdürülebilirliğin Temeli*. ISBN: 978-625-375-017-6. Akademisyen Kitabevi. 2024.
49. Yeşilyurt S, Sertkahya M. Solucan Gübresi. Akpınar Ç (ed.) *Organik Gübreler: Sürdürülebilirliğin Temeli*. ISBN: 978-625-375-017-6. Akademisyen Kitabevi. 2024.
50. Akay A. Yeşil Gübre. Akpınar Ç (ed.) *Organik Gübreler: Sürdürülebilirliğin Temeli*. ISBN: 978-625-375-017-6. Akademisyen Kitabevi. 2024.
51. Bationo A, Kihara J, Vanlauwe B, et al. Integrated nutrient management: concepts and experience from Sub-Saharan Africa. Academy of Science Publishers, Nairobi, Kenya. 2008. pp 204.
52. Alley MM, Vanlauwe B. *The role of fertilizers in integrated plant nutrient management*. International fertilizer industry Association. First edition, IFA, Paris, France, TSBF-CIAT, Nairobi, Kenya. ISBN 978-2-9523139-4-0. 2009.
53. Selim MM. 2. Introduction to the integrated nutrient management strategies and their contribution to yield and soil properties. *International Journal of Agronomy*. 2020;(1): 2821678.
54. Schwalfenberg G, Rodushkin I, Genuis SJ. Heavy metal contamination of prenatal vitamins, *Toxicology Reports*. 2018;5: 390-395.
55. Adiloğlu S, Adiloğlu A, Acikgoz FE, et al. Phytoremediation of Cadmium (Cd) from Agricultural Soils Using Dock (*Rumex patientia* L.) *Plant. Analytical Letters*. 2016;49: (4): 601-606.
56. Sönmez O, Kılıç FN. Toprakta Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research (TURKAGER)*. 2021;2 (2): 493-507.
57. Bhandari A, Surampalli RY, Champagne P, et al. Remediation technologies for soils and groundwater. *Remediat. Remediation Technologies for Soils and Groundwater*, 2007; 60: 1-449.
58. Yao Z, Li J, Xie H, Yu C. Review on remediation technologies of soil contaminated by heavy metals. *Procedia Environmental Sciences*. 2012;16: 722-729.
59. Jankaite A, Vasarevičius S. Remediation technologies for soils contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2005;13: 109-113.
60. Song B, Zeng G, Gong J, et al. Evaluation methods for assessing effectiveness of in situ remediation of soil and sediment contaminated with organic pollutants and heavy metals. *Environment International*. 2017;105: 43-55.
61. Derakhshan NZ, Jung MC, Kim KH. Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018;40: 927-953
62. Esen M. Toprak yıkama yöntemiyle Cd ve Pb ile kirlenmiş tarımsal toprakların iyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Aksaray. 2019.
63. Korkanç S, Çimen Y, Aklan Ş, et al. Bazı toprak iyileştiricilerin toprakların hidro-fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkileri. *Türkiye Ormancılık Dergisi*. 2017;18(2): 125-132.
64. Blaylock MJ, Salt DE, Dushenkov S, et al. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science and Technology*. 1997;31: 860-865.
65. Sikkema J, De Bont JAM, Poolman B. Mechanisms of membrane toxicity of hydrocarbons. *Microbiological reviews*. 1995;59: 201-222.
66. Dindar E, Şen CN, Topaç ŞFO, et al. Topraklarda organik azot fraksiyonlarının belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2017;32: 767-775.
67. Vangronsveld J, Herzog R, Weyens N, et al. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: Lessons from the field. *Environmental Science and Pollution Research*. 2009;16: 765-794.

68. Kılıç FN. Toprakta ağır metal giderimine yönelik farklı biyoremediasyon yöntemlerinin kullanılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, s. 140. 2023.
69. Şen S. Ağır metal biyoremediasyonunda termofil C. Aponinumsiyano bakterisinin kullanım potansiyelinin araştırılması. 2022. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
70. Gül Ö. Endüstriyel atıkların mikroalglerle biyoremediasyonu. İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay. 2021.
71. Kaplan G. Fenol biyoremediasyonunda karışık ve saf kültürlerin kullanımı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara. 2020.
72. Kong Z, Glick BR.. The role of plant growth-promoting bacteria in metal phytoremediation. *Advances in microbial physiology*. 2017;71: 97-132.
73. Aybar M, Bilgin A, Sağlam B. Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*. 2015;1(1-2): 59-65.
74. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006;88(11): 1707-1719.
75. Baker AJM, Walker PL Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. Shaw AJ (ed.), *Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary Aspects*, CRC Press, Boca Raton; 1990. pp. 155-177.
76. Mulligan CN, Yong RN, Gibbs BF. Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*. 2001;60: 193-207.
77. Adiloğlu S. Heavy metal removal with phytoremediation. *Advances in bioremediation and phytoremediation*. 2018;115-126.
78. Adiloğlu S, Gürkan M. Brassica napus: Phytoremediation. Möller K (ed.) *Brassica napus: Cultivation and Uses*. ISBN:978-1-53618-191-3. Nova Science Publishers, Inc. Publication; 2020. p: 134.
79. Adiloğlu S, Pamay S. Phytoremediation and Hyperaccumulative Families. Flores JC (ed.) *The Future of Phytoremediation*. Nova Science Publishers, Inc. p:305. ISBN:978-1-53619-625-2. 2021.
80. Yavaş EF. Sinop'ta doğal yayılış gösteren rezene (*Foeniculum vulgare* Mill.) bitkisinin çevre kirliliği ile mücadelede fitoremediasyon potansiyelinin belirlenmesi. Sinop Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sinop, 2024.
81. Mosayyebi L. Ağır metallerle kirlenmiş topraklarda yenilikçi yöntemlerle elektro fitoremediasyonu. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2024.
82. Gedik H. Fitoremediasyon yöntemi ile bakır birikiminin giderimi: Soğan (*Allium cepa* L.) örneği. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 2022.
83. Aybar M. Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş maden yatağı ve yakın çevresindeki toprakların fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesinin araştırılması. Artvin Çoruh Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin, 2022.