



Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni

Bulletin of Veterinary Pharmacology and Toxicology Association

e-ISSN: 2667-8381

Erdem DANYER

Veteriner Kontrol Merkez Araştırma
Enstitüsü Müdürlüğü Ankara

ORCID[®]: 0000-0002-1963-8958

*Sorumlu Yazar: Erdem DANYER
E-Posta: erdemdanyer@gmail.com

Geliş Tarihi: 17.11.2023

Kabul Tarihi: 26.12.2023

14 (3): 162-171, 2023

DOI: 10.38137/vftd.1366883

BIYOREMEDIASYON UYGULAMALARININ TEK SAĞLIK YÖNÜYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET. Biyoremediasyon biyolojik dengenin bozulduğu ortamların yeniden biyoteknolojik yöntemler ile dengelenmesi olarak tanımlanabilir. Çevreci, az maliyetli, sürdürülebilir bir çevre temizlik yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Yaban hayatını barındıran tüm ekosistemler insan etkileşimi ile birçok kirleticinin etkisi altındadır. Petrol sızıntısı, tarım ilaçları ve ağır metal kirliliği, habitat bozulması gibi tehditler yaban hayatının sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve yaban hayatı ekosistemlerinin onarımı için biyoremediasyon uygulamaları ile birçok iyileştirme çalışması yapılmaktadır. Bunun yanında vektör kontrolü ile hastalıkların yayılmasının azaltılmasında da biyoremediasyon uygulamaları kullanılmaktadır. Biyoremediasyon uygulamalarının etkileri çevre, veteriner ve halk sağlığını beraber etkilediği için tek sağlık kavramı altında da değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Bu derlemede mikrobiyolojinin ve nanobiyoteknolojinin yeni bir alanı olan biyoremediasyon uygulamaları, kullanım alanları ve ekosistemleri dengeye getirme çalışmaları hakkında bilgi verilerek tek sağlık kavramı ile açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal kirliliği, biyoremediasyon, etkin mikroorganizma, petrol kirliliği, tek sağlık.

EVALUATION of BIOREMEDIATION PRACTICES in ONE-HEALTH FRAMEWORK

ABSTRACT. Bioremediation can be defined as the rebalancing of environments where biological balance is disturbed by biotechnological methods. It stands out as an environmentally friendly, low-cost, sustainable environmental cleaning method. All ecosystems homeland for wildlife are under the influence of many pollutants with human interaction. Threats such as oil spillage, pesticides, and heavy metal pollution, habitat degradation threaten the sustainability of wildlife, and many improvement studies are carried out with bioremediation practices for the restoration of wildlife ecosystems. In addition, bioremediation applications are also used to reduce the spread of diseases by vector control. Since the effects of bioremediation applications affect environmental, veterinary and public health together, it is thought that they can be evaluated under the concept of single health. In this review, information about bioremediation applications, which is a new field of microbiology and nanobiotechnology, and the cleaning and by giving information about the areas of use and efforts to bring ecosystems into balance, it will be explained together with the concept of one health.

Keywords: Active microorganism, bioremediation, heavy metal pollution, oil pollution, one health.

Makale atf

Danyer, E. (2023). Biyoremediasyon Uygulamalarının Tek Sağlık Yönüyle Değerlendirilmesi, Veteriner Farmakoloji ve Toksikoloji Derneği Bülteni, 14 (3), 162-171. DOI: 10.38137/vftd.1366883.

GİRİŞ

Biyoremediasyon kelimesi, biyo-re-mediasyon olarak kelime anlamının biyolojik yeniden uzlaşma olarak Türkçeye çevrilebilir. Diğer bir ifadeyle biyolojik olarak çevrenin yeniden dengelerinin sağlanmasıdır. Burada arabulucu rolünü bakteriler üstelenerek oluşan kirlilik doğal yollarla giderilmeye çalışılmaktadır. Kullanılan teknik, bazen yavaş kalsa da çevreci, az maliyetli, sürdürülebilir bir temizlik yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Chen ve Chen, 2001).

Genel kullanım alanlarının daha iyi anlaşılabilmesi için kimyasal kirleticiler örnek olarak ifade edilebilir. Vektör kontrolünde ve tarımda kullanılan organik fosforlu birleşikler, farklı dozlar ile kimyasal silahlarda da kullanılabilir. Tarım ürünlerinin yetiştirilmesinde kullanılan ilaçların yanlış dozlarda kullanılması ya da biyolojik silah olarak tarım ilaçlarının kullanılması sonucunda toprakta birikim olabilmekte ve ilaç kalıntıları topraktan bitkilere, bitkileri yiyen hayvanlara geçebilmektedir (Navarro ve ark., 2007). Topraktaki organik fosforlu birleşiklerin eliminasyonu için en iyi yollardan biri, birleşiklerin fosfotriesteraz enzimiyle hidrolize edilmesidir (Cardozo ve ark., 2020). *Alcaligenes* sp., *Arthrobacter* sp., *Aspergillus* sp., *Bacillus* sp., *Burkholderia* sp., *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Pseudomonas* sp., *Stenotrophomonas* sp., *Talaromyces* sp. ve *Trichoderma* sp. mikroorganizmalarının bu tür uygulamalarda kullanıldığı; *Archaea* sp., *Natrialba* sp. ve *Haloferax* sp. mikroorganizmalarının ise biyoremediasyon uygulamalarında kullanılabileceği belirtilmektedir (Kour ve ark., 2021).

Toprak, su ve hava kirliliği temel olarak ekosistemi ve besin zincirini bozarak kanserojen etkileri ile canlıları olumsuz etkilemektedir. Sanayi gelişmelerle birlikte işlenen ürünlerin değişmesi ve çeşitlenmesi, işlem sonrası atıkların ve yan ürünlerin değişmesine neden olmuştur. Antropojenik aktiviteler sonucunda birçok toksik madde toprağı, suyu ve havayı kirlilemektedir. Ağır metallerden kadmiyum (Cd), krom (Cr), cıva (Hg), kurşun (Pb), bakır (Cu) ve çinko (Zn) topraktan bitkilere geçerek besin zincirine girmektedir. Bu ağır metaller, insanlara hayvansal gıdalar yolu ile aktarılmaktadır. Aynı şekilde denizlerde de bu bulaşımı balıklar aracılığı ile olmaktadır. Bu sebeple ağır metallerin çevreci bir şekilde kontrol altına alınması

önem arz etmektedir. Ekosistemde oluşacak her türlü etki ve bu etkilerin düzeltilmesi için yapılacak her iyileştirme yaban hayatını yakından etkilediğinden, konunun birçok açıdan ele alınması gerekmektedir.

İnsan, hayvan ve çevreyi bütün olarak tek sağlık kapsamında değerlendirmek mümkündür. Günümüzde insanlar ve hayvanları ortak olarak etkileyen, yaban hayvanları ve evcil hayvanlardan insanlara geçen ve hastalık yapan etkenler tek sağlık konsepti ile incelenmektedir (Sandøe ve ark., 2014). Tek Sağlık, farklı düzeylerde insanların, hayvanların ve çevrenin sağlık ve refahını sağlamak için koordineli çalışmaları teşvik ederek, bütüncül sağlık uygulamalarını hedeflemektedir (Li ve ark., 2022). Günümüzde tek sağlık anlayışı bulaşan hastalıklardan ziyade, çevrenin, hayvanların ve insanların zarar gördüğü etkenler olarak değerlendirilmeye başlanmıştır.

Bu derlemede mikrobiyolojinin ve nanobiyoteknolojinin yeni bir alanı olan biyoremediasyon uygulamaları hakkında bilgi verilecek ve tek sağlık açısından değerlendirilecektir.

TOPRAKTA BİYOREMİDİASYON UYGULAMALARI

Toprak çok fazla antropojenik aktiviteye maruz kalmaktadır. Bazı ağır metal sanayi ürünlerinin işlenmesinden sonra meydana gelen artıklar ve bunların doğaya kontrolsüzce salınması ile oluşan bulaşmalar sonrasında biyoremediasyona ihtiyaç duyulabilmektedir.

Fitoremediasyon uygun bitkilerin kirlenmiş bölgeye ekilerek daha sonra kurutma, gazifikasyon, piroliz, asit ekstraksiyonları gibi yöntemlerle yeterli ağır metali toplayan bitkilerin bertaraf edilmesi temeline dayanır (Gökmen, 2019). Bunun yanında toprağın yıkanması, mekanik olarak ayrılması, katılaştırılması yöntemleri de ek olarak kullanılabilir. Fitoremediasyon uygulamalarına örnek olarak Cd ile kirlenmiş bir toprağın temizlenmesi gösterilebilir (Rizwan ve ark., 2018).

Doğa için çok toksik olan Cd, insan aktiviteleri sonucunda oluşan bir ağır metaldir (Rizwan ve ark., 2018). Hardal bitkisi uygun iklim ve büyüme koşullarında önemli bir miktarda Cd akümüasyonu sağlayabilir ancak, fazla miktarlarda strese girebileceği için Cd toleransı olan hardal bitkilerinin seçilmesi önerilmektedir (Rizwan ve ark., 2018). Bitkilerle yapılan biyoremediasyon uygulamalarında biyoakümüasyon, translokasyon ve temizleme kapasiteleri önemlidir (Anning ve Akoto, 2018). Örnek vermek gerekirse, bu konuda, hardal otu (*Brassica* sp.), su kamışı (*Typha latifolia*) ve güve otu (*Chrysopogon zizanioides*)

kullanılabilir (Anning ve Akoto, 2018; Rizwan ve ark., 2018). Rhizobacter ve bitki simbiosizi de topraktan Cr (VI) ve Cd (II) kirliliğinde kullanılan biyoremediasyon yöntemlerdendir (Luminit ve ark., 2017).

Bitkilerle yapılan fitomediasyon uygulamasında en önemli dezavantajı çalışmanın uzun zaman almasıdır. Bu nedenle remediasyon işlemini hızlandırmak için toprak solucanları kullanılabilir. Ağır metallerin temizlenmesi için yapılan uygulamalarda solucanlar ile topraktaki ağır metallerin bitkiye yönlendirilmesi sağlanırken, metal toksisitesine karşı dirençli olduklarından bir kısmını bünyelerinde barındırabilirler ancak günümüzde henüz pratik olarak uygulanabilir bir yöntem değildir (Kara ve ark., 2016).

Toprak solucanı kullanımına petrol yayılmaları sonucu oluşan toprak kirliliğinin giderilmesi örnek olarak gösterilebilir. Bu biyoremediasyon metodunda solucanlar floralarında bulunan mikroorganizmalar ile toprağın bakteri yükünü değiştirerek hareketleriyle toprağın havalanmasını sağlamaktadır (Martinkosky ve ark., 2017). Bir solucan türü olan *Eisenia fetida* ile yapılan çalışmada 30000 mg/kg ham petrol dökülmüş toprağın rehabilitasyonunda biyoremediasyon tekniği olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir (Martinkosky ve ark., 2017).

Mikrobiyal ortamın elektro kimyasal yöntemlerle işlenmesi de toprak kirliliğinde kullanılan başka bir biyoremediasyon uygulamasıdır. Fiziksel ve kimyasal temizleme yöntemlerine göre biyoremediasyon uygulamaları, çevre dostu ve sürdürülebilir olması en önemli özelliklerindedir. Topraktaki bakterilerin organik substratı bozmasıyla anot bölgesine elektron salınır, salınan elektronlar elektrik devresinde katoda doğru yol alır ve oksijen veya oksijenle birleşik oluşturmuş metaller tarafından alınması ile biyoremediasyon uygulaması sırasında elektrik elde edilerek, çalışılan sahada kullanılabilir (Wu ve ark., 2018).

Fitoremediasyon uygulamalarında yararlı mikroorganizmalardan oluşan etkin mikroorganizmalar (EM) da kullanılarak aynı zamanda bitki üretimine katkı sağlanmaktadır (Romeh, 2020).

SULARDA BİYOREMEDİASYON UYGULAMALARI

Dünyamızın ¾'ünü sularla kaplı olmasıyla birlikte denizlerde ve iç sularda insan tüketimi için deniz canlılarının yetiştiriciliğinin artması, suların herhangi bir şekilde kirlenmesini önlememizi zorunlu kılmaktadır. Sucul ekoloji, dünyamızdaki karbon salınımını regüle ettiği için korunması çok önemli olan bir ekosistemdir. Çevredeki ve endüstriyel atık sulardaki mevcut ağır metaller, gelişmekte olan ülkelerde ekosistemleri giderek daha fazla kirletmekte ve insan sağlığını tehdit etmektedir (Medfu Tarekegn ve ark., 2020).

Fenol ile kirlenmiş atık sulara endüstriyel atıkların deşarj edildiği noktalarda rastlanılmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü fenolün içme sularındaki miktarını 1µg/l'den az olarak belirlemiştir (Nuhoglu ve Yalcin, 2005). Fenol toksik, kanserojenik bir kirlenmedir. Fenol maruziyeti, deri ve dokularda harabiyete, karaciğer hasarına, ishal ve görme kaybına neden olmaktadır (El Gaidoumi ve ark., 2019). Fenolün temizlenmesi için fiziksel, kimyasal, biyolojik yollar bulunmakla birlikte, absorpsiyon, ekstraksiyon, kimyasal oksidasyon ile bertaraf etme yöntemleri pahalı olmalarının yanında zararlı başka ikincil metabolitler ortaya çıkartmaktadır (Liu ve ark., 2020). Fenolün biyoremediasyon yöntemleriyle temizlenebilmesi için yapılan bir çalışmada *Acinetobacter radioresistens* APh1 suşunun 30°C'de, 6 pH'da 500 mg/l fenol konsantrasyonunu cis, cis-mukonik asit, kateşol ve süksinit asit metabolitlerine ayırarak bertaraf edebildiği görülmüştür (Liu ve ark., 2020). 450 mg/kg fenol ile kontamine toprak üç gün içinde %99 oranında fenolden arındırılmış ve mikrobiyal florada *Chungangia*, *Bacillus*, *Nitrospira*, *Lysinibacillus* ve *Planomicrobium* bakterilerinde artış belirlenmiş ve 23. günde *Acinetobacter radioresistens* APh1 suşunun azaldığı ve floranın normale döndüğü görülmüştür (Liu ve ark., 2020). M ürünleri de yine suların temizlenmesi, tekrar ekosistemin sağlanması, özellikle nitrat dengelerinin yeniden sağlanması için kullanılabilir (Sitarek ve ark., 2017).

Petrol kirliliği ekosistemi çok derinden etkileyen, uzun yıllar etkisi devam eden ve etki alanı özellikle sucul ekosistemlerde çok hızlı büyüeyebilen bir kirliliktir. Petrol yüklü tankerler ve platformlarda yaşanan kazalar uzun yıllar kirliliğe sebep olabilmektedir. Özellikle denizlerde yaşanan petrol sızıntılarını meydana getiren kazalar, yangınlar beraber seyrettiği için belli bir süre sızıntıyı engellemek için

çalışma ikinci plana atılabilmektedir. Ekosisteme verdiği zararlar, bazen geri dönüşümsüz noktalara gelebilmektedir. Birincil etkilenen canlılar deniz kuşlarıdır. Deniz kuşlarının petrole bulunması sonrasında petrolün tüylerinin arasından girerek derinin su geçirmez özelliğini bozarak, hayvanın ısınmasının, vücut sıcaklığının düşmesine ve petrolün cilde teması ile dermal iritasyonlara sebep olur. Petrolün kuşların solunum sistemine girmesi, solunum yolu problemlerine neden olurken küçük boyutlu kuşlar petrolden temizlenene kadar hareket kabiliyetlerini yitirerek ölebilirler (Horemans ve ark., 2017).

Petrol sızıntısının fiziksel, kimyasal ve biyoremediasyon ile temizleme yöntemleri bulunmaktadır (Horemans ve ark., 2017). Bu

derlemede sadece biyoremediasyon ile bertaraf edilmesi yöntemleri üstünde durulacaktır. Petrol kirliliğinde biyoremediasyon uygulamaları doğal yolla (natural attenuation), biyobüyüme (bioaugmentation), biyostimülasyon (biostimulation) olarak üç grupta toplanmaktadır. Diğer metotlara göre en fazla fayda maliyet oranına sahip, insan gücünü az gerektiren ve sürdürülebilir metot olarak öne çıkar, ancak bu metot kıyıya yakın alanlarda kullanılabilir ve nispeten uzun süren uygulamalar ihtiyaç duymaktadır (Horemans ve ark., 2017). Petrol sızıntısından sonra petrolün yayılmasını önleyen bariyerler ile maruziyet sahası sınırlandırıldıktan sonra, fiziksel ve kimyasal olarak temizlik yapılır ve akabinde biyoremediasyon uygulamalarına başvurulur. Petrol temizlenmesi sırasında başvurulan seçilmiş biyoremediasyon uygulamaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Petrol kirliliğinde kullanılan bazı biyoremediasyon etkenleri (Sayed ve ark., 2021).

| Sıra No | Kirletici | Kullanılan Mikroorganizma | Kirlenme oranı (%) | İşlem süresi | stimülötör | Kaynak |
|---------|--|--|--------------------|--------------|---|--|
| 1 | %0,05 (v/v) Ham petrol deniz suyu bulaşması | <i>Rhodococcus corynebacterioides</i> | %60 | 15 gün | Kitin ve kitosan (karides artığı) | (Gentili ve ark., 2006) |
| 2 | %0,1 (v/v) bozulmuş ham petrol deniz suyu arışımı | <i>Thalassolituus</i> , <i>Alcanivorax</i> , <i>Cycloclasticus</i> | %85 | 30 gün | Besin 20 mg/L NH ₄ NO ₃ and 10 mg/L KH ₂ PO ₄ | (Mckew ve ark., 2007) |
| 3 | nC15-nC35 10 g/l Toplam petrol hidrokarbonu ihtivası | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> AspH2 | %80 | 30 gün | Mısır suyu | (El-gendy ve ark., 2014) |
| 4 | %10 (v/v) Ham petrol | <i>Aspergillus niger</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Alcanivorax borkumensis</i> | %94,4 | 8 hafta | NPK 15:15:15 | (Amenaghawon ve ark., 2014) |
| 5 | 100 ppm kirli deniz suyu | <i>Alcanivorax borkumensis</i> SK2 | %95 | 20 gün | KH ₂ PO ₄ 0,077 g/L, NH ₄ Cl 0,2 g/L and NaNO ₃ 0,1 g/L | (Hassanshahian ve ark., 2014) |
| 6 | %0,5 (w/v) Ham petrol | <i>Pseudomonas</i> | %97 | 28 gün | Atık suyu | (Mahdi ve ark., 2016) |
| 7 | %0,5 (w/v) Ham petrol | <i>Pseudomonas</i> | %91 | 28 gün | Mısır suyu | (Mahdi ve ark., 2016) |
| 8 | %2 (v/v) kargo yakıtı bulaşmış deniz suyu | <i>Alcanivorax borkumensis</i> , <i>Alcanivorax dieselolei</i> , <i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i> , <i>Cycloclasticus</i> sp. 78-ME, <i>Thalassolituusoleivorans</i> | %73 ± 2,4 | 14 gün | KH ₂ PO ₄ 0,077 g/L, NH ₄ Cl 0,2 g/L and NaNO ₃ 0,1 g/L | (Crisa ve ark., 2016) |
| 9 | %1 (v/v) ham petrol | <i>Rhodococcus corynebacterioides</i> , <i>Thalassolituus</i> , <i>Alcanivorax</i> , <i>Cycloclasticus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> AspH2, <i>Aspergillus niger</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Alcanivorax borkumensis</i> SK2, <i>Pseudomonas</i> , <i>Alcanivorax borkumensis</i> , <i>Alcanivorax dieselolei</i> , <i>Marinobacter hydrocarbonoclasticus</i> , <i>Cycloclasticus</i> sp., <i>Thalassolituusoleivorans</i> , <i>Bacillus algicola</i> (003-Phe1), <i>Rhodococcus soli</i> (102-Na5), <i>Isoptericola chiaiensis</i> (103-Na4), <i>Pseudoalteromonas agar-ivorans</i> (SDRB-Py1) | >%85 | 14 gün | Biyosüpfaktan | (Pacwa-Płociniczak ve ark., 2019) |
| 10 | %1 (v/v) motorin | Proteobacteria | %20-99 | 7 gün | Tween-80 ve rhamnolipids | (Ławniczak ve ark., 2020)(Staninska-Pięta ve ark., 2019) |

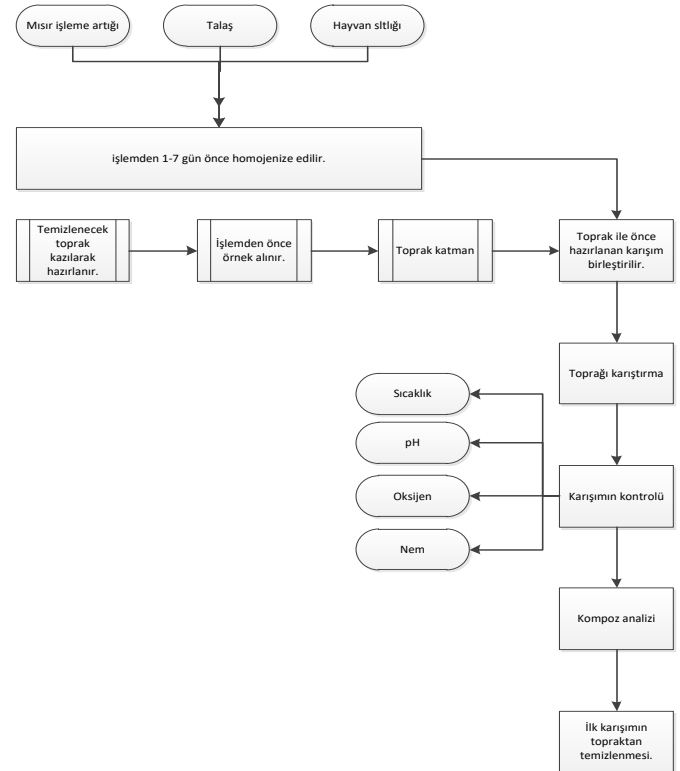
ASKERİ ALANDA BİYOREMİDİASYON UYGULAMALARI

TNT, sülfirik asidin kataliziyle, tolüen ve nitrik asidin reaksiyonundan elde edilir (Özcan ve Türkdoğan, 2014). Patlayıcılarda kullanılan nitraminler Royal Tahrip Patlayıcıları (RDX, hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine) ve Yüksek Erime Patlayıcılarıdır (HMX, octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine) (Lewis ve ark., 2004). RDX ve HMX TNT'ye göre daha 1,5 kat daha fazla patlayıcı gücünde olmalarına karşın, suda düşük çözünürlükte olması sebebiyle maruz kalmış alanlarda TNT'ye göre daha az bulunur ve daha düşük toksisite gösterirler (Özcan ve Türkdoğan, 2014).

Askeri alanda patlayıcı ve bomba yapımında da kullanılan 2,4,6-trinitrotoluene (TNT, $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$) ve 2,4,6-trinitrophenol (pikrit asit, $(O_2N)_3C_6H_2OH$) üretimi ve kullanımı sonrasında hava, su, toprak kirliliğine uzun yıllar neden olmaktadır. 1830'larda keşfedilen TNT Birinci Dünya Savaşı sırasında tüm ordular tarafından kullanılmıştır (Lewis ve ark., 2004). United States Environmental Protection Agency (USEPA) TNT ile kirlenmiş alanların temizlenmesinin bir zorunluluk olduğunu 2001 yılında bildirmiştir (Esteve-nu ve ark., 2001). Mühimmat artıklarının imha edilmesi için derin denize bırakma, özel depolama alanlarına gömme ve insinerasyon (yüksek sıcaklık ve oksijen ile atık içindeki organik maddelerin yakılması) yöntemleri kullanılmasına karşın daha sonra bu yöntemlerin çevre için uygun olmayan sonuçlar doğurabildiği ifade edilmiştir. (Özcan ve Türkdoğan, 2014).

Patlayıcılar ile kontamine olmuş toprakların arıtma tekniklerinden ilki kompostlama olarak belirtilebilir. Bu teknikte hayvan atığı olan gübre ve bitki artıkları kontamine olmuş toprak ile karıştırılarak hem topraktaki patlayıcı oranı azaltılır hem de mikrobiyel üremeyi arttırmak amaçlanır (Özcan ve Türkdoğan, 2014). Bu yöntem de mikrobiyel üreme ile sıcaklık ve nem artışı görüleceği için toprağın havalandırılmasına ihtiyaç vardır (Özcan ve Türkdoğan, 2014). Biyolojik yöntemlerle yapılan remediasyon yani biyoremediasyon patlayıcılarla kirlenmiş topraklar için en iyi temizlik yöntemlerindedir (Scalzo ve ark., 1998). Yapılan bir

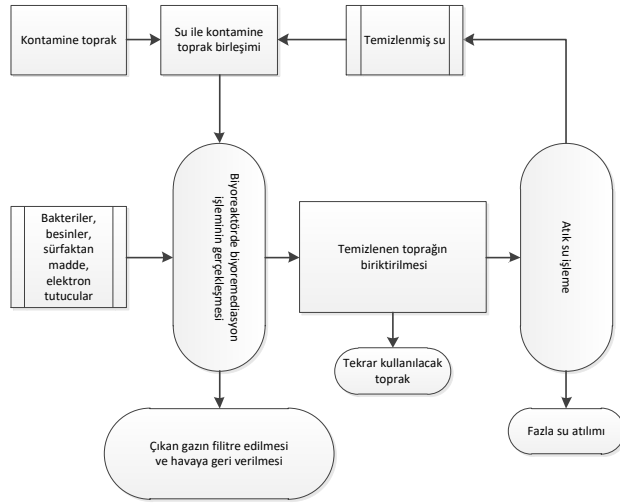
çalışmada %35 oranında TNT ile kontamine olmuş toprak karışımının, %5 sığır dışkısı, %5 mikrobiyel süspansiyon ile 15 gün içinde %99 oranında elemine edilebileceği bildirilmektedir (Rezaei ve ark., 2010). Kompostlama yöntemiyle patlayıcılar ile kontamine toprağın temizlenmesi Şekil 1'de açıklanmıştır.



Şekil 1. Kompostlama yöntemiyle patlayıcılar ile kontamine toprağın temizlenmesi (Scalzo ve ark., 1998).

Biyoreaktörler yardımıyla da bahsedilen patlayıcıların dekontaminasyonu gerçekleştirilebilir. Biyoreaktör çeşitli malzemelerden yapılmış varil, bidon gibi kapalı alanlar olabilir ve bu alanlarda malzemeler birleştirildiği için biyoreaktör olarak tanımlanmaktadır (Şekil-2). Biyoreaktörlerde TNT bertaraf edilmesi 75000 litre hacmindeki çelik tanklara, 23 m³, %50 sulu kısım ve toprak karışımı olan TNT ile kontamine toprağın muamele edilmesiyle yaklaşık 1-2 gün içinde aerob bakteriler oksijeni tüketerek, anerobik ortamda yaklaşık 11 haftada bertaraf işlemi tamamlanmıştır (Funk ve ark., 1995). TNT konsantrasyonu 1000 mg/kg olan 3 kg toprak çözünürlüğünü arttırmak için kullanılan 60 mg/l ramnolipit ile 154 gün muamele edildiğinde %73 oranında TNT'ni azaldığı, ramnolipitlin ise ortamda %58 oranında tespit edildiği bildirilmiştir (Bina ve ark., 2018). Bu çalışmada ramnolipit

varlığında toprakta, *Pseudomonas stutzeri* ve *Sphingomonadaceae* sp.; ramnolipit bulunmadığında ise *Rhodococcus* sp. bakterilerinin ürediği bildirilmiştir (Bina ve ark., 2018). Bir diğer uygulamada sularda TNT kirliliği için spirulina ile biyoremediasyon uygulaması yapılmış ve 22,5 ppm TNT 15 gün içinde %87 oranında detoksifiye edilmiştir (Adamia ve ark., 2018).



Şekil 2. Biyoreaktörlerde biyoremediasyon işlemini şematize edilmiş hali (Tekere (2013)'den modifiye edilmiştir).

Fitodetoksifikasyon, diğer bir ifadeyle bitkilerin kullanılarak patlayıcı hammaddeleri ile kirlenmiş alanların temizlenmesi mümkün olabilmektedir. Bitkilerin kullanılması, daha önce de değinildiği gibi, daha az maliyetle temizlik işleminin yapılabilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bir diğer avantajı ise fitodetoksifikasyon sırasında dikilen bitkilerin halk tarafından hoş karşılanmasıdır (Lewis ve ark., 2004) *Enterobacter cloacae* bakterisinden elde edilen nitroreduktaz geni nfsI transforme edilmiş tütün bitkisi (*Nicotiana tabacum* L.) TNT detoksifikasyonunda kullanılabilir (Manorama Thampatti ve ark., 2020). Mikorizal bir diğer tanımla mutalist mantarların da fitoremediasyon alanında önemli bir yeri bulunmaktadır. Çalışmaların büyük bir kısmında varyasyonu yüksek veriler elde edilmiş olsa da bu yöntemin gelecek için umut vadeden sonuçları bulunmaktadır (Coninx ve ark., 2017).

Askeri alanların patlayıcı ham maddelerinden temizlenmesi zor ve maliyetli bir işittir. *Bacillus* sp., *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter* sp., *Pseudomonas*

aeruginosa, *Pseudomonas fluorescen*, *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Pseudomonas savastanoi*, *Pseudomonas* sp., *Rhodococcus erythropolis*, *Serratia marcensens*, *Staphylococcus* sp., *Stenotrophomonas maltophilia* bakterileri TNT'nin detoksifikasyonunda kullanılabilir (Esteve-nu ve ark., 2001). Savaş bittikten sonra kalan alanlardaki toprağın kullanımı hem gıda sağlanması hem de ekonomik açıdan çok büyük önem arz etmektedir. Savaş sonrası, sosyal, kültürel, ekonomik, sağlık, barınma gibi ihtiyaçların düzeltilmesi ve giderilmesi içinde bu alanlar kullanılmaktadır. Bu sebeple, halkı da içine alacak şekilde yapılmış bir planlama ile söz konusu toprakların temizlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

BIYOREMEDIASYON UYGULAMALARI ve TEK SAĞLIK

Hayvansal üretim geçmişe oranla çok daha büyük çiftliklerde yapılmaya başlanmış, denizlerde, göllerde, akarsularda büyük miktarda sucul canlı barındıran çiftlikler kurulmuştur. Bu çiftliklerin atıkları birikerek çevre ve halk sağlığı için sorun oluşturmaktadır. Bu atıkların bertaraf edilmesi için de biyoremediasyon uygulamalarının kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu uygulamalarla çiftliklerden çıkan dışkı ve organik atıklar, atık sular mikro algler ile muamele edilerek hem CO₂ emiliminin arttırmakta hem de kozmetik, kimya, biyoyakıt, yem ve gıda sektörü gibi alanlarda ham madde olarak kullanılabilir (Lu ve ark., 2020). Atıkların içindeki besleyici maddeler mikro algler tarafından depolanmakta ve tekrar kullanıma sunulabilmektedir (Lu ve ark., 2020). Sığırcılık işletmelerinde ortaya çıkan atık sular kullanılarak bir mikroalg çeşidi olan *Scenedesmus obliquus* üretimi yapılmış ve on iki gün sonra atık ortamda kimyasal oksijen ihtiyacında %65-70, %98-99 NH₄⁺ ve %69-77,5 PO₄⁻³ azalma görülmüş ve üretilen mikroalglerin hayvan beslemede yeniden kullanılabilirliği değerlendirilmiştir (de Mendonça ve ark., 2018). Bir başka çalışmada da yine hayvan gübresinden 10 g *Scenedesmus* sp. üretimi yapılırken %92,5 NH₄⁺ ve %51,9 PO₄⁻³ azalması ile sonuçlanmıştır (Scherer ve ark., 2017). *Bacillus* sp. kökenli probiyotiklerin hayvan beslemede kullanımı hayvan için büyüme, hayatta kalma, yemden yararlanmayı artırırken, nitrojen atıkları azalttığı için bir biyoremediasyon uygulaması olarak kabul edilebilir (Mingmongkolchai ve Panbangred, 2018).

Sucul ortamların dengesinin sağlanması için de biyoremediasyon uygulamalarının kullanımı yaygınlaşmaktadır. Tüketilmeyen yemler, fitoplanktonlar, ölü

bitki parçaları, ilaç artıkları, dışkı, parazitler, üretilen diğer toksik maddeler hem çevre hem de hayvan sağlığını olumsuz etkilemektedir. *Scenedesmus* sp. ile yapılan biyoremediasyon uygulamasında atık suda %12,42 Zn, %49,25 Fe azaldığı ifade edilmiştir (Talip ve ark., 2019). *Marichromatium gracile* YL28 ile yapılan çalışmada yedi gün içinde balık havuzundaki nitritin %99.6'sı temizlenmiş (Zhu ve ark., 2019), *Bacillus pumilus* ve *Lactobacillus delbrueckii*'nin birlikte kullanıldığı çalışmada yedi hafta sonunda amonyum nitrojen oranının azaldığı belirtilmiştir (Jasmin ve ark., 2020), *Bacillus licheniformis*, *B. subtilis*, *B. polymyxa*, *B. laterosporus* ve *B. circulans* ile yapılan çalışmada amonyum nitrat seviyesi ve toplam bakteri sayısının düştüğü tespit edilmiştir (Samani ve ark., 2016), *Bacillus vietnamensis* ve *Gordonia bronchialis* ile yapılan çalışmada invitro ortamda amonyak ve nitrit seviyesinin azaldığı (Malaysiana ve ark., 2015); *Bacillus* sp. karışımında amonyak, nitrat ve nitrit seviyesi *Litopenaeus vannamei* çiftliğinde azaldığı (Elizondo-González ve ark., 2018); *Bacillus amyloquefaciens* 24 saat içinde amonyağın %93'ünü temizlediği (Yu ve ark., 2012); *Bacillus* sp *Macrobrachium rosenbergii* yetiştiriciliğinde 60 gün içinde amonyak, nitrit ve pH seviyelerini düşürdüğü (Rahiman ve ark., 2010); *Bacillus subtilis*, *Bacillus mycoides* ve *Bacillus licheniformis* türlerinin birlikte kullanıldığı çalışmada ise amonyak, nitrit, nitrat ve fosfat iyonları sirkülasyon tanklarında azaldığı (Laloo ve ark., 2007); *Bacillus subtilis* ve *Bacillus megaterium* türlerinin birlikte kırmızı papağan balığı sirkülasyon tanklarında kullanıldığında toplam amonyak, kimyasal oksijen ihtiyacı azalttığı (Chen ve Chen, 2001) belirlenmiştir.

Hayvancılık sektöründe kullanılan antibiyotikler et, süt, yumurta gibi ürünlerle insana geçebilmekte, dışkıları ile toprağa ve yeraltı sularına karışabilmekte, buradan bitkilere geçmekte ve nihayetinde tekrar bu bitkileri hayvanların tüketmesi ile hayvana bulaşabilmektedir (Tasho ve Cho, 2016). Antibiyotik kullanımının azaltılması ve daha biyolojik olarak ekosisteme uyumlu yollar ile hayvan tedavisi gelecekte daha çok önem kazanacak alanlardan olacaktır.

Biyoremediasyon uygulamaları savaş sonucunda ortaya çıkan kirliliğin giderilmesi, hayvan beslemenin sonucu oluşan atıkların tekrar doğaya dönüşümü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Çevresel kirlilikteki

artışlar, çevresel kalitenin giderek bozulmasına yol açmakta; insan ve çevre sağlığını ciddi şekilde tehdit eden olumsuz koşulları iyileştirmek için etkili yöntemler bulmaya zorlamaktadır. Biyoremediasyon, atıkların ve çevresel kirliticilerin yönetiminde kimyasal ve fiziksel yöntemlere ek olarak uygun maliyetli ve faydalı bir yöntem olduğunu şimdiden kanıtlamıştır (Bonaventura ve Johnson, 1997). Bu nedenle biyoremediasyon uygulamalarının tek sağlık açısından da olumlu etkilerinin bulunduğu değerlendirilmektedir.

SONUÇ

Biyoremediasyon uygulamaları hemen her gün yaşadığımız çevre felaketlerinin ve bunların olumsuz sonuçlarının bertarafında kullanılan yöntemler olarak görülmelidir. Biyoremediasyon yöntemleri, doğanın genellikle insan etkisiyle bozulmuş düzeninin, yeniden, uyum içinde, belki biraz uzun sürede; ancak daha az maliyetle, onarılma yöntemlerinden biridir. Sadece kirlenmiş alanların temizlenmesi açısından değil, bitki büyümesine katkısı, hayvanlarda yemden yararlanmayı artırması, nitrojen kökenli atığın temizlenmesi, CO₂ emisyonunun regüle edilmesi gibi yararları vardır. Sürdürülebilir, çevre dostu, ucuz ve doğaya salınan mikroorganizmalar tarafından insan gücü gerektirmeden kendi kendine çalışan bir sistemdir. Bu uygulamalar değerlendirildiğinde çevre, hayvan ve halk sağlığını bir bütün olarak ele aldığı için de tek sağlık kavramıyla oldukça uyumlu bir alandır. Gelecek yıllarda biyoremediasyon ve tek sağlık alanında daha çok çalışma yapılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Adamia, G., Chogovadze, M., Chokheli, L., Gigolashvili, G., Gordeziani, M., Khatishashvili, G., Kurashvili, M., Pruidze, M. & Varazi, T. (2018). About possibility of alga *Spirulina* application for phytoremediation of water polluted with 2,4,6-trinitrotoluene. *Annals of Agrarian Science*, 16, 348–351.
- Amenaghawon, A. N., Osunbor, O. & Obahiagbon, K. O. (2014). Impact of Nutrients , Aeration and Agitation on the Bioremediation of Crude Oil Polluted Water Using Mixed Microbial Culture Full Length Research Paper Impact of Nutrients , Aeration and Agitation on the Bioremediation of Crude Oil Polluted Water Using Mi. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2, 43–48.

- Anning, A. K. & Akoto, R. (2018). Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 97–104.
- Bina, B., Amin, M. M., Kamarehie, B., Jafari, A., Ghaderpoori, M., Karami, M. A., Teimouri, F. & Sadani, M. (2018). Data on biosurfactant assisted removal of TNT from contaminated soil. *Data in Brief*, 19, 1600–1604.
- Cardozo, M., De Almeida, J. S. F. D., De A Cavalcante, S. F., Salgado, J. R. S., Gonçalves, A. S., França, T. C. C., Kuca, K. & Bizzo, H. R. (2020). Biodegradation of organophosphorus compounds predicted by enzymatic process using molecular modelling and observed in soil samples through analytical techniques and microbiological analysis: A comparison. *Molecules*, 25, 1–21.
- Chen, C. C. & Chen, S.-N. (2001). Water Quality Management with *Bacillus* spp. in the High-Density Culture of Red-Parrot Fish *Cichlasoma citrinellum* x *C. synspilum*. *North American Journal of Aquaculture*, 63, 66–73.
- Coninx, L., Martinova, V. & Rineau, F. (2017). Mycorrhiza-Assisted Phytoremediation. In *Advances in Botanical Research* (Vol. 83, pp. 127–188). Elsevier Ltd.
- Crisa, F., Genovese, M., Smedile, F., Russo, D., Catalfamo, M., Yakimov, M., Giuliano, L. & Denaro, R. (2016). Bioremediation technologies for polluted seawater sampled after an oil-spill in Taranto Gulf (Italy): A comparison of biostimulation, bioaugmentation and use of a washing agent in microcosm studies. *Marine Pollution Bulletin*, 106, 119–126.
- de Mendonça, H. V., Ometto, J. P. H. B., Otenio, M. H., Marques, I. P. R. & dos Reis, A. J. D. (2018). Microalgae-mediated bioremediation and valorization of cattle wastewater previously digested in a hybrid anaerobic reactor using a photobioreactor: Comparison between batch and continuous operation. *Science of the Total Environment*, 633, 1–11.
- El-gendy, N. S., Ali, H. R., El-Nady, M. M., Deriase, S. F., Yasser, M. M. & Roushdy, M. I. (2014). Effect of different bioremediation techniques on petroleum biomarkers and asphaltene fraction in oil-polluted sea water. *Desalination and Water Treatment*, 52, 7484–7494.
- El Gaidoumi, A., Doña-Rodríguez, J. M., Pulido Melián, E., González-Díaz, O. M., El Bali, B., Navío, J. A. & Kherbeche, A. (2019). Mesoporous pyrophyllite-titania nanocomposites: synthesis and activity in phenol photocatalytic degradation. *Research on Chemical Intermediates*, 45, 333–353.
- Elizondo-González, R., Quiroz-Guzmán, E., Escobedo-Fregoso, C., Magallón-Servín, P. & Peña-Rodríguez, A. (2018). Use of seaweed *Ulva lactuca* for water bioremediation and as feed additive for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *PeerJ*, 2018, 1–16.
- Esteve-nu, A., Caballero, A. & Ramos, J. L. (2001). Biological Degradation of 2, 4, 6-Trinitrotoluene. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 65, 335–352.
- Funk, S. B., Crawford, D. L., Crawford, R. L., Mead, G. & Davis-Hoover, W. (1995). Full-scale anaerobic bioremediation of trinitrotoluene (TNT) contaminated soil - A US EPA SITE program demonstration. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 51–52, 625–633.
- Gentili, A. R., Cubitto, M. A., Ferrero, M. & Z, M. S. R. (2006). Bioremediation of crude oil polluted seawater by a hydrocarbon-degrading bacterial strain immobilized on chitin and chitosan flakes. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 57, 222–228.
- Gökmen, F. (2019). toprak solucanı kullanımının ağır metal giderimine etkisi. *Journal of Agriculture*, 2, 92–99.
- Hassanshahian, M., Emtiazi, G., Caruso, G. & Cappello, S. (2014). Bioremediation (bioaugmentation/biostimulation) trials of oil polluted seawater: A mesocosm simulation study. *Marine Environmental Research*, 95, 28–38.
- Horemans, B., Breugelmans, P., Saeys, W. & Springael, D. (2017). Soil-Bacterium Compatibility Model as a Decision-Making Tool for Soil Bioremediation.
- Jasmin, M. Y., Syukri, F., Kamarudin, M. S. & Karim, M. (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*, 519, 734905.
- Kara, E. E., Taciroğlu, B. & Sak, T. (2016). Toprakta Ağır

- Metal Gideriminde Solucanların Kullanımı. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 19, 201–206.
- Kour, D., Kaur, T., Devi, R., Yadav, A., Singh, M., Joshi, D., Singh, J., Suyal, D. C., Kumar, A., Rajput, V. D., Yadav, A. N., Singh, K., Singh, J., Sayyed, R. Z., Arora, N. K. & Saxena, A. K. (2021). Beneficial microbiomes for bioremediation of diverse contaminated environments for environmental sustainability: present status and future challenges. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Laloo, R., Ramchuran, S., Ramduth, D., Görgens, J. & Gardiner, N. (2007). Isolation and selection of *Bacillus* spp. as potential biological agents for enhancement of water quality in culture of ornamental fish. *Journal of Applied Microbiology*, 103, 1471–1479.
- Ławniczak, Ł., Wo, M., Heipieper, H. J. & Łukasz C. (2020). Microbial Degradation of Hydrocarbons — Basic Principles for Bioremediation: A Review. *Molecules Review*, 25, 1–19.
- Lewis, T. A., Newcombe, D. A. & Crawford, R. L. (2004). Bioremediation of soils contaminated with explosives. *Journal of Environmental Management*, 70, 291–307.
- Li, Q., Guo, C., Hu, H. & Lu, J. (2022). Towards One Health: Reflections and practices on the different fields of One Health in China. *Biosafety and Health*, 4, 23–29.
- Liu, Y., Wang, W., Shah, S. B., Zanaroli, G., Xu, P. & Tang, H. (2020). Phenol biodegradation by *Acinetobacter radioresistens* APH1 and its application in soil bioremediation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104, 427–437.
- Lu, W., Asraful Alam, M., Liu, S., Xu, J. & Parra Saldivar, R. (2020). Critical processes and variables in microalgae biomass production coupled with bioremediation of nutrients and CO₂ from livestock farms: A review. *Science of the Total Environment*, 716, 135247.
- Luminit, D., Sobariu, S., Ionela, D., Fertu, T., Diaconu, M., Vasile, L., Curteanu, S., Lenz, M., Hlihor, R., Niculina, E., Corvini, P. F. & Gavrilesu, M. (2017). Rhizobacteria and plant symbiosis in heavy metal uptake and its implications for soil bioremediation. *New Biotechnology*, 39, 125–134.
- Mahdi, A. M. El, Aziz, H. A., Amr, S. S. A., Sh, N. & Nassar, E. H. N. (2016). Isolation and characterization of *Pseudomonas* sp. NAF1 and its application in biodegradation of crude oil. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1–11.
- Malaysiana, S., Bakteria, P., Dipencilkan, A., Sisa, A., Akuakultur, U., Pemulihan, A. B., Nitrogen, J. A., Nitrit, P., Fantroussi, E. & Fantroussi, E. (2015). Identification of Indigenous Bacteria Isolated from Shrimp Aquaculture Wastewater with Bioremediation Application: Total Ammoniacal Nitrogen (TAN) and Nitrite Removal. *Sains Malaysiana*, 44, 1103–1110.
- Manorama Thampatti, K. C., Beena, V. I., Meera, A. V. & Ajayan, A. S. (2020). *Phytoremediation of Metals by Aquatic Macrophytes*.
- Martinkosky, L., Barkley, J., Sabadell, G., Gough, H. & Davidson, S. (2017). Science of the Total Environment Earthworms (*Eisenia fetida*) demonstrate potential for use in soil bioremediation by increasing the degradation rates of heavy crude oil hydrocarbons. *Science of the Total Environment*, 580, 734–743.
- Mckew, B. A., Coulon, F., Yakimov, M. M., Denaro, R., Genovese, M., Smith, C. J., Osborn, A. M., Timmis, K. N. & Mcgenity, T. J. (2007). Efficacy of intervention strategies for bioremediation of crude oil in marine systems and effects on indigenous hydrocarbonoclastic bacteria. *Environmental Microbiology*, 9, 1562–1571.
- Mingmongkolchai, S., & Panbangred, W. (2018). *Bacillus* probiotics: an alternative to antibiotics for livestock production. *Journal of Applied Microbiology*, 124, 1334–1346.
- Nuhoglu, A., & Yalcin, B. (2005). Modelling of phenol removal in a batch reactor. *Process Biochemistry*, 40, 1233–1239.
- Özcan, G. & Türkdoğan, İ. (2014). Askeri Alanlardaki Kirliliklerin Gideriminde Biyoremediasyon Teknikleri. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 31–36.
- Pacwa-Płociniczak, M., Czapla, J., Płociniczak, T. & Piotrowska-Seget, Z. (2019). The effect of bioaugmentation of petroleum-contaminated soil with *Rhodococcus erythropolis* strains on removal of

- petroleum from soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 615–622.
- Rahiman, K. M. M., Jesmi, Y., Thomas, A. P. & Hatha, A. A. M. (2010). Probiotic effect of Bacillus NL110 and Vibrio NE17 on the survival, growth performance and immune response of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Research*, 2010, 120–134.
- Rezaei, M. R., Abdoli, M. A., Karbassi, A., Baghvand, A. & Khalilzadeh, R. (2010). Bioremediation of TNT contaminated soil by composting with municipal solid wastes. *Soil and Sediment Contamination*, 19, 504–514.
- Rizwan, M., Ali, S., Zia ur Rehman, M., Rinklebe, J., Tsang, D. C. W., Bashir, A., Maqbool, A., Tack, F. M. G. & Ok, Y. S. (2018). Cadmium phytoremediation potential of Brassica crop species: A review. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1175–1191.
- Romeh, A. A. (2020). Synergistic use of Plantago major and effective microorganisms, EM1 to clean up the soil polluted with imidacloprid under laboratory and field condition. *International Journal of Phytoremediation*, 22, 1515–1523.
- Samani, M. N., Jafaryan, H., Gholipour, H., Harsij, M. & Farhangi, M. (2016). Effect of different concentration of profitable Bacillus on bioremediation of common carp (*Cyprinus carpio*) pond discharge. *Iranian Journal of Aquatic Animal Health*, 2, 44–54.
- Sandøe, P., Palmer, C., Corr, S., Astrup, A. & Bjørnvad, C. R. (2014). Canine and feline obesity: A One Health perspective. *Veterinary Record*, 175, 610–616.
- Sayed, K., Baloo, L. & Sharma, N. K. (2021). Bioremediation of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) by Bioaugmentation and Biostimulation in Water with Floating Oil Spill Containment Booms as Bioreactor Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 2226.
- Scalzo, A. M., Thompson, M. A., Holz, A. & Murray, W. (1998). Remediation of Explosives Contaminated Soils At Joliet Army Ammunition Plant via Windrow Composting. In US Army Corps of Engineers.
- Scherer, M. D., de Oliveira, A. C., Filho, F. J. C. M., Ugaya, C. M. L., Mariano, A. B. & Vargas, J. V. C. (2017). Environmental study of producing microalgal biomass and bioremediation of cattle manure effluents by microalgae cultivation. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19, 1745–1759.
- Sitarek, M., Napiórkowska-Krzebietke, A., Mazur, R., Czarnecki, B., Pyka, J. P., Stawecki, K., Olech, M., Sołtysiak, S. & Kapusta, A. (2017). Application of effective microorganisms technology as a lake restoration tool a case study of muchawka reservoir. *Journal of Elementology*, 22, 529–543.
- Staninska-Pięta, J., Piotrowska-Cyplik, A., Juzwa, W., Zgoła-Grzeškowiak, A., Wolko, Ł., Sydow, Z., Kaczorowski, Ł., Powierska-Czarny, J. & Cyplik, P. (2019). The impact of natural and synthetic surfactants on bacterial community during hydrocarbon biodegradation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 142, 191–199.
- Talip, B. A., Zing, N. Z., Hairuddin, N. D., Mohamed, R. M. S. R., Muhammad, N., Basri, H., Abdullah, N., Kahar, E. E. M., Al-Gheethi, A. A. S. & Abdullah, S. (2019). Determination of physicochemical properties of formulated fish feed supplemented with microalgae from bioremediation process. *Jurnal Teknologi*, 81, 151–157.
- Tasho, R. P. & Cho, J. Y. (2016). Veterinary antibiotics in animal waste, its distribution in soil and uptake by plants: A review. *Science of the Total Environment*, 563–564, 366–376.
- Tekere, M. (2013). Microbial Bioremediation and Different Bioreactors Designs Applied. *IntechOpen*, 32, 1–19.
- Wu, Y., Jing, X., Gao, C., Huang, Q. & Cai, P. (2018). Chemosphere Recent advances in microbial electrochemical system for soil bioremediation. *Chemosphere*, 211, 156–163.
- Yu, C., Wang, Y., Guo, T., Shen, W. & Gu, M. (2012). Isolation and Identification of Ammonia Nitrogen Degradation Strains from Industrial Wastewater. *Engineering*, 2012, 790–793.
- Zhu, B., Chen, S., Zhao, C., Zhong, W., Zeng, R. & Yang, S. (2019). Effects of *Marichromatium gracile* YL28 on the nitrogen management in the aquaculture pond water. *Bioresource Technology*, 292, 121917.