TOPRAK KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ
14. HAFTA

Doç. Dr. Burcu Özkaraova

KIRLENMIŞ SAHALARDA GİDERİM

KİRLETİCİLERİN TOPRAKTA İYİLEŞTİRME VE GİDERİM YÖNTEMLERİ

Biyolojik Yöntemler

Organik kirleticilerin bulunduğu toprakların arıtımında kullanılan yöntemlerin başında toprak içerisindeki organik maddelerin mikroorganizmalarca parçalamasını hedefleyen biyolojik arıtım yer almaktadır.

Organik bir kirleticinin mikroorganizmalar tarafından aerobik veya anaerobik olarak parçalanarak bir takım ara ve son ürünlere dönüşmesi için çevresel koşulların ve kirletici özelliklerinin mikroorganizma türüne uygun olması gerekmektedir.

Giderim, arazi içerisinde ve dışında yapılabilmektedir. Arazi içerisinde hızlandırılmış biyolojik giderim ve biyolojik havalandırma teknikleri, arazi dışında ise çamur biyoreaktörleri, biyokümeleri (biopiles), kompostlaştırma gibi yöntemler uygulanmaktadır.

Biyolojik Havalandırma (Bioventing)

Biyolojik havalandırma nispeten, yavaş akımlı havalandırma ile organik kirleticilerle kirlenmiş toprağın biyolojik arıtımını artırmak için kullanılan bir tekniktir.

Genellikle, biyolojik parçalanmayı artırmak için düşük hava basınçları ve hava akışı oranları kullanılır. Bazı biyolojik havalandırma sistemleri, toprak buhar ekstraksiyon sistemleriyle kombine olarak kullanılır.

http://envirocoregr.com/page2.html

- Biyolojik havalandırma, toprak içerisindeki aerobik olarak parçalanabilir bileşiklerin oksijen verilerek toprakta varolan mikroorganizlar vasıtasıyla yerinde biyodegradasyonunu sağlayan bir teknolojidir. Toprak buhar ekstraksiyonun tersine, biyolojik havalandırma da mikrobiyal aktiviteyi desteklemek için düşük hava akımlarında sadece yeteri kadar oksijen sağlanır.

- Toprakta varolan kirlilik bölgesine oksijen direk hava enjeksiyon ile sağlanır. Ek olarak, adsorbe olmuş yakıt kalıntılarının degradasyonu ve biyolojik olarak parçalanmış uçucucu bileşikler biyolojik olarak aktif toprak etrafında buhar olarak uzaklaşırlar.

- Biyolojik havalandırma uzun süreçli teknolojiler içerisinde yeralır. Arıtım aralığı birkaç ay ile yıllar arasında değişebilir. Teknoloji, petrol kökenli hidrokarbonlar, klorlu olmayan çözücüler, bazı pestisitler, ahşap koruyucular ve diğer organik kimyasallarla kontamine olmuş toprakların remediyasyonunda başarıyla uygulanmaktadır.

- Herhangi bir biyoremediyasyon tekniği inorganik kirleticileri parçalayamaz, biyoremediyasyon inorganiklerin değerliliklerini değiştirmek için kullanılabilir ve adsorpsiyona neden olur, ayrıca inorganik konsantrasyonlarının mikro yada makro organizmalarca alımına ve birikimine neden olur.

- Bu teknikler, hala deneysel aşamalarda olmakla birlikte, topraktan inorganiklerin uzaklaştırılması ve stabilizasyonu için dikkate değer ölçüde umut vericidir.

- *Yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini etkileyen faktörler mevcuttur;*
- Doymuş ve permabilitesi düşük topraklar ve su tablasının yüzeye yakın olması biyolojik havalandırmanın performansını düşürür,
- Toprak neminin düşük olması biyodegredasyonu kısıtlayabilir.
- Çıkış gazının toprak yüzeyinde izlenmesi gerekir,
- Klorlu bileşiklerin biyodegredasyonu bir anaerobik döngü olmadıkça yada ortamda bir ko-metabolit bulunmadıkça etkili olmaz,
- Düşük sıcaklıklar remediyasyonu yavaşlatabilir, bununla birlikte başarılı remediyasyonlar çoğunlukla soğuk hava iklimlerinde görülmüştür.

Çamur Biyoreaktörü (Slurry Phase Bioreactor)

- Araziden uzaklaştırılmış kirli toprağın, aerobik bir reaktörde su ve nutrientlerle karıştırılması sürecine dayanır. Böylece mikroorganizmalarla kirletici teması artırılır. Uygun sıcaklık dereceleri ayarlanır ve uygun pH değeri için pH ayarlayıcı solüsyon sürekli olarak ortama verilir. Arıtım sonrası toprak su karışımı durultularak, su fazı ayrılır.

Arıtılmış toprak arazide tekrar depolanabilir veya farklı amaçlar için kullanılabilir.

- Biyolojik olarak iyileştirme (biyoremediyasyon) teknikleri patlayıcılar, petrol kökenli hidrokarbonlar, petrokimyasallar, çözücüler, pestisitler ve diğer organik kimyasallarla kirlenmiş toprakların iyileştirilmesinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

- Biyoreaktörler daha çok yerinde iyileştirme teknikleri için heterojen, düşük permabiliteye sahip topraklarda arıtım süresinin kısıtlı olduğu durumlarda tercih edilirler.

- Çamur biyoreaktörleri öncelikle halojenli yarıuçucu ve uçucu organik bileşiklerin giderimde tercih edilirler. Ardışık anaerobik/aerobik çamur biyoreaktörlerde PCB'ler, pestisitler içeren topraklarda arıtılabilirler.

Arazi Düzenlemesi (Land Farming)

- Toprak doğal ortamından alınarak özel olarak hazırlanmış zemine yayılır. Burada biyolojik aktiviteyi hızlandırmak ve havalanmayı kolaylaştırmak için düzenli olarak karıştırılır ve çevrilir.
- Gerekirse besinler eklenir. Besin ve oksijen eksikliği biodegradasyonu geciktirebilir.
- Arazi iyileştirilmesi yada arazi uygulaması olarak bilinen ve biodegradasyon yoluyla petrol bileşenlerinin konsantrasyonlarını azaltan landfarming topraklar için yerüstü toprak teknolojisidir.

- Bu teknoloji genellikle yeryüzü üzerinde ince bir tabaka halinde yerinden kazılarak alınmış kirli toprakların yayılarak serilmesini ve havalandırma ve/veya mineraller, besinler ve nem eklenmesiyle toprak içindeki aerobik mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmeyi amaçlar (EPA, 1995).

- Mikrobiyal aktivitenin artması, mikrobiyal solunumun etkisiyle adsorbe olmuş petrol ürünü bileşenlerinin degradasyonuna neden olur. Eğer topraktaki kirlilik toprağın fazla derininde değilse (yer yüzeyi altında yaklaşık 90 cm ‘den daha az ise) toprağı kazarak çıkarmaksızın mikrobiyal aktiviteyi etkili şekilde teşvik etmek mümkün olabilir. Petrol ürünü bileşenleriyle kirlenmiş topraktaki kirlilik 1.5 m’den daha fazla bir derinlikte ise topraklar kazılarak çıkarılmış ve yeryüzü üzerinde tekrar işleme tabi tutulmuş olmalıdır.

- Uygulama durumuna değinecek olursak, yer altı depolama tank alanlarında tipik olarak bulunan petrol ürünü bileşenlerinin hemen hemen tümünün konsantrasyonlarının azaltılmasında landfarming uygulamasının etkili olduğu ispatlanmıştır. Burada da rastlanılan petrol ürünü bileşenlerinin yapısına ve doğasına göre bio-yığınlardaki gibi uygulamalar yapılır.

- Daha çok uçucu olan petrol ürünleri lanfarm havalandırma yöntemleri (sürme, devirme) esnasında buharlaşma ile ortadan kalkma eğilimindedirler. Mikrobiyal solunum vasıtasıyla da degrade olma yeteneği gösterirler. Burada da daha düşük moleküler ağırlıklı petrol ürünleri buharlaşma eğilimi de olurken yüksek moleküler ağırlıklı petrol bileşenleri için daha uzun periyotlu bir degrade olma zamanı söz konusudur.

- Mikroorganizma faaliyeti, toprakların karakteristikleri, kirleticilerin uçuculuğu ve iklim şartları önem kazanmakta ve bu uygulama içinde belirleyici faktörler olmaktadırlar. Örneğin bakteri gelişimini etkileyen bir diğer etmen de toprakların pH değerleridir. Bu değer 6-8 arasında olmalıdır.
- Bu teknolojinin uygulanmasından önce bu değerlerin dışında pH değerlerine sahip topraklara landfarming işlemleri esnasında yada öncesinde pH ayarlaması gerekecektir. Bu işlem alana kireç ekleyerek pH'nın yükseltilmesi ve elementel sülfür eklenmesiyle de düşürülmesi olarak geçekleştirilir. Bununla birlikte, toprak mikroorganizmaları için nem faktörü de önemlidir. Işte burada da toprak nem düzeyi dengede tutulmalıdır. Aşırı nem oluşumu oksijeni azaltacağından dolayı aerobik bakteri faaliyetini etkileyecektir. Nemin istenen sınırlar altında olması da istenmeyen bir durumdur. Bu gibi durumlarda dışarıdan eklemeler ile arttırılabilir.
- Toprak neminin ideal düzeyi toprağın su tutma kapasitesinin % 40-85'i arasındaki değerdir. Ağırlık olarak dikkate alınırsa yaklaşık %12-30'dur. Nemin aşırı birikimi aşırı yağış alan yada zayıf drenajlı sahalardaki arazi düzenleme yöntemin (landfarm) de meydana gelebilir. Bu şartlar arazi uygulama dizaynında dikkate alınmalıdır.
- Örneğin geçirimsiz bir örtü yoğun infiltrasyonu ve uygulama sahasının erozyona maruz kalmasını engelleyebilir. Mikroorganizmalar biodegradasyon süreçlerinin devamı ve hücre gelişimlerini ilerletmek için azot ve fosfor gibi inorganik besinlere gereksinim duyarlar. Bu besinler uygulama alanına eklenebilir fakat aşırı besin miktarları mikrobiyal metabolizmayı ters yönde etkileyebilir. Burada sonuç olarak önemli olan bu uygulamaların düzenli olarak kontrol edilmesidir. Bunun içinde mutlaka bir kontrol planı oluşturulmalıdır (EPA, 1995).

- Kazılarak alınan toprak birkaç metre yüksekliğinde yığın halinde bırakılır. Mikroorganizmalar ile degradasyon aktivitesini arttırmak için yığın içine hava üflenir ve gerekirse besinler eklenir. Yığınlardan yayılan gazlardan dolayı, bazı uçucu kirleticilerde kontrol edilmelidir.

- Toprak bio-yığınları (soil biopiles), landfarmlar gibi yeraltı depolama tank alanlarında bulunan tipik petrol ürünlerinin yaklaşık tüm oluşumlarının konsantrasyonlarını azaltmada etkili bir rol oynamaktadırlar.

- Daha hafif (uçucu) petrol ürünleri örneğin gazolin gibi, havalandırma yöntemleri esnasında (hava enjeksiyonu, hava ekstraksiyonu yada yığın devirme ve harmanlama) evaporasyon yoluyla ortadan kaldırılmaya ve mikrobiyal solunum vasıtasıyla degrade olmaya uygun hale gelirler.

- Dizel yakıt, karosen gibi orta dereceli hidrokarbon ürünleri, daha hafif (daha fazla uçucu olan) oluşumların daha düşük yüzdelerini ihtiva ederler. Bu petrol ürünlerinin biodegradasyonu evaporasyona göre daha fazla önem kazanmaktadır.

- Daha ağır (uçuculuğu çok az veya hiç uçucu olmayan) petrol ürünleri (ısıtılmış petrol yağ ürünleri), bu petrol ürünlerinin biodegradasyonunu bozan baskın mekanizma bioyığın havalanması esnasında buharlaşmazlar. Bununla birlikte daha yüksek moleküler ağırlıklı oluşumlar daha hafif oluşumlara göre daha uzun bir degradasyon zamanına ihtiyaç duyarlar (EPA, 1995).

Bir bioyığın sisteminin etkiliği üç kategoride gruplandırılabilen bir çok parametreye bağlıdır;

- Toprak karakteristikleri
- Ortamın yapısı
- İklim şartları

Toprak tekstürü, toprağın geçirgenliğini, nem içeriğini ve hacim yoğunluğunu etkiler. İnce tanecikli topraklar kaba tanecikli topraklara göre daha az geçirgendir. Daha düşük geçirgenlige sahip toprakların havalanması zordur fakat daha yüksek geçirgenliğe sahip toprağa nazaran daha iyi nem tutma yeteneğindedirler. Bununla birlikte düşük geçirgenlik genellikle nem, hava ve besinlerin eşit bir şekilde dağılımının zor olduğu topraklar ile ilişkili tutulur.

- Biopile dediğimiz toprak bio-yığınlarının aerobik bakteri faaliyetini devam ettirebilmesi ve biodegradasyonun teşvik edilmesi için belirli zamanlarda devrilmeye yada sürülmeye ihtiyaçları vardır. Burada önemli bir konu da mikroorganizma faaliyetidir. Topraklar normal şartlarda farklı mikroorganizmaların geniş bir çeşitliliğini (bakteri, alg, mantar, protozoa ve aktinomiseter gibi) bünyesinde bulundurur. Bio-yığınlar için en uygun drenaj koşullarının oluşturulduğu topraklarda bu organizmalar genellikle aerobiktirler.

- Bu organizmalar içinde özellikle düşük oksijen seviyelerinde biokimyasal olarak aktif olan grup ve en kalabalık olanı bakterilerdir. Bakteriler çoğalma için gerekli olan metabolik faaliyetlerin devamı için bir enerji kaynağına ve hücre gelişimleri için bir karbon kaynağına ihtiyaç duyarlar.

- Ayrıca bu gelişim için azot ve fosfor kaynağı da gereklidir. Toprak mikroorganizmaları ideal gelişimleri için ayrıca nemli toprak koşullarına ihtiyaç duyarlar. Bununla birlikte aşırı nemli toprak havanın toprak içerisindeki hareketini kısıtlar ve böylece aerobik bakteri faaliyeti için gerekli olan oksijenin yarayışlılığı azalır. Genelde topraklar nemli olmalıdır fakat bu nem oranı dengede tutulmalıdır.

- Bakteri gelişimini etkileyen bir diğer etmen de sıcaklıktır. Toprak mikrobiyal aktivitesinin 10^0C'nin altındaki sıcaklıklarda önemli derecede azaldığı gösterilmiştir.

- Petrollü hidrokarbonların biodegradasyonu için önemli çoğu bakterilerin mikrobiyal aktivitesi 45 ^{0}C'den daha yüksek sıcaklıklarda azalır. Kirlenmiş topraklarda petrollü organik kirleticiler ve ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının bulunması bio-yığınlardaki biodegradasyondan sorumlu bakterilerin çoğalmasına ve gelişmesine toksik etkide bulunabilir yada bu durumu engelleyebilir.

- Diğer taraftan organik materyallerin çok düşük konsantrasyonları da mikrobiyal aktivitenin azalmış seviyelerini ortaya çıkaracaktır

Avantajları;

- Dizayn ve tamamlanması nispeten basittir.
- Arıtım işlem zamanı kısa olup optimal koşular altında genellikle 6 aydan 2 yıla kadardır.
- Düşük biodegradasyon oranları ile organik oluşumlar üzerine etkilidir.
- Kapalı bir sistem olarak dizayn edilebilir.
- Arazi düzenlenmesine göre(landfarming) daha az bir saha kullanımını gerektirir.

Dezavantajları;

- Yüksek konsantrasyon oluşumlarında etkili olmayabilir(>50.000 ppm, total petrollü hidrokarbonlar için)
- Önemli ağır metal konsantrasyonlarının mevcudiyeti (>2.500 ppm) mikrobiyal aktiviteyi engelleyebilir.
- Uçucu oluşumlar arıtım esnasında biodegradeye uğramadan ziyade buharlaşmaya eğilimlidirler.
- Lanfarming uygulamasından daha az olmasına rağmen geniş bir saha kullanımını gerektirir (EPA, 1995).

Kompostlaşma

- Mikroorganizmaların oluşumuna yardımcı olan ısı, karbondioksit, su buharı ve humus tarafından organik maddenin dekompose edilmesi esnasında kompostlaşma aerobik bir süreç gösterir. Kompostlaşma tekniğinde, biodegrade olabilir atık ve kirlenmiş toprak, mikroorganizmaların biyolojik aktiviteleri için gerekli hava ve suyun sirkülasyonunu kolaylaştırmak için saman gibi hacimli materyaller ile karıştırılır.

- Gerekirse besinler sonra da eklenir. Atık ve kirleticilerin biodegradasyonu, toprağın yığınlar halinde oluşturulduğu yerlerde, periyodik olarak vakum pompaları yada hava üfleyicileri ile havalandırılarak statik kompost yığınlarında gerçekleşir. Ayrıca karıştırma vasıtasıyla havalanmanın gerçekleştirildiği mekanik karıştırıcı özelliğine sahip özel tanklarda gerçekleştirilir.

- Kompostlaşmayı sağlayan başka bir teknik de, window kompostlaşma tekniğidir. Bu teknikte toprak uzun yığınlar halinde serilir ve atmosferik hava ve güneş ışığının fotolitik etkisine maruz bırakılır. Mikroorganizmalar ile organik maddenin degradasyonu atmosferik oksijen ve nemin yardımıyla gerçekleştirilir (MIRSAL, 2004).

Deponi kaplama (Landfill Capping)

- *Atıkların yüzeylerinin ışığa maruz kalmalarını minimize etmek,*
- *Suyun atıkların içerisine dikey sızmasını önlemek, böylece kirlenmiş sızıntılar oluşumunun önüne geçmek,*
- *Uygulunacak arıtımlarda atıkları kontrol altında tutmak,*
- *Yeraltındaki atıklardan kaynaklanan gaz emisyonlarını kontrol etmek*
- *Yeşillendirmek yada diğer amaçlar için kullanmak üzere yüzey alanları oluşturmak.*

Arazi kaplama remediyasyonun başlıca oluşumudur çünkü genelolarak diğer teknolojilerden daha az maliyetlidir ve remediyasyon bölgelerinde insani ve ekolojik risklerin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar.

- Deponi kaplamalarının dizaynı bölgeye özeldir ve planlanan sistemin işlevine dayanır. Arazi kaplama bitkilendirilmiş bir toprak tabakasından jeosentetiklerin ve toprakların kompleks çoklu tabakalarına kadar değişik şekillerde olabilir.

- Genel olarak, kuru iklimlerde daha az kompleks sistemler gerekirken, nemli bölgelerde daha kompleks sistemler kullanılır. Kaplamada yapılarının içerisinde kullanılan materyal; düşük ve yüksek permabiliteye sahip topraklar ve düşük permabiliteli jeosentetik ürünleri içerir. Düşük permabiliteli materyal suyu engeller ve atık içerisine geçmesine engel olur. yüksek permabiliteli materyal suyu sürükler ve kaplama içerisine sızdırır. Diğer materyaller ise eğim dengesini artırmak için kullanılırlar.

- Arazi kaplamanın en kritik bileşenleri bariyer tabakaları ve drenaj tabakalarıdır. Bariyer tabakası düşük permabiliteli toprak (kil) ve/veya jeosentetik kil astarları (GCL) olabilir. Bir esnek jeomembran astar bariyer tabakası üzerinde yeralabilir. Jeomembranlar genellikle büyük rolulardır ve değişik kalınlıklarda (20-40 mil), genişliklerde (15-100) ve boylarda (180-840 fit) olabilirler.

- Polimerler yaygın olarak kullanılırlar. Bunlar polivinilklorür (PVC), çeşitli yoğunluklarda polietilenler, desteklenmiş klorosülfonatlı polietilen (CSPE-R), polipropilen gibi maddeler içerirler.bariyer materyali olarak kullanılan topraklar genellikle hidrolik iletkenliği 1x10-6 cm/dk 'yı aşmaması için sıkıştırılmış killerdir. Bir birleşik bariyer toprak ve jeomembranın herikisini de içeriri böylece iki madeninde özelliklerinden yaralanılmış olur. jeomembran genellikle geçirimsizdir fakat, eğer bir sızıntı oluşursa toprak komponentleri atlltaki atığa su sızıntısını önleyecektir.

- Deponi kaplama geçici yada nihai olabilir. Geçici kapmalar nihai kapatmadan önce daha iyi bir remediyasyon sağlamak için sızıntı oluşumunu minimize etmek üzere yapılabilir. Genellikle atık kütlesi yerleştirildikten sonra infiltrasyonuen aza indirmek için kullanılırlar.

- Deponi kaplamalar aynı zamanda atık kütlesi büyük olduğu ve diğer arıtım metotları pratik olmadığı zamanlarda uygulanırlar. Örneğin; madencilik bölgelerinde, kaplamalar kirlenmiş atık yığınlarının içerisine suyun infiltrasyonunu enaza indirerek bitkilenmeye uygun bir yapı sağlamaktadır.

- Deponi kaplama toksisiteyi, haraketliliği yada tehlikeli atıkların hacmini azaltmaz fakat taşınımı azaltır. Deponi kaplama atık kütlesinin su tablasının üzerinde olduğu durumlarda oldukça etkilidir.

- Kaplama, kendi başına atık etrafında yer altı suyunun yatay akışını önleyemez sadece suyun atık içerisine dikey girişine engel olur. Çoğu durumlarda deponi kaplama, yatay akışı ve taşınımı en aza indirmek için dikey duvarlarla birlikte kullanılır.

BITKILERLE ARıTıM

- Bitkilerle arıtım, bitkilerin inorganik ve organik kirleticileri, bazı metabolik gereksinimleri ve sorbsiyon yetenekleri sayesinde bünyelerine almasıyla, kirleticilerin toprak ortamından uzaklaştırılması işlemidir. Bitkiler, kök sistemlerinde salgıladıkları kimyasallar nedeniyle toprak-kirletici etkileşimini değiştirerek, kök çevresindeki kirleticilerin alınımını sağlarlar. Kök bölgesinde söz konusu kirleticilerin hareketliliği; toprak pH'sı, köklerden kompleks yapıcı maddelerin salınımı, oksidasyon/redüksiyon potansiyeli ve mikrobiyal aktivitedeki artış gibi faktörlere bağlıdır. Kirleticilerin bitkiler tarafından alınması köklerinin ulaşabildiği bölge ile sınırlıdır.

- Ağır metallerin bitkilerle gerçekleştirilen gideriminde üç ana mekanizma rol oynamaktadır:

- Bitki ekstraksiyonu
- Bitki stabilizasyonu
- Bitki filtrasyonu

BITKI EKSTRAKSIYONU

- Bitki ekstraksiyonu tekniğinde, kirlenmiş topraktan metal konsantrasyonlarını büyük oranlarda alabilen, nadir bitkiler kullanılmaktadır. Bu bitkiler, toprak yüzeyindeki bitki dokularında, ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarını biriktirme kabiliyetine sahip olduklarından “hiperakümülatör” adını almışlardır.

BITKI STABILIZASYONU

- Bitki stabilizasyonu tekniği, metallerin hareketliliğini, kök bölgelerinde oluşacak tutunma, çökeltme, kompleksleşme ve redüksiyon gibi mekanizmalar yoluyla sınırlandırmak için kullanılmaktadır. Buna ek olarak stabilizatör bitkiler, erozyonu minimize etmekte de katkı sağlamaktadırlar. Bu bitkiler, metalleri, dokularında az biriktirdiğinden dolayı, hasattan sonra tehlikeli atık sınıfına girmezler.

BITKI FILTRASYONU

- Bitki filtrasyonu tekniği, toprakta sızıntı halinde bulunan kirlenmiş suyun veya yer altı suyunun, bitkilerin aşırı büyük yüzey alanına sahip lifli kök sistemleri sayesinde giderimini sağlar. Bu giderim için, çöktürmek, biriktirme ve tutma gibi mekanizmalar gerçekleştirilir.

- Hasattan sonra bitki artıkları, yüksek oranda metal içerecektir. Bu atıklar tehlikeli atık olarak depolanabilir veya maden filizi gibi geri dönüşüm işlemlerine tabi tutulabilirler.

ŞEKIL 3.1 METALLERIN BITKIYLE ARıTıM SÜREÇLERININ ŞEMATIK GÖSTERIMI (SUTHERSAN,S.S.,1999)

BİTKİLERLE DOĞAL ARITIM