

4. Yerinde İyileştirme (In situ Bİ)

Mikroorganizmaların Biyolojik İyileştirmedeki Rolü:

Yerinde Biyolojik İyileştirmenin amacı kirleticileri yok etmek amacıyla besin maddesi ve diğer kimyasal maddeler vererek mikroorganizma gelişimini uyarmaktır. Bugün biyolojik iyileştirme sistemleri kirlenmiş alandaki doğal mikroorganizma kapasitesi ile sınırlandırılmaktadır. Ancak araştırmalar kirletici bölgelere doğal olmayan mikroorganizma aşılama yöntemlerine yönelmektedir. Bu amaçla özellikle mevcut kirleticiyi yok etme özelliğine sahip mikroorganizmaların kullanılması amaçlanmaktadır. İster doğal ve isterse sonradan ilave olsun biyolojik iyileştirmenin anlaşılabilmesinde kritik nokta mikropların nasıl kirleticileri yok ettiğinin anlaşılabilmesidir.

Mikroplar Kirleticileri Nasıl Yok Eder:

Biyolojik iyileştirme sınırlı sayıda kirleticinin (çoğunlukla gazolin içinde bulunan hidrokarbonların) temizlenmesinde kullanılmasına rağmen, mikroorganizmalar bütün organik kirleticiler ile çoğu inorganik kirleticileri biyolojik olarak parçalama yeteneğindedirler.

Mikroplar Kirleticileri Nasıl İmmobilize Ederler:

Kirleticilerin daha az zararlı formlara çevrilmesine ilaveten, mikroplar mobil formdaki kirleticileri immobil forma da çevirirler. Mikropların kirleticileri immobil hale geçirmelerinde 3 temel yol vardır:

1. Mikrobiyal biomas hidrofobik organik molekülleri sorbe edebilirler. Kirletici taşınımı boyunca yeterli biyomas büyümesi kirletici hareketini durdurabilir veya yavaşlatabilir. Bu olay biyolojik perdeleme (biocurtain) olarak adlandırılır.
2. Mikroorganizmalar metallerin çökmesi için yükseltgenme veya indirgenme olaylarına yol açabilirler. Örneğin Fe⁺² yi Fe⁺³'e yükseltgeyerek demir hidroksit (Fe(OH)₃) çökeleğinin oluşması veya SO₄⁻² nin sülfite (S⁻²) indirgenmesiyle pyrit (FeS) çökmesi gibi.
3. Mikroorganizmalar metallerin bağlı bulunduğu organik bileşikleri parçalayabilir ve metalleri çözültüye geçirebilirler. Bağlı olmayan metaller çöker ve immobil haldedirler.

Biyolojik İyileştirmeden Kolaylıkla Etkilenen Kirleticiler

Biyolojik iyileştirmenin temizleme yöntemi olarak uygunluğu kirleticinin mikroorganizma varlığında biyolojik iyileştirme yöntemlerinde etkilenip etkilenmediğine bağlıdır. Bazı bileşikler doğada yaygın olarak bulunan mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla parçalanırlar ve uygulanan tekniklere karşı kolay cevap verirler. Tablo 4.1. de Biyolojik iyileştirmeye karşı uygun olan veya olmayan bileşiklerin listesi verilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi petrol hidrokarbonları için Bİ teknikleri yerleşmiştir fakat onun dışındaki bileşikler için hala uygun yöntem arayışı sürmektedir. Tablonun 2. kolonunda kirleticilerin atık bölgelerinde görülme sıklığı verilmektedir. 3. kolon kirleticilerin temizlenmesi için Bİ tekniklerinin gelişim durumunu göstermektedir. (deneme aşaması (Emerging) kirleticilerin laboratuvar koşullarında denenmiş ve kontrollü koşullar altında tarla denemelerinin sürdüğünü ifade etmektedir. Yerleşmiş (Established) ise kirleticilerin Bİ

tekniklerine karşı ticari değere sahip olacak kadar başarılı denemeler sonucu uygun olduğu tam olarak ispatlanmış anlamındadır. Mümkün (possible) ise kirleticilerin Bİ teknikleriyle temizlenmesi ihtimali potansiyel gelecek vadeden anlamını taşımaktadır. 4. kolonda hangi tip organizma kirleticiyi parçalar ve nasıl daha kolay bu işi yürüteceği belirtilmektedir. 5. kolonda Bİ tekniklerini sınırlayıcı özellikler verilmiştir. Tablo genelinden çıkarılan sonuç ise daha az biyolojik parçalanabilir kirleticilerin daha fazla tutunma özellikleri olduğudur.

Tablo 4.1. Kirleticilerin Biyolojik İyileltirmeden Etkilenme Durumları

Bileşik	Oluşum sıklığı	Bİ durumu	Gelecekteki başarı durumu	Sınırlamalar
Hidrokarbon ve türevleri Gazolin, fuel oil	Çok sıklıkla	Yerleşmiş		Akvatik sıvı faz formları
PAH lar	Yaygın	Deneme aşaması	Sınırlı koşullar altında aerobik olarak biyolojik parçalanabilirler	Katı yüzeye kuvvetli bağlanma
Creosote	Seyrek	Deneme aşaması	Aerobik koşullarda parçalanabilirler	Katı yüzeye kuvvetli bağlanma ve Akvatik sıvı faz formları
Alkoller, ketonlar, esterler	Yaygın	Yerleşmiş		
Eterler	Yaygın	Deneme aşaması	Sınırlı koşullar altında aerobik olarak veya nitrat indirgeyen mikroplarca biyolojik parçalanabilirler	
Halojenli alifatikler Yüksek klorlu	Çok sıklıkla	Deneme aşaması	Anaerob mikroplarla kometabolizm veya özel durumlarda aerob mikroplarla kometabolizm	Akvatik sıvı faz formları
Düşük klorlu	Çok sıklıkla	Deneme aşaması	Sınırlı koşullar altında aerobik olarak biyolojik parçalanabilirler ve	Akvatik sıvı faz formları

			Anaerob mikroplarla kometabolizm	
Halojenli aromatikler Yüksek klorlu	Yaygın	Deneme aşaması	Sınırlı koşullar altında aerobik olarak biyolojik parçalanabilirler ve Anaerob mikroplarla kometabolizm	Katı yüzeye kuvvetli bağlanma ve Akvatik sıvı ve katı faz formları
Düşük klorlu	Yaygın	Deneme aşaması	Aerobik koşullarda parçalanabilirler	Akvatik sıvı ve katı faz formları
PCB ler Yüksek klorlu	Seyrek	Deneme aşaması	Anaerob mikroplarla kometabolizm	Katı yüzeye kuvvetli bağlanma
Düşük klorlu	Seyrek	Deneme aşaması	Sınırlı koşullar altında aerobik olarak biyolojik parçalanabilirler	Katı yüzeye kuvvetli bağlanma
Nitroaromatikler	Yaygın	Deneme aşaması	Aerobik koşullarda parçalanabilirler, anerob koşullarda uçucu organik asitleri zarasız hale çevirme	
Metaller (Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Cd, Zn vd.)	Yaygın	Mümkün	Mikrobiyal proses çeşidine bağlı olarak çözünebilirlik değişkendir	Alınabilirlik çok değişken

Biyolojik İyileştirmenin Avantaj ve Dezavantajları

Bİ yöntemlerinin kirlenmiş toprak ve su kaynaklarının arıtılmasında kullanılan fiziksel kimyasal yöntemlere göre pekçok avantajları vardır.

1. Bİ de kullanılan temizleme işlemi için maliyet 100-250 dolar/m³ iken arazi doldurma veya yakma gibi geleneksel tekniklerin maliyeti 250-1000 dolar/m³ tür.

2. Bİ de zararlı bileşikleri biyolojik parçalama ve detoksiye (zararsız) etmek amaç iken, havalandırma, aktif karbonda tutma, katılaştırma/sabitlenme, yıkama, arazi doldurma gibi diğer yöntemler ise kirleticileri farklı bölge veya ortama taşımaktan ibarettir.

3. Bİ diğer yöntemlere oranla nispeten daha basit teknolojiye sahiptir.

Buna rağmen Bİ pek çok dezavantaja da sahiptir.

1. Performansının (uygulanabilirlik ve verimliliğinin) tahmini çok zordur.

2. Bİ projelerinin başarısı mikrobiyal büyüme için gereken çevresel koşulların oluşturulması ve korunmasına bağlıdır. Mikroorganizmalar sıcaklığa, pH'ya, kirletici toksisitesine, kirletici konsantrasyonuna, nem içeriğine, besin madde konsantrasyonuna ve oksijen konsantrasyonuna karşı hassastırlar. Mikrobiyal aktivite azalması parçalanmayı yavaşlatır ve oksijen uygulama süresini uzatır. Mikroorganizma aktivitesi durursa (toksik metabolitlerin oluşumu sonucu) prosese yeniden başlamak zorunluluğu vardır.

3. Kirleticilerden arınmada Bİ her zaman başarıyla sonuçlanmayabilir. Çünkü bazı kirleticiler biyolojik olarak parçalanamazlar veya kısmen biyolojik parçalanabilirler veya kirleticinin mevcut miktarı mikrobiyal olarak uzaklaştırılmayacak kadar çoktur. Kirletici seviyesi azaltıldığında biyolojik parçalanma yavaşlar. Ve mikroorganizmalar diğer enerji kaynaklarına yönelir veya büyümelerini durdururlar. Bazı durumlarda Bİ bölgeyi temizlemede yeterli olamayabilir ve diğer yöntemler gerek duyulur.

4. Sonuç olarak Bİ nispeten zaman tüketimidir.

Biyolojik İyileştirmeye Etki Eden Faktörler

Bİ ye etki eden faktörleri 3 temel grupra toplayabiliriz: çevresel, fiziksel ve kimyasal faktörler.

1. Çevresel Faktörler:

Çevresel faktörler Bİ reaksiyonlarını yürüten mikroorganizmaların optimum büyüme koşullarını sağlamak için gereklidir. Mikroorganizmalar sıcaklık, pH, besin madde yarıyışlılığı, oksijen varlığı, ve nem miktarı değişimlerine karşı hassastırlar. Bölüm 3'te bunlar ayrıntılı olarak verilmiştir.

2. Kimyasal Faktörler:

Bİ'ye etkileyen en önemli kimyasal faktör kirleticinin moleküler yapısıdır. Biyolojik parçalanabilirlik çözünübilirlik, saturasyon derecesi, değişim miktarı gibi faktörlerle ilişkilidir. Çözünübilirlik, mikroorganizmalar akvatik ortamda besin elementlerini aldıklarından dolayı önemlidir. Yüksek çözünübilirlik bileşiklerin daha fazla alınabilirliğine yol açar. Buna rağmen C-C bağlarının mikroorganizmalar tarafından parçalanması zor değildir. Saturasyonun derecesi

uçuculuk ve çözünebilirlikle ilişkilidir. Çok dallı alkanlar gibi sature olmuş zincirleri mikroorganizmaların ayrıştırması zordur. Örneğin aynı formüle sahip olmalarına rağmen (C₈H₁₈) n-oktanlar (en kuvvetli oktan zinciri) 3 propyl pentane'a göre daha kolay parçalanır. Organik moleküllere klor, azot, kükürt ve fosfor ilavesi sonucunda organik moleküller biyolojik olarak daha fazla sabitleşirler. Amino bileşikleri hariç protein ünitesi olan alfa amino asitler nispeten çoğu mikroorganizmalar tarafından daha kolay metabolize olurlar. Bİ disiplinlerarası çalışma alanıdır. Mikrobiyoloji, toprak bilimi, kimya, jeoloji veya hidroloji, işlem mühendisliği gibi disiplinleri birleştirir.

3. Fiziksel Faktörler:

Bİ' de en önemli fiziksel faktörler kirleticilerin mikroorganizmalarca alınabilirliği, su varlığı ve oksijen gibi uygun elektron alıcı kaynakları. Bütün kirleticiler bazı benzer özelliklere sahiptirler. Çoğu bilinen kirletici düşük suda çözünebilirlik ve partikül yüzeyine kuvvetli bağlanma özelliğindedir. Örneğin petrol türevli hidrokarbonlar genellikle polar değildir ve katı faza kuvvetle tutunurlar. Kirleticiler bakterilerin koloni oluşturamayacak kadar küçük mikroplar içinde birikirler (1 mikrometreden küçük). Mikroorganizmaların besin maddelerini sıvı fazdan temin etmelerinden dolayı Bİ oranı desorpsiyon oranı ile sınırlıdır. Yerinde Bİ de kirleticiler gözeneklerde hapsediğinden kirleticinin alınabilirliği fazla değildir. Dışarıda Bİ 'de özellikle arazi uygulamaları ve çamur faz uygulamalarında agregatların kırılması sonucu mikroorganizmaların kirleticilerle kontağı mümkün olmaktadır. Yerinde Bİ'de zaman zaman kimyasalları çözmek ve desorpsiyonu sağlamak amacıyla surfaktanlar kullanılmaktadır.

Bölüm 3' de ayrıntılı olarak belirtildiği üzere mikroorganizmaların büyümeleri için gerekli olan organik karbon, inorganik besin maddeleri ve elektron alıcılarını sıvı fazdan temin ettiklerinden dolayı su gereklidir. Bİ proseslerinde mikrobiyal komünitelerin gelişimine imkan verecek miktarlarda su sisteme ilave edilmelidir. Buna rağmen fazla su toprakta hava akışını engelleyebilir ve mikrobiyal solunum için gerekli olan oksijen kaynağını azaltabilir. Sature olmamış topraklarda Bİ için gerekli optimum nem içeriği 150-250 g/kg'dır. Suda düşük oksijenden (7,5-9 mg/l) dolayı yeraltında kirlenmiş aküferlerin Bİ'de oksijen temini karşılaşılan en büyük problemdir. Oksijen mikrobiyal solunumda en yaygın kullanılan elektron kabul edicisidir. Sature olmamış topraklarda oksijen temini temel problem değildir. Bun akarşın suda düşük çözünebilir oksijenden dolayı aküferlerde kirlenmiş bölgelere oksijenin taşınımı çok zordur. Aküferlerde oksijenin yanısıra nitrat, nitrit, +3 değerlikli demir ve karbon dioksit gibi alternatif elektron kabul ediciler kullanılabilir. Ancak mikroorganizmaların bu alternatif elektron kabul edicileri kullanmaları sınırlıdır.