

# **TOPRAK KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ**

## **13. HAFTA**

---

Doç. Dr. Burcu Özkaraova

---

# KIRLENMİŞ SAHALARDA GİDERİM

---

# KİRLETİCİLERİN TOPRAKTA İYİLEŞTİRME VE GİDERİM YÖNTEMLERİ

# ARAZI İÇİNDE (İN-SITU) ARITIM

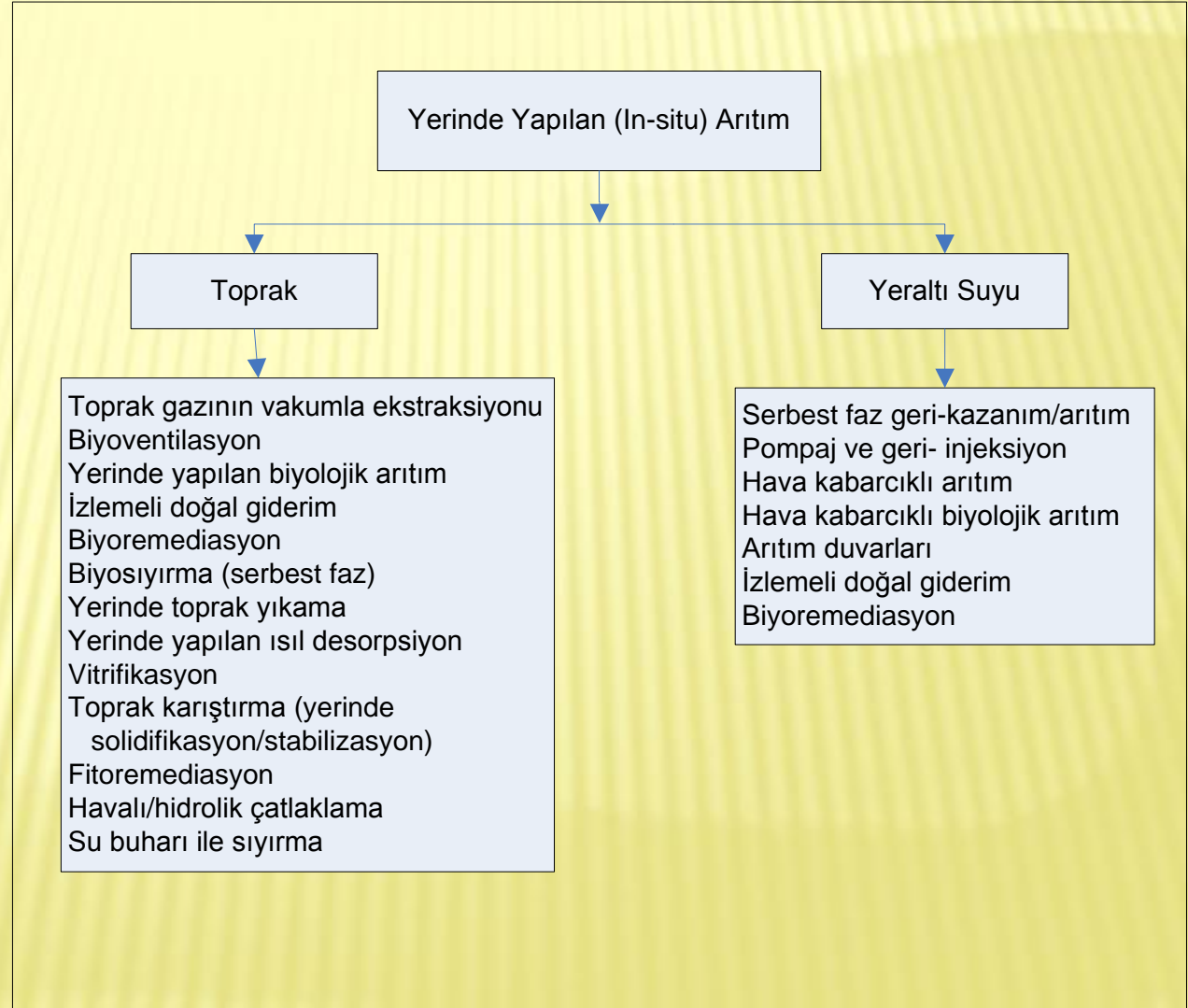
- ✘ Yerinde (in-situ) arıtım/temizleme teknolojileri toprağın hafriyatı veya yeraltı suyunun ekstraksiyonu yapılmaksızın kirliliğin bulunduğu yerde giderilmesini sağlamak üzere hem toprak hem de akifer katmanlarında uygulanabilir.
- ✘ Yerinde yapılan (in-situ) arıtım teknolojilerinin yerinden alınarak yapılan (ex-situ) arıtım teknolojilerine kıyasla bazı önemli avantajları vardır. Bu avantajları şu şekilde sıralamak mümkündür:
  - + Toprak ve yeraltı suyunun temizlenmesinde in-situ teknolojilerin maliyet-fayda etkinliği ex-situ teknolojilere kıyasla daha yüksektir. Kirliliğin hafriyatı ile ex-situ arıtım sistemlerinin işletim, bakım ve yüzeyde arıtım masrafları daha yüksektir.
  - + In-situ teknolojilerin, ağır ekipman kullanımı, hafriyat veya yüzeyde geniş kullanım alanları gerektirmediğinden, sahada/tesiste halen devam eden faaliyetler üzerinde olumsuz etkisi ex-situ teknolojiler kadar değildir.
  - + Kirlenmenin gideriminin yerinde yapılıyor olması sebebiyle, in-situ teknolojilerde temizleme faaliyeti esnasında insan ve çevre sağlığını olumsuz etkileyen kirleticilere maruz kalma riski asgari düzeydedir. Buna karşılık, derinde bulunan kirlenmenin hafriyat veya pompaj yoluyla yüzeye çıkarılması aynı alıcıların kirleticilere maruz kalma riskini önemli ölçüde artırır.

× Pek çok avantajına rağmen in-situ teknolojilerin aşağıda sıralanan bazı **dezavantajları** da mevcuttur.

---

- + In-situ teknolojiler kullanılarak yapılan temizleme faaliyetleri genelde daha fazla zaman almaktadır.
- + Sahaya özgü, toprak/akifer heterojenliği, düşük hidrolik iletkenlik, kirlilik dağılımı, kirlenmiş toprak veya akifer içerisindeki kirli bölgeye erişimin fiziki engellerin (örneğin bina, altyapı sistemleri, vb.) nedenlerle engellenmesi, proses kontrol kısıtlamaları gibi faktörler in-situ teknolojilerin etkinliğini azaltabilmektedir.
- + Düşük hidrolik geçirgenlik ve heterojenlik, arıtımı gerçekleştirecek sıvıların (örneğin oksijen, mikrobiyal besin maddeleri, sürfaktant gibi maddelerin) toprak veya akiferdeki kirli bölgeye ulaşmasını ve orada homojen bir şekilde dağılmasını engelleyebilir; bu da düşük geçirimsizliğe sahip kısımların yetersiz temizlenmesine veya hiç temizlenememesine yol açabilir.
- + Kirlenmiş sahada serbest fazda LNAPL veya DNAPL mevcut olup olmaması gibi, kirlenmenin özellikleri ve dağılımı in-situ teknolojilerin uygulanabilirliğini ve uygulanması gereken arıtım/temizleme teknikleri kombinasyonu/sırasını belirler. Örneğin, serbest fazda LNAPL veya DNAPL bulunması halinde ilk önce serbest fazın giderilmesi, ancak bundan sonra in-situ teknolojilerin uygulanması mümkündür. In-situ teknolojiler ancak bakiye ve çözünmüş fazdaki kirletici temizlenmesi için kullanılabilir.

KIRLETICILER TOPRAKTA VE YERALTI SUYUNDA SERBEST, BAKIYE, ÇÖZÜNMÜŞ VE GAZ FAZLARINDA BULUNABİLMEKTEDİR. KIRLETICILERIN TOPRAK VE YERALTI SUYUNDA BULUNUŞ DURUMUNA GÖRE DEĞİŞİK IN-SITU TEKNOLOJILERININ TEK BAŞINA VEYA ARDIŞIK OLARAK KOMBINASYON HALİNDE BİRLİKTE KULLANILMASI MÜMKÜNDÜR.



× Şekil 2.6 toprak ve yeraltı suyunun yerinde (in-situ) arıtımı/temizlenmesi için kullanılabilecek teknoloji seçenekleri

Fiziksel/Kimyasal				
Arıtım duvarları	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, metaller, inorganikler	Kirlenmiş yeraltı suyu akışı yönünde, içerisinde kirlenici tipine uygun olarak yerleştirilmiş reaktif maddeler bulunan geçirgen duvar yerleştirilir. Kirlenici duvarın yapısında bulunan kimyasallar aracılığı ile giderilir.	
Hava kabarcıklı arıtım	YAS	Uçucu organikler, solventler	Akifer içindeki kirlenmiş bölgeye kuyular aracılığı ile hava basılır ve kirlenicilerin buharlaştırılması sağlanır. Toprak gazının vakumlu ekstraksiyonu yöntemi ile birlikte uygulanır.	
Toprak gazının vakumlu ekstraksiyonu	Toprak	Uçucu organikler, solventler	Toprağa vakum uygulamak amacıyla kuyular açılır ve bu sayede uçucu kirlenicileri ihtiva eden toprak gazı toplanır. Toplanan gaz arıtılmalıdır.	
Yerinde toprak yıkama	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler, metaller, inorganikler	Kirlenmiş bölgeden kirlenicilerin çözünmesini veya desorpsiyonunu sağlamak amacıyla reaktif sıvı akışı sağlanır. Reaktif sıvı daha sonra sığ kuyular veya yüzeyaltı drenaj sistemiyle toplanarak yüzeyde arıtılır.	
Toprak karıştırma (yerinde solidifikasyon/stabilizasyon)	Toprak	Pestisitler, metaller, inorganikler	Kirlenmiş topraktaki kirleniciler, kireç ve benzeri pozolan malzemelerle karıştırılarak hareketsiz hale getirilir.	
Havalı/ hidrolik çatlaklama	Toprak	Organikler, metaller	Basıncı hava ya da akışkan, düşük geçirgenlikli malzemeye enjekte edilerek çatlakların oluşması sağlanır.	
Serbest faz geri kazanım/arıtım	YAS	LNAPL, DNAPL	Yeraltı suyundaki serbest fazın (su tablasında LNAPL veya akifer tabanında DNAPL) mevcut olması halinde öncelikle serbest ürünün akiferden uzaklaştırılması, daha sonra yüzeyde sudan ayrılacak gerikazanımı veya arıtımını içermektedir.	
Pompaj ve geri injeksiyon	YAS	Suda çözülmüş kirleniciler	Kirlenmiş yeraltı suyunun pompajla alınarak arıtılıp tekrar geri deşarj edilmesidir.	

**Biyolojik**

İzlemeli doğal giderim	Toprak, YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprak ve yeraltı suyunda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların kirleticileri degrade etmesi yolu ile gerçekleşir. Yoğun izlemeye dayanır.
Fitoremediasyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler (Petroil hidrokarbonları, PAHlar)	Kirlenmiş toprak üzerinde bitki yetiştirmek suretiyle arıtım sağlanır. Sonuç, toprak özellikleri, kirleticisi türü ve <u>konsantrasyonu</u> ile bitkinin absorplama kapasitesine bağlıdır.
Biyoremediasyon	Toprak, YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprak ve yeraltı suyunda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların kirleticisi degradasyonunu sağlamaları için oksijen ve besin maddeleri ilavesiyle desteklenmesi suretiyle temizleme gerçekleştirilir.
Bioventing	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Kirleticilerin biyolojik degradasyonun desteklenmesi amacı ile açılan kuyularla toprağa hava (oksijen) verilir.
Hava kabarcıklı biyolojik arıtım	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Kirleticilerin biyolojik degradasyonun desteklenmesi amacı ile enjeksiyon kuyuları aracılığı ile yeraltı suyuna hava (oksijen) verilir.

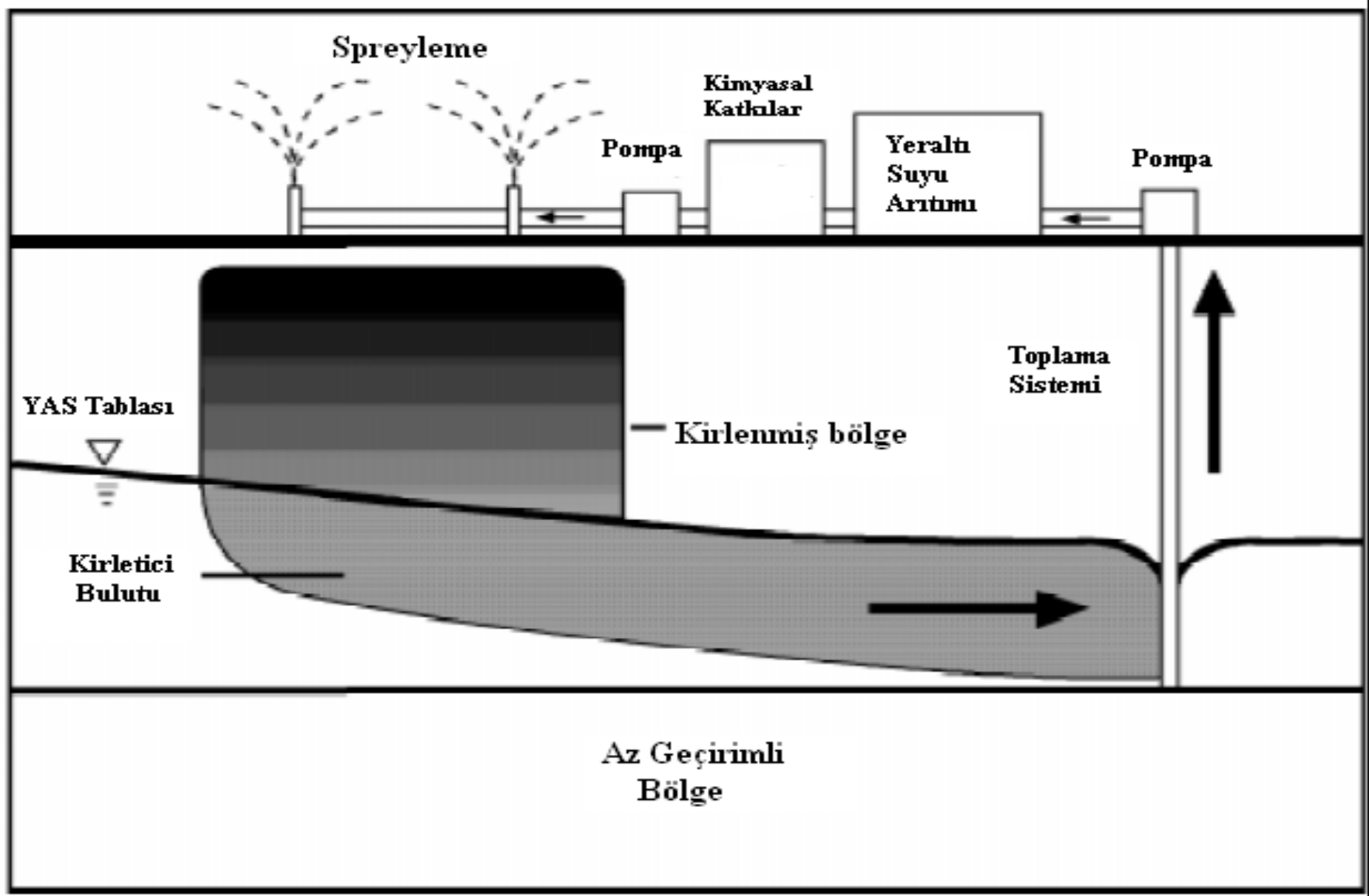
**Termal**

Su buharıyla sıyırma	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Enjeksiyon ve ekstraksiyon kuyuları kullanılarak kirlenmiş bölgeden su buharı geçişi ve bu sayede kirleticilerin topraktan sıyırılması sağlanır.
Vitrifikasyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler, metaller, inorganikler	Toprak, elektrotlar kullanılarak 1600 - 2000 °C'ye ısıtılır ve katıların erimesi kirleticilerin ise kristal yapıya geçmesi sağlanır.
Yerinde ısı desorpsiyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprakta bulunan kirleticilerin uçmasını sağlamak amacıyla ısı uygulanmasıdır.

# ARAZI İÇİNDE TOPRAK YIKAMA

---

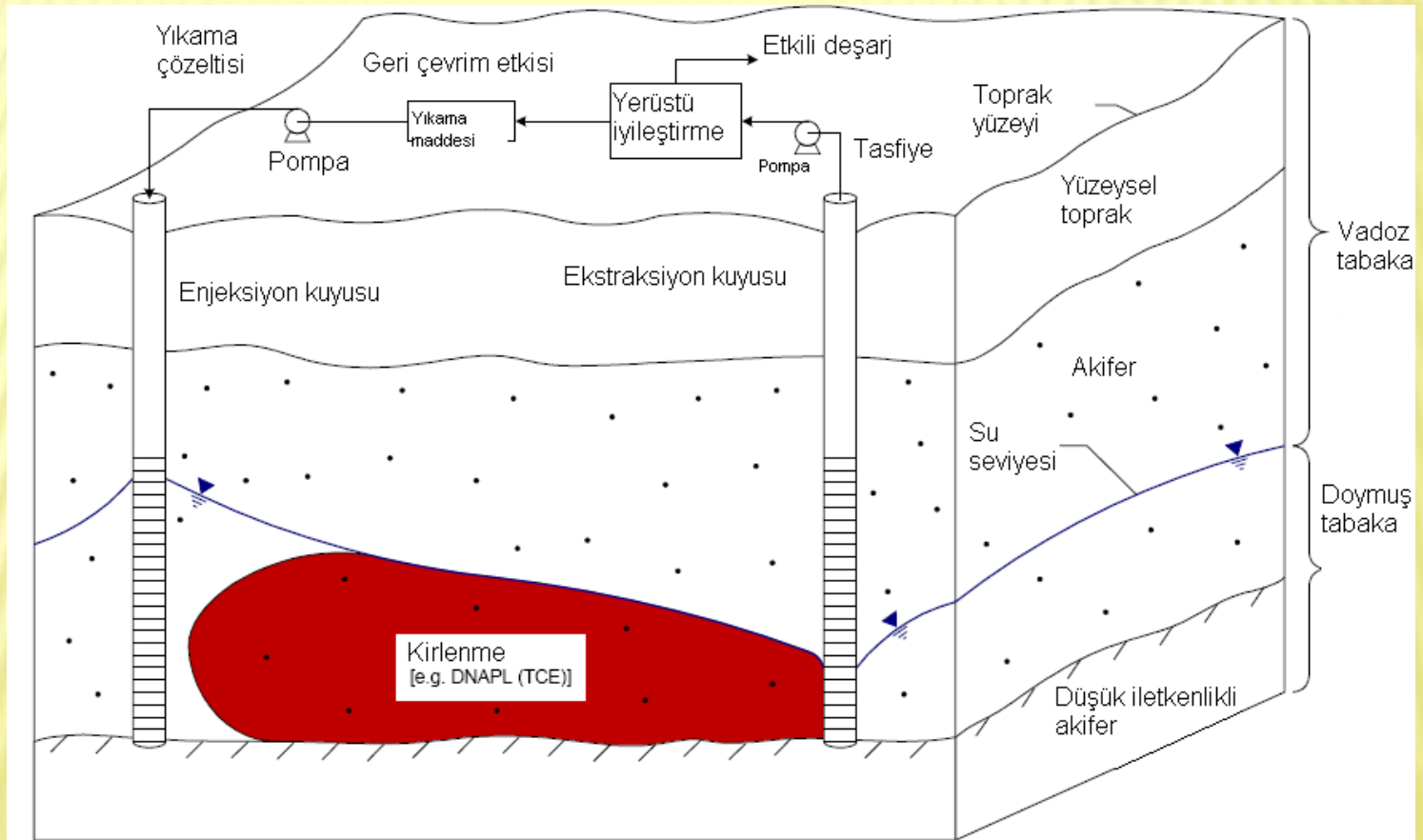
- × Arazi içinde toprak yıkama tekniğinde, kirleticilerin giderilmesi için, kirlenmiş toprağın yıkama solüsyonlarıyla yıkanarak, kirliliklerin toprak suyuna geçmesi sağlanmaktadır. Yıkama işlemi, yıkama solüsyonunun enjeksiyon kuyularıyla toprak içerisine verilmesiyle veya toprak yüzeyine spreyleneceğiyle yapılabilmektedir. Yıkama sonucunda kirleticiler çözünerek toprak suyuna alınmaktadır. Daha sonra kirlenmiş toprak suyu yer altı suyu akış yönüne yerleştirilen kuyular sayesinde dışarı taşınmaktadır. Dışarı alınan su, kirlenmiş su olacağından, uygun arıtım teknikleriyle arıtılması gerekmektedir.



ŞEKİL 3.2 TIPIK ARAZI İÇİ YIKAMA SİSTEMİ (EPA, 1997)

- × *Yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini kısıtlayan faktörler mevcuttur. Bunlar;*
- × Kompleks atık karışımları (organiklerle metal karışımı) yıkama çözeltisi oluşumunu zorlaştırır.
- × Topraklardaki yüksek hümik madde içeriği ön arıtım gerektirebilir.
- × Ek arıtım adımları, arıtılacak kalıntılardaki yıkama çözücülerinde miktarını artırır.
- × Kil boyutundaki partiküllerin üzerine adsorblanmış organiklerin giderimi zor olabilir.

# ARAZİ İÇİ BASINÇLI YIKAMA SİSTEMİ (ROOTE, 1997)



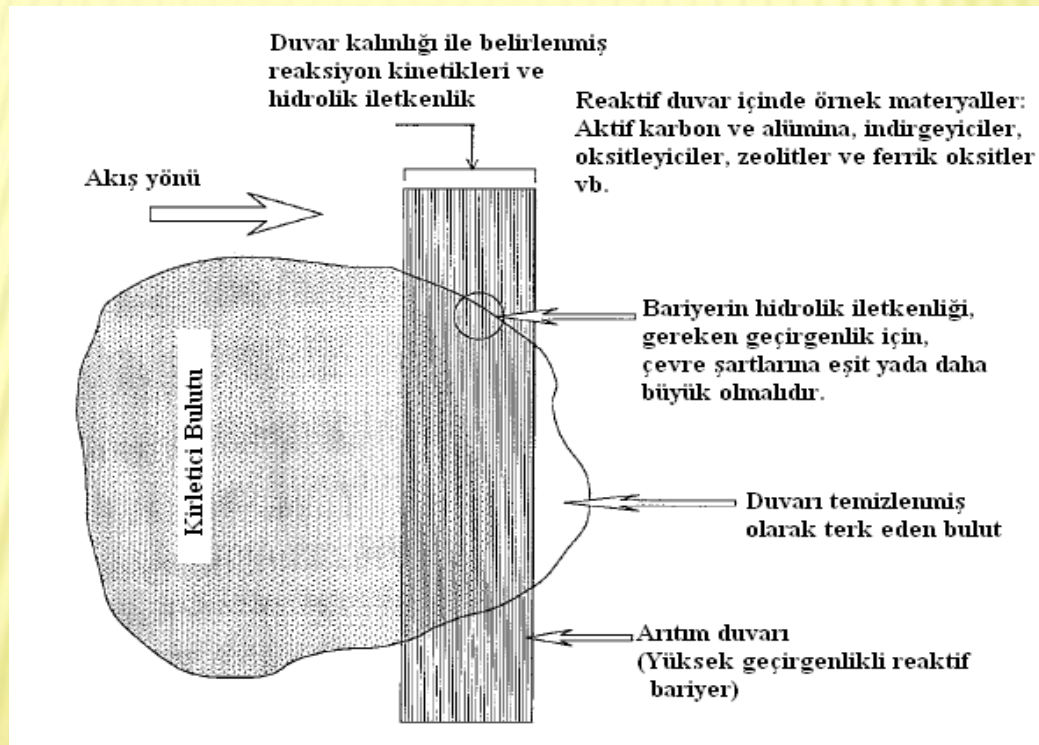
- ✘ Bu yöntem topraktaki veya akiferdeki kirleticilerin su ve benzeri çözücülerle yıkanarak alınması işlemidir. Yöntemde yıkama çözeltisi zemine enjekte edilmektedir.
- ✘ Zemine enjekte edilmiş çözelti zemin içerisinde hareket ederken kirleticiyle karşılaştığında kimyasal reaksiyona girerek kirleticiyi çözelti içerisine almaktadır.
- ✘ Daha sonra bu çözelti pompayla yüzeye çıkarılmakta ve değişik yöntemlerle arıtılmaktadır. Yıkama çözeltileri su, asidik sıvılar ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), bazik sıvılar (sodyum hidroksit gibi), şelatlaştırıcı veya kompleksleştirici maddeler, indirgeyici maddeler veya yüzeydeki aktif maddelerden oluşabilir (EPA, 1995).

- ✘ Yoğun su ile toprak yıkama işlemi için hedef kirletici grubu radyoaktif kirletici içeren inorganiklerdir. Teknoloji aynı zamanda uçucu organik birleşiklerin, yarı uçucu organik bileşiklerin, yakıtların ve pestisitlerin gideriminde de kullanılır fakat bu kirleticiler için diğer arıtım yöntemleri daha az maliyetli olabilir. Yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini kısıtlayan faktörler mevcuttur. Bunlar;
- ✘ Düşük permeabiliteye sahip yada heterojen toprakların bu yöntemle arıtımı zordur.
- ✘ Yüzey aktif maddeler toprağa yapışabilir ve toprak porozitesini azaltabilir.
- ✘ Toprak ile çözeltilerin reaksiyonu kirletici hareketliliğini azaltabilir.
- ✘ Zemin üstü ayırım ve yeniden kullanılabilir akışkanlar için arıtım maliyeti arıtım sürecinin ekonomisini artırır.

# Geçirimli Reaktif Bariyerler

- × Reaktif bariyerler genelde tek başlarına bir giderim yöntemi olarak kullanılmamaktadırlar. Arazi içerisinde genellikle pompala-arıt (pump and treat) yöntemlerine dayanan arıtlara yardımcı yöntem olarak uygulanmaktadır ve genellikle organik ve inorganik kirleticilerin reaktif kısımda alıkonması suretiyle kontrolsüz olarak yayılması engellenmektedir.
- × Toprak ve yeraltı suyu içerisindeki inorganik ve organik kirleticiler, geçirimli reaktif bariyer ile temas ettiklerinde, duvarın mikro yapısında yer alan yükseltgen ve indirgen kimyasallar, şelat oluşturunu bileşikler, aktif karbon, demir hidroksit, karbonat ve fosfatlar ve mikroorganizmalar gibi maddelerle temas ederek aşağıdaki süreçler gerçekleşir;
- × ***Inorganik Kirleticiler:*** Sorbsiyon, çökekleşme, yer değiştirme, transformasyon, kompleksleme, oksidasyon ve redüksiyon.
- × ***Organik Kirleticiler:*** Sorbsiyon, abiyotik ve biyotik transformasyon ve parçalanma.

# GEÇİRİMLİ BARIYERLER İÇİN ANA UNSURLAR (YONG, R.N., 2001)



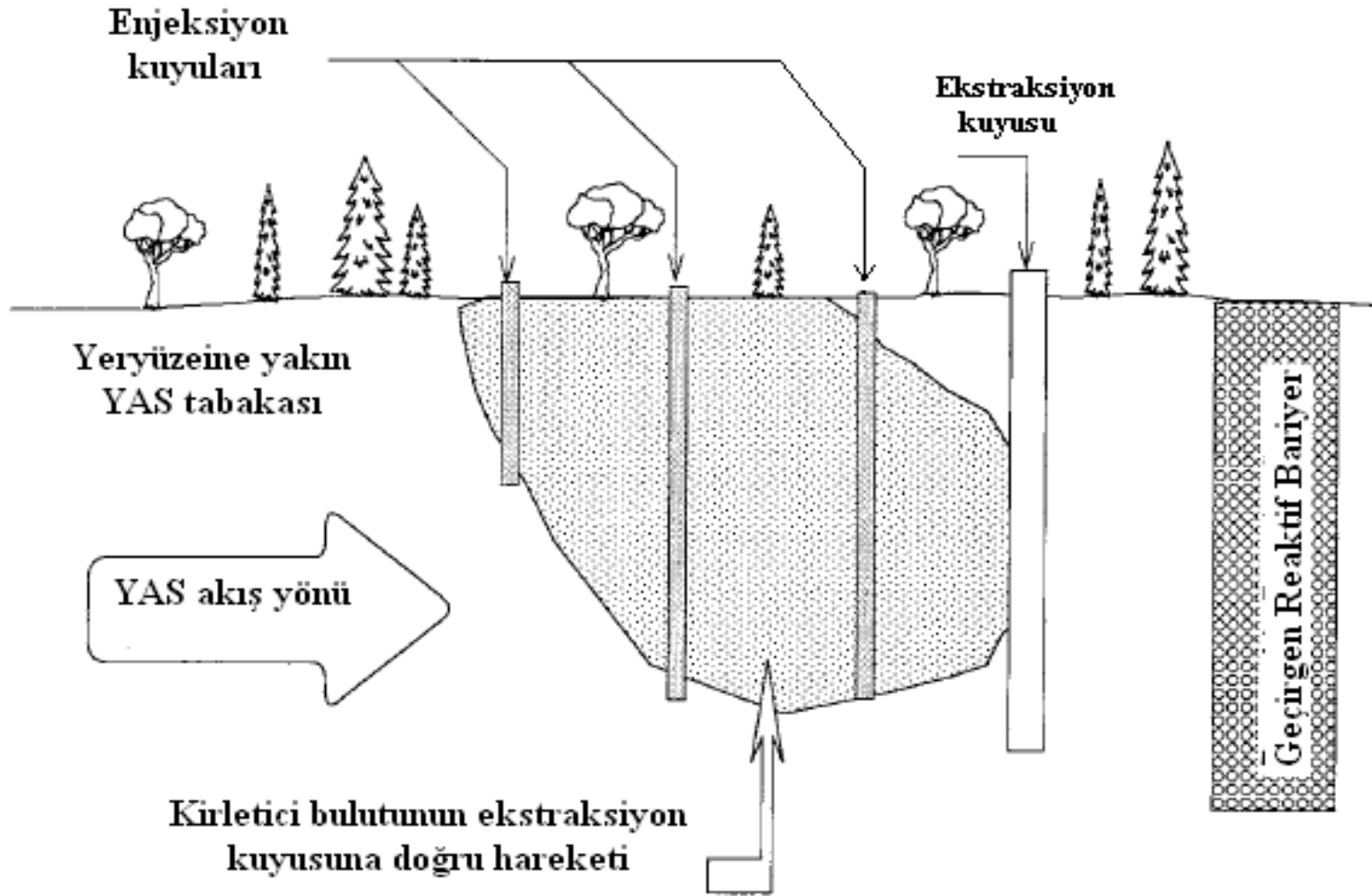
Bariyerlere, kirlenmiş endüstriyel bölgelerde ve henüz kirlenmemiş bölgelerde koruyucu ve önleyici özellikleriyle (clean-up) arıtım stratejilerinin bir parçası olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Deponilerdeki ya da diğer bölgelerdeki kirlilik sadece sulu çözeltilerle sınırlı değildir. Bir bariyer sadece inatçı kimyasal çözeltileri değil aynı zamanda yoğun ve hafif susuz faz likitlerini (NAPL'lar) de alıkoymalıdır.

Bariyer performansı yerel jeoloji, hidroloji, engellenmeye çalışılan materyalin doğası ve yakın çevredeki arazi kullanımı ile ilişkilidir.

- ✘ Çamur hendekleri (slurry trench cut-off), remediya bariyer sistemleri içerisinde en yaygın kullanılanıdır.
- ✘ Zemine kazılan bir hendeğin çökmeden kalabilmesi için 2 m' den derin olmaması gerekir. Bununla birlikte, eğer hendek uygun bir akışkanla doldurulursa ne kadar derinlikte olursa olsun çökmeden ayakta kalabilir. Bu amaç için dolgu olarak kullanılacak akışkanın iki ana karakteristiğe sahip olması gerekmektedir; hendek stabilitesini sağlayarak yeterli hidrostatik basınca sahip değildir ve kabul edilemeyecek derecede zemin içerisine akmamalıdır.
- ✘ Günümüzde kirlilik önlemeye yönelik çeşitli tiplerde çamur hendek akış kesicileri kullanılmaktadır. En çok kullanılan tipleri; toprak-aktif kil akış kesiciler (soil-active clay cut-offs), kil-çimento akış kesiciler (clay-cement cut-offs), kil-çimento-çakıl akış kesiciler (clay- cement-aggregate cut-offs), membranlarla akış kesiciler (cut-offs with membranes), yüksek-yoğunluk duvarları (high density walls) ve drenaj duvarları (drainage walls)'dır.

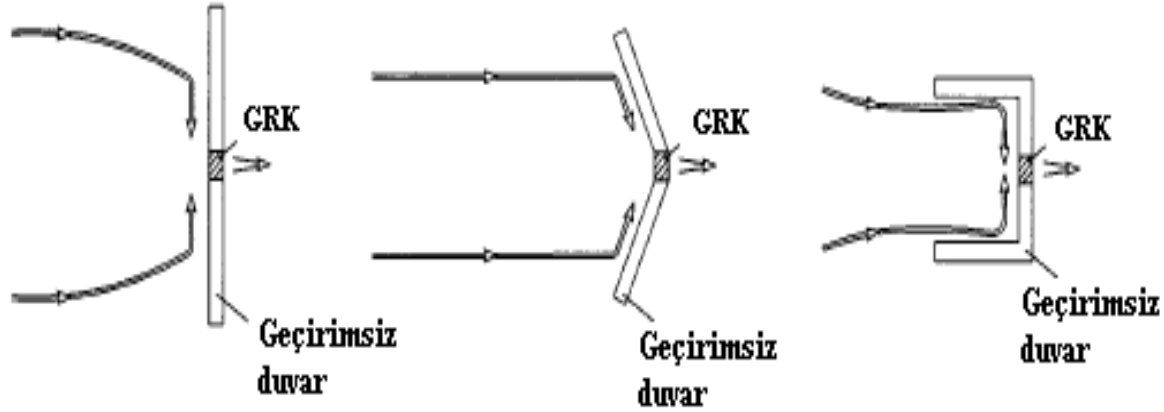
- × ***toprak-aktif kil akış kesiciler (soil-active clay cut-offs)***, kazı yapılarak boşaltılan kısım toprak-çok düşük geçirimsiliğe sahip aktif kil karışımı ile doldurulur. Toprak-aktif kil yüksek nem içeriğine sahip olmalıdır ki hendek içerisinde iyi sıkışabilsin. Ne yazık ki, yüksek su içeriğine sahip kil sistemleri kimyasal ataklara karşı dayanıklı değildir, kimyasal ortamda gerçekleşen herhangi bir değişiklik kil partikülleri arasındaki etkileşimlerde önemli değişimlerle sonuçlanır. Bu büzölmelere neden olabilir böylece permabilite dramatik bir biçimde etkilenir. İyi bir kimyasal direnç için yoğun şişmeyen kil sistemlerine ihtiyaç vardır.
- × ***Kil-çimento akış kesiciler (clay-cement cut-offs)***, bu tür akış kesicilerde bentonit-çimento ve su karışımları kullanılır. bu sistemlerin en iyi dizaynı için, mümkün olduğu kadar çok miktarda bentonit içeriği ve minimum miktarda çimento içeriği olmalıdır. Kil-çimento çamurları çoğunlukla kendikendine katılan çamurlar oralar kullanılırlar ve hendeğin içerisinde kolaylıkla alınabilirler.
- × ***Kil-çimento-çakıl akış kesiciler (clay-cement-aggregate cut-offs)***, derin ve bazı nedenlerden dolayı çok sert duvarlar gerekiyorsa, çamur kil-çimento-çakıl plastik beton karışımla yer değiştirebilir.

- × **Membranlarla akış kesiciler (cut-offs with membranes)**, kazıdan sonra ve çamur ayarlanmasından önce, hendek içerisine bir membran indirilebilir. Böyle membranlar genellikle, yüksek kirlilik seviyelerinin olduğu bölgelerde yada çok inatçı ve agresif kimyasalların bulunduğu durumlarda direnci artırmak için kullanılırlar. Gaz taşınımının kontrolü içinde membranlardan yararlanılabilir.
- × **Yüksek-yoğunluk duvarları (high density walls)**, bu tür akış kesicilerde katı materyal hidrofobiktir ve su geçirgenliği alışlagelmiş toprak-bentonit yada bentonit-çinemto duvarlardan çok daha düşüktür. Çok düşük geçirgenliğe sahip oldukları için burada difüzyon en önemli taşınım prosesidir. Sulu kirliliklere karşı kimyasal dirençleri alışlagelmiş çamur duvarlarından daha yüksektir. materyal maliyetleri daha yüksektir ve yüksek yoğunluklu çamur içeriğinden dolayı özel kazı hücreleri gerekebilir.
- × **Drenaj duvarları (drainage walls)**, kirlilik taşınımı (sıvı yada gaz) drenaj kanallarıyla da kontrol edilebilir. Bu kanallar tüm kirleticileri alıkoyacak yeterli derinliğe kadar inmeli dirler.



ŞEKİL 3.3 GEÇİRGEN REAKTİF BARIYER SİSTEMİ (YONG, R.N., 2001)

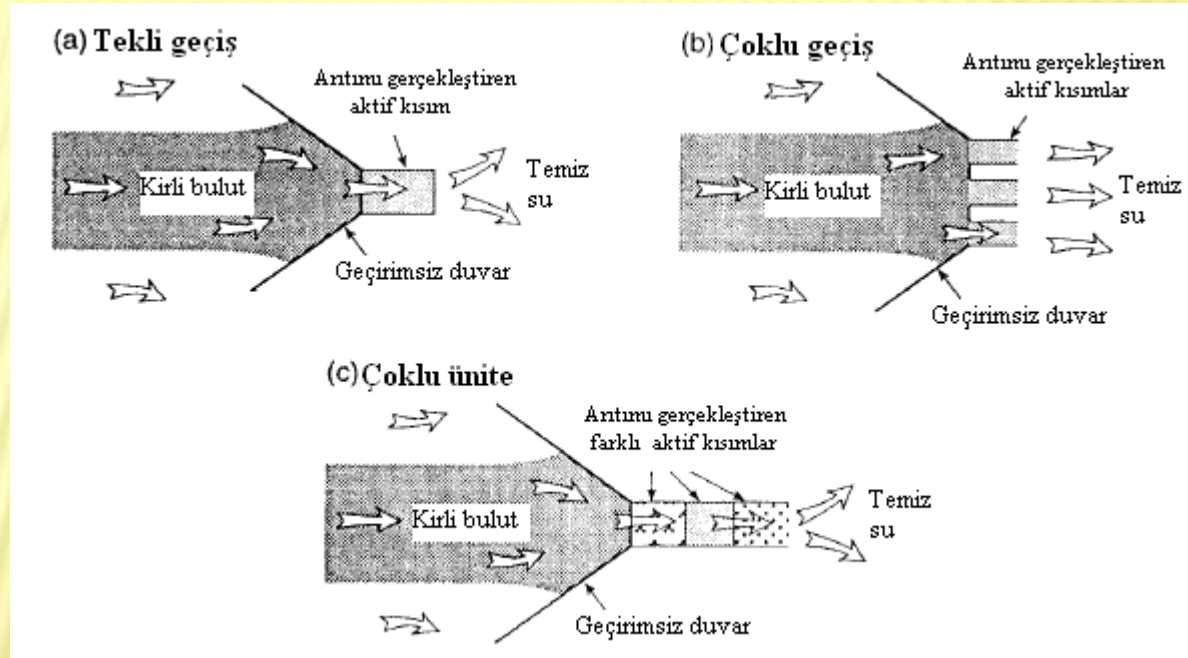
# YERALTI SUYUNUN GEÇİRGEN REAKTİF KISMA YÖNLENDİRİLME ŞEKİLLERİ (SUTHERSAN, 1999)

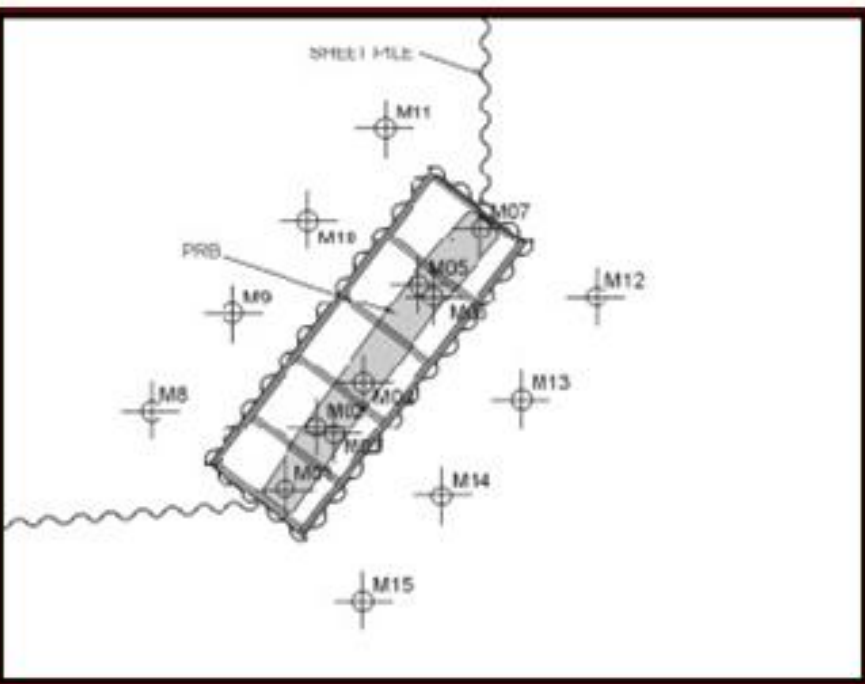


GRK: Geçirgen Reaktif Kısım (Bariyer)

# DUVAR VE GEÇİŞ SİSTEMLERİNİN ÇEŞİTLİ KONFIGÜRASYONLARI

(HOULIHAN VE LUCIA, 1999)





Chart



Constructing the Funnel

[http://www.rtdf.org/PUBLIC/permbarr/prbsumms/More\\_Info.cfm?mid=75](http://www.rtdf.org/PUBLIC/permbarr/prbsumms/More_Info.cfm?mid=75)



Filling in ZVI

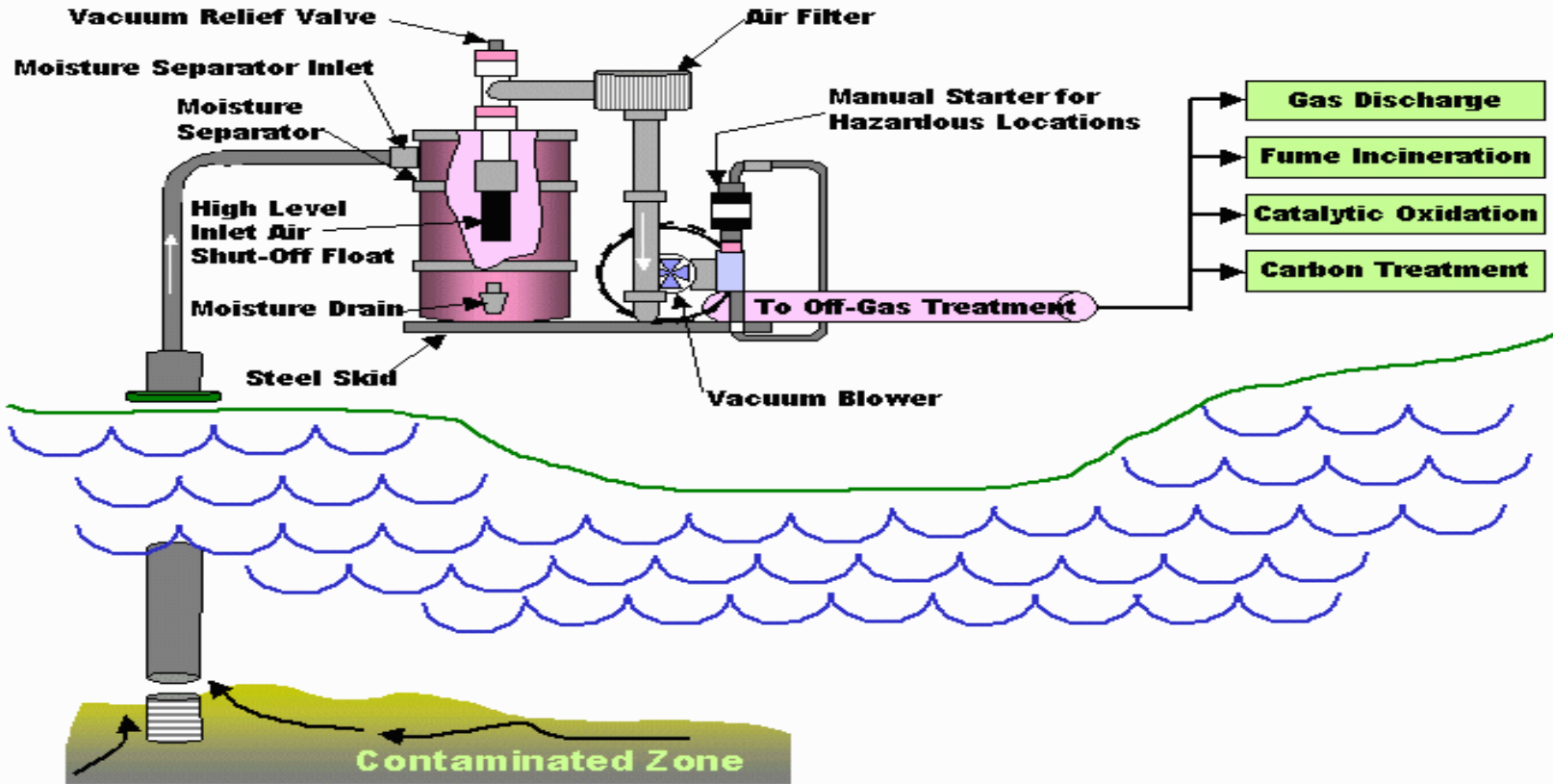


PRB before removing sheet pile

## **TOPRAK BUHAR EKSTRAKSİYONU**

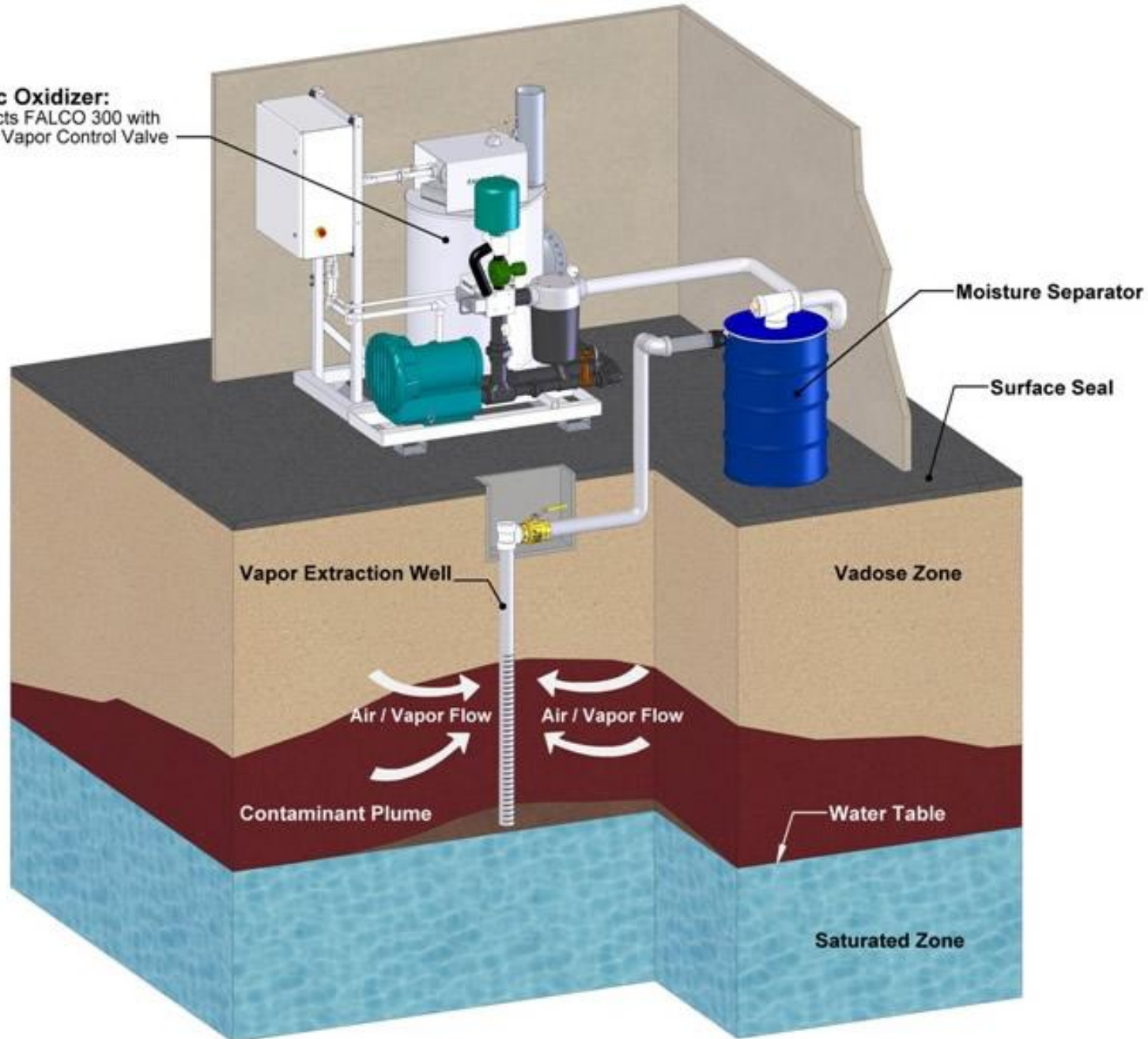
- ✘ Bu teknoloji, doymamış toprak zonu (vadose zon) içindeki uçucu organik bileşiklerin kolayca buharlaştırılması ve yok edilmesi için nispeten basit bir yöntemdir.
- ✘ Teknolojinin teknik süreci, toprak çözeltisi ve toprak havası arasındaki buharların ayrışması ile toprak çözeltisinden çıkan organik buharın ayrılmasını sağlamak için doymamış toprak zonuna temiz hava enjekte edilmesini kapsar. Toprak havasına katılan buhar daha sonra vakum ekstraksiyon yoluyla ortadan kaldırılır.
- ✘ Toprak buhar ekstraksiyonun etkinliği prensip olarak ekstrakte edilecek kirleticinin buhar basıncı ve uçuculuk gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanısıra arıtılacak toprağın su doygunluk derecesine bağlıdır.

- ✘ Bu teknolojide ekstraksiyonu hızlandırmak için, ısıtılmış hava ya da buhar toprak içerisine verilebilir. Kullanımdan kaldırılmış gaz istasyonlarının olduğu bölgelerde buhar kullanımı üzerine olan raporlar oldukça düşük maliyetlerde yüksek verimlerin elde edildiğini göstermiştir.
- ✘ Toprak buhar ekstraksiyon işleminde donanıma bir püskürtme sistemi eklemek bu teknolojiyi doymuş bölgedeki kirleticilerin gideriminde de uygun hale getirebilir.



- ✘ Dikey ekstraksiyon menfezleri tipik olarak 1.5 metre (5 feet) ya da daha fazla derinliklerde kullanılır ve 91 m (300 feet) derinliğe kadar başarılı bir şekilde uygulanabilir.
- ✘ Yatay ekstraksiyon menfezleri ise (yatay sondaj delikleri ya da hendek içinde yerleştirilir) kirlilik zonunun geometrisi, sondaj donanım girişi ya da diğer bölge faktörleriyle uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Toprak yüzeyi için yüzeyin üzerinde çoğunlukla sirkülasyonu önlemek ve kuyuların etki alanını artırmak için jeomembran örtüler yer alır.

**Catalytic Oxidizer:**  
Falmouth Products FALCO 300 with  
10 hp blower and Vapor Control Valve



### **SOIL VAPOR EXTRACTION (SVE)**

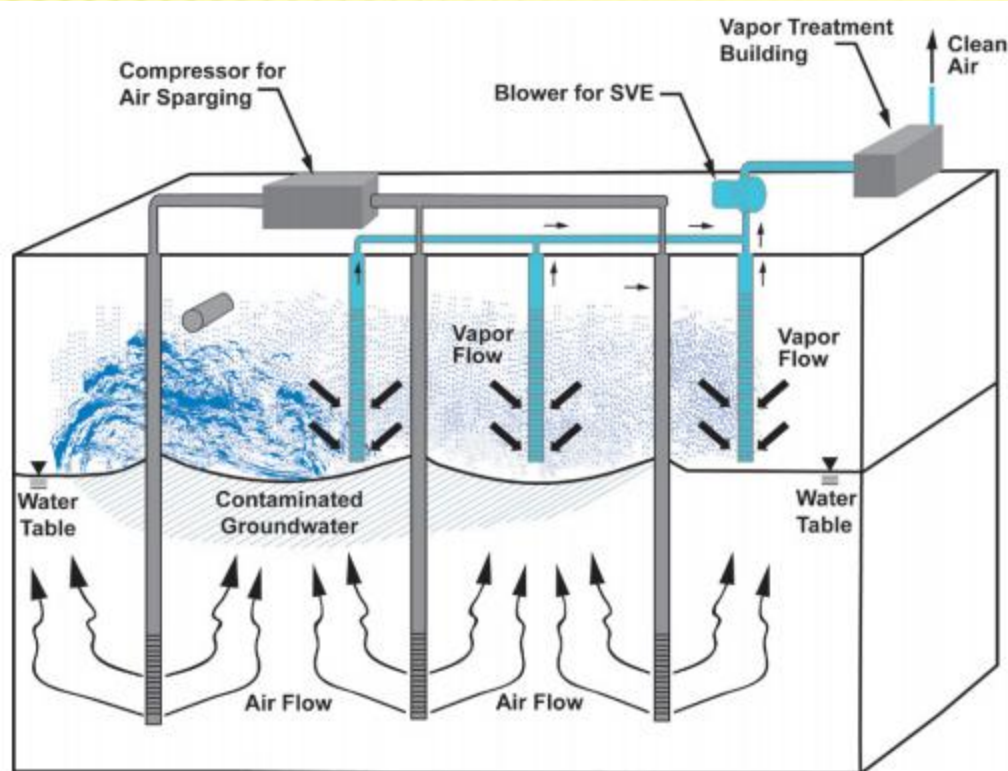
REV 4-28-11



**Soil Vapor Extraction (SVE) system**

<http://www.epa.gov/reg3hwmd/npl/PAD000436261.htm>

- × Yeraltı suyu basma pompaları vakumun neden olduğu suyun yüzeye yükselmesini azaltmak için ya da vadoz bölgesine derinliğini artırmak için kullanılabilir. Hava enjeksiyonu, derin kirlilik bölgelerinde, düşük geçirgenliğe sahip topraklarda ve doymuş bölgedeki kirliliklerde ekstraksiyonu kolaylaştırmak için etkilidir.



Both soil vapor extraction, or “SVE,” and air sparging extract (remove) contaminant vapors from below ground for treatment above ground. Vapors are the gases that form when chemicals evaporate. SVE extracts vapors from the soil *above* the water table by applying a vacuum to pull the vapors out. Air sparging, on the other hand, pumps air underground to help extract vapors from groundwater and wet soil found *beneath* the water table. The addition of air makes the chemicals evaporate faster, which makes them easier to extract with another technology, such as SVE.

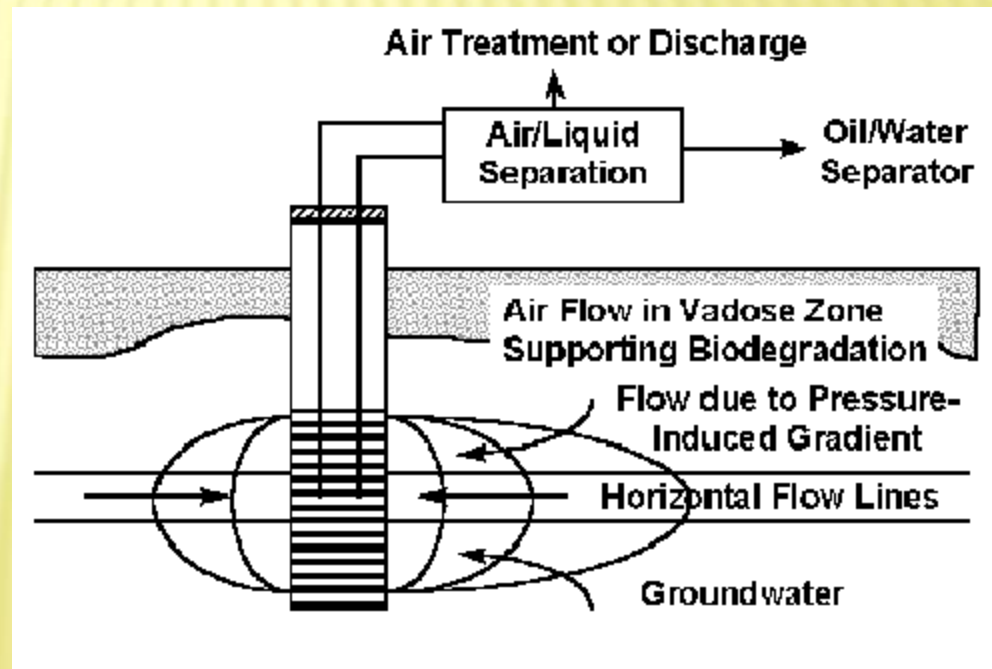
Both methods are used for chemicals that evaporate easily—like those found in solvents and gasoline. These chemicals are known as “volatile organic compounds,” or “VOCs.”

[https://clu-in.org/download/Citizens/a\\_citizens\\_guide\\_to\\_soil\\_vapor\\_extraction\\_and\\_air\\_sparging.pdf](https://clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_soil_vapor_extraction_and_air_sparging.pdf)

## ***Yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini kısıtlayan faktörler mevcuttur.***

- ✘ Toprak daha çok ince materyalden oluşuyorsa ve yüksek derecede doygunsa daha yüksek çapta vakum gereklidir (maliyet artar) ve/veya SVE sisteminin etkinliğini azaltır.
- ✘ Değişken permabiliteye ve tabakalaşmaya sahip topraklar için çok fazla zaman aralıkları gereklidir aksi takdirde kirlenmiş bölgeden düzensiz gaz akışı meydana gelir.
- ✘ Yüksek organik içeriğe sahip topraklar yada nispeten aşırı derecede kuru topraklar uçucu organik bileşikler için yüksek sorplama kapasitesine sahiptirler buda giderim oranını azaltır.
- ✘ SVE sisteminden dışarı salınan havanın çevre ve insan sağlığına olabilecek muhtemel etkilerini önlemek için artırılması gerekebilir.
- ✘ Atık sıvılar arıtımı yada bertarafı ve rejenerasyon ya da bertaraf için aktif karbon ihtiyacı vardır.
- ✘ SVE doymuş bölgede etkili bir yöntem değildir; bununla birlikte, su tablasının düşük olduğu durumlar SVE uygulaması için daha uygun olabilir.(LNAPL' lar)

- Bioslurping is the adaptation and application of vacuum-enhanced dewatering technologies to remediate hydrocarbon-contaminated sites. Bioslurping utilizes elements of both, bioventing and free product recovery, to address two separate contaminant media. Bioslurping combines elements of both technologies to simultaneously recover free product and bioremediate vadose zone soils. Bioslurping can improve free-product recovery efficiency without extracting large quantities of ground water. In bioslurping, vacuum-enhanced pumping allows LNAPL to be lifted off the water table and released from the capillary fringe. This minimizes changes in the water table elevation which minimizes the creation of a smear zone. Bioventing of vadose zone soils is achieved by drawing air into the soil due to withdrawing soil gas via the recovery well. The system is designed to minimize environmental discharge of ground water and soil gas. When free-product removal activities are completed, the bioslurping system is easily converted to a conventional bioventing system to complete the remediation.
- Operation and maintenance duration for bioslurping varies from a few months to years, depending on specific site conditions.



## DUAL-PHASE EXTRACTION (DPE)

<https://frtr.gov/matrix2/section4/4-37.html>

Dual-phase extraction (DPE), also known as multi-phase extraction, vacuum-enhanced extraction, or sometimes bioslurping, is a technology that uses a high vacuum system to remove various combinations of contaminated ground water, separate-phase petroleum product, and hydrocarbon vapor from the subsurface. Extracted liquids and vapor are treated and collected for disposal, or re-injected to the subsurface (where permissible under applicable state laws).

In DPE systems for liquid/vapor treatment, a high vacuum system is utilized to remove liquid and gas from low permeability or heterogeneous formations. The vacuum extraction well includes a screened section in the zone of contaminated soils and ground water. It removes contaminants from above and below the water table. The system lowers the water table around the well, exposing more of the formation. Contaminants in the newly exposed vadose zone are then accessible to vapor extraction. Once above ground, the extracted vapors or liquid-phase organics and ground water are separated and treated. DPE for liquid/vapor treatment is generally combined with bioremediation, air sparging, or bioventing when the target contaminants include long-chained hydrocarbons. Use of dual phase extraction with these technologies can shorten the cleanup time at a site. It also can be used with pump-and-treat technologies to recover ground water in higher-yielding aquifers

## Kimyasal Oksidasyon/Redüksiyon

- ✗ Redoks reaksiyonları tehlikeli kirleticileri daha az tehlikeli yada daha az toksik hale getiren kimyasal dönüşümlerdir. Böylece kirleticiler daha stabil, az hareketli ve inert hale gelirler.
- ✗ Tehlikeli kirleticilerin arıtımında kullanılan başlıca oksidasyon ajanları; ozon, hidrojen peroksit, hidrokloritler, klor ve klor oksittir.

### ✗ Permanganate tuzları

- + potasyum permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) 0.5-10 % ve sodyum permanganat ( $\text{NaMnO}_4$ ) 4-15 % değişen konsantrasyonlarda kullanılmaktadır.
- +  $\text{NaMnO}_4$  oksidantının  $\text{KMnO}_4$  'e göre avantajı sodyum katyonun deflokulant olarak davranıp oksidantın killi toprak içerisindeki dağılımını arttırmasıdır. Permanganate peroksit ve ozon gibi kendi kendine degrede olan bir bileşik değildir. Bu yüzden yeraltında daha kalıcı olup aktifliğini yitirene kadar daha uzun mesafeler taşınabilir. Manganeze dioksit çökeleklerinin oluşması ise toprak içerisindeki gözenekelerin tıkanmasına sebep olmaktadır. Kuru temizlemede kullanılan ve tehlikeli olan PCE ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ) 'nin permanagant ile oksidasyonu reaksiyon(1)'de gösterilmektedir (ITRC, 2000).
- +  $\text{C}_2\text{Cl}_4 + 2\text{KMnO}_4 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 2\text{MnO}_{2(s)} + 2\text{KCl} + \text{Cl}_2$  (1)

- × Şekil 2 A'da görüldüğü gibi kirletici bulutunun dağılımını engellemek için permanganat solüsyonu küçük hacimlerde enjekte edilir.
- × Oksidant dağılımında iyileştirme gerektiğinde ise Şekil 2 B'de görüldüğü gibi ekstraksiyon kuyusundan çekilir, oksidant eklemesi olmadan işlem görür ve ekleme sonrası tekrar enjekte edilir.

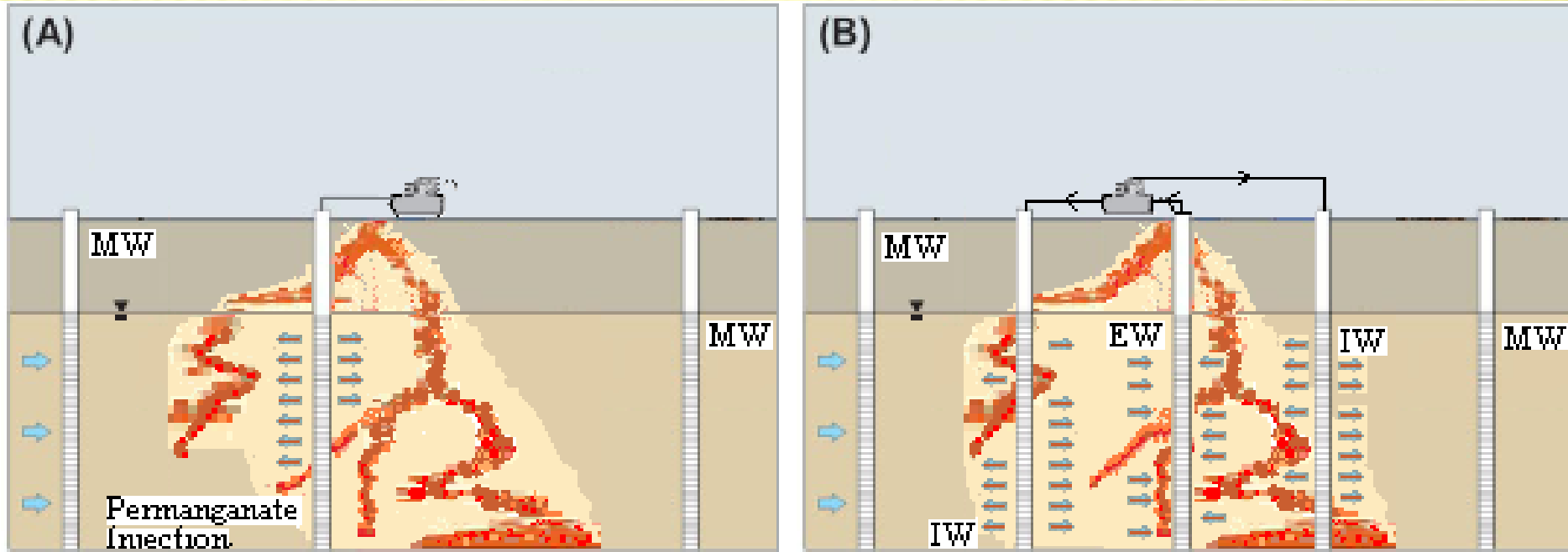


Fig. 2 In-situ permanganate oksidasyonu

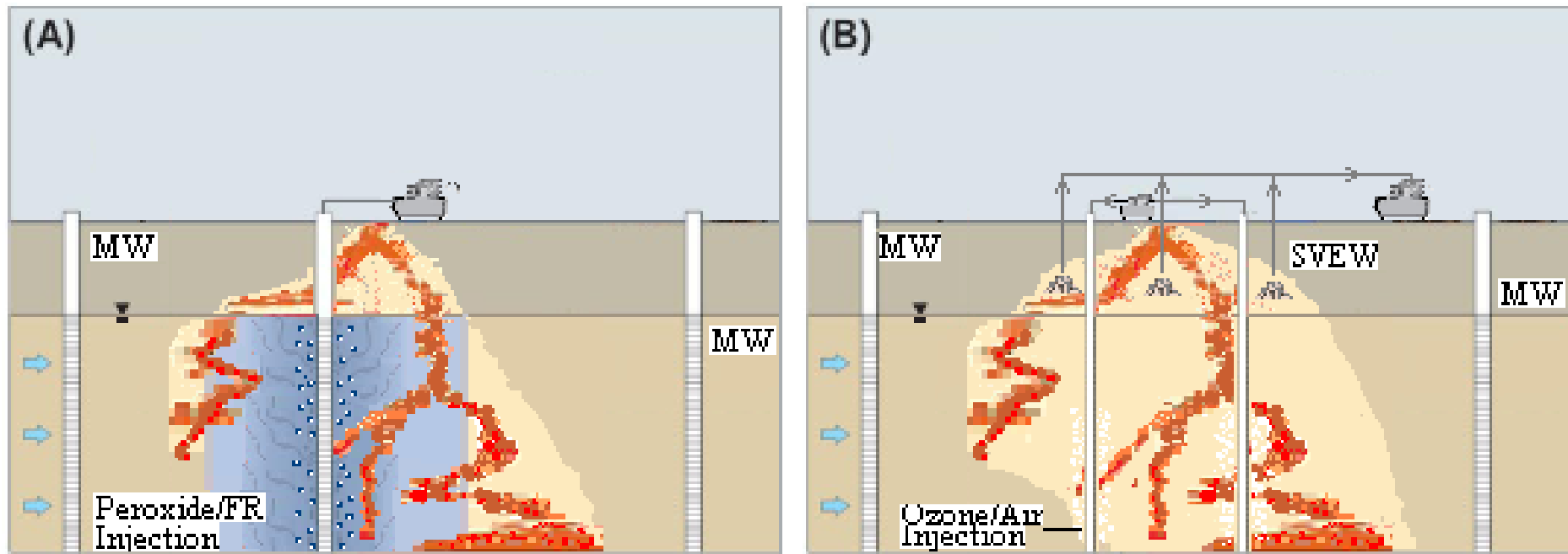


**Persulphate/hydrogen peroxide**  
<http://envirocoregr.com/page2.html>

## × Hidrojen peroksit/Fenton's Reagent

- × En çok kullanılan oksidantlardan biri peroksit + fenton reaksiyonlarıdır. Burada peroksit (1-35 %  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ferrous demir ( $\text{Fe}^{2+}$ ) hidroksil radikal ( $\text{OH}^\bullet$ ) oluşumu (2) söz konusudur. Hidroksil radikalleri peroksitten daha güçlü olup PCE moleküllerini okside ederler (3) (Dukes *et al.*, 2007). Reaksiyon çok eksotermik olup yüksek peroksit konsantrasyonları için tehlikeli düzeye ulaşabilir.
- × 
$$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{+3} + \text{OH}^- + \text{OH}^\bullet \quad (2) \text{C}_2\text{Cl}_4$$
$$+ 4\text{OH}^- + 4\text{OH}^\bullet \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 4\text{Cl} \quad (3)$$
- × Hidrojen peroksit kirlenmiş bölgeye düşük konsantrasyonlarda (< 15 %) enjekte edilerek isi ve oksijen oluşumu kontrol edilir (Şekil 3 A). Bunlar buharlaşmaya bir yandan tetikler.

- × Ozone/O<sub>3</sub>
- × Ozone's başlıca kimyasal etkinliği suyun katalitik dekompozisyonundan oluşan hidroksil radikalleri vesilesiyledir (4).
- × Kullanılmayan ozon klorlu alkenlerde bulunan karbon çift bağlarını kırabilmektedir. Böylece hidroksil radikalleri ve yüksek reaktivitesi olan ozon PCE'yi karbon dioksit ve serbest organik tuzlara dönüştürür (5) (Dukes *et al.*, 2007).
- ×  $O_3 + H_2O \rightarrow O_2 + 2OH^\bullet$  (4)
- ×  $C_2Cl_4 + O_3 + OH^\bullet \rightarrow 2CO_2 + H^+ + 4Cl^-$  (5)
- × Ozonun kısa yarı ömrü nedeniyle arazide elektriksel olarak üretilip hava ile birlikte kirlenmiş bölgeye diffüze edilir.
- × Ozonun yeraltına enjeksiyonu ile bioremediasyon vesolvent buharlaştırma da sağlanır böylece giderim verimi özellikle toprak buhar ekstraksiyon kuyularının inşası ile artar (Fig. 3 B).



**Fig. 3** In-situ hidrojen peroksit/Fenton's reagent (A) ve ozon (B) oksidasyonu



<http://envirocoregr.com/page2.html>





**Table 1** Summary of in-situ remedial actions taken at contaminated dry cleaning sites

Oxidant	Location	Contaminant level		Remedial action	Cont. level after Action, % Recov.	Obstacles	Reference
		Groundwater	Soil				
Permanganate MnO <sub>4</sub>	Barb & Ron's, Wisconsin, USA	PCE - 110 000 µg/l TCE - 210 µg/l	PCE - 4900 mg/kg TCE - 1500 mg/kg	Excavation of 1000 tonnes of soil GWT with NaMnO <sub>4</sub> injection from 5+8 points, final cap	PCE - 1 000 µg/l PCE - 2 900 mg/kg	Difficulties in determination cont source, release of rebound PCE, Remed of inaccessible soil necess	(SCRD, 2008)
	American Cleaners, Missouri, USA	PCE - 17 000 µg/l	PCE - 424 mg/kg	Excavation and disposal as special (857 ton soil) and hazard. waste (300 ton soil) GWT with NaMnO <sub>4</sub>	PCE - 8 400 µg/l	Use of GW was officially prohibited	(SCRD, 2008)
	Rummel Creek, Texas, USA	PCE - 2 200 µg/l TCE - 610 µg/l		Excavation along sewer, GWT with 4 x 0.5-2 % KMnO <sub>4</sub> injection ST with SVE and bioremediation	PCE - 79 µg/l TCE - 74 µg/l		(SCRD, 2008), (FRTR, 2005)
	Former Cowboy, Colorado, USA	PCE - 1900 µg/l		1-2 % KMnO <sub>4</sub> with 12 nested injectors most inj above WT for ST + GWT	PCE - 15 µg/l	Release of rebound PCE	(FRTR, 2005), (USEPA, 2004)
	Quick N Easy, Kansas, USA	PCE - 1500 µg/l TCE - 190 µg/l	PCE - 9.9 mg/kg	GWT 1. inj. 4 % NaMnO <sub>4</sub> , +2. inj 15 % ST with SVE	PCE - 530 µg/l TCE - 85 µg/l	Release of rebound PCE, increase in Na, Mn, Cl levels	(SCRD, 2008)
	Niles, Illinois, USA	PCE - 1000 µg/l TCE - 15 µg/l	PCE - 1300 mg/kg TCE - 18 mg/kg	GWT with NaMnO <sub>4</sub> (10 % w) injection at different depths from 24 points Excavation of 30 tonnes of soil	PCE - 150 µg/l	Excavation upon release of rebound PCE	(SCRD, 2008)
Peroxide/ Fenton's Reagent	Daisy Fresh, Georgia, USA	PCE - 20 000 µg/l TCE - 2 300 µg/l	PCE - 219 mg/kg TCE - 560 mg/kg	GWT pump and treat (GW scrubber and thermal VOC treatment) H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / Fenton's R., MNA	GW - 84 % PCE removal	Release of rebound PCE	(SCRD, 2008), (FRTR, 2005)
	Denver, Colorado, USA	PCE - 18 200 µg/l TCE - 12 600 µg/l		GWT with H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> / Fenton's Reagent, 2 inj into cont source + 3 inj for entire GW	GW > 94 % PCE S > 90 % PCE	Release of rebound PCE	(SCRD, 2008), (FRTR, 2004)
	Swift	PCE - 10 000 µg/l	PCE 40 mg/kg	GWT 3 inj H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (14 %) / Fenton's R. ST with 5 x 4 m SVE wells	PCE - 200 µg/l		(SCRD, 2008), (FRTR, 2003)
	Alpine, Texas, USA	PCE - 2 940 µg/l TCE - 1 400 µg/l		GWT with ferrous sulfate + HCl, HCl + 35 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 5.5 % KMnO <sub>4</sub> , MNA	GW 33 % PCE S 33 % PCE		(SCRD, 2008), (FRTR, 2005)
	Spin City (Parkwood), Texas, USA	PCE - 2 900 µg/l TCE - 320 µg/l	PCE - 47.3 mg/kg TCE - 1.5 mg/kg	Biodegradable surfactant + proprietary catalyst + proprietary acid + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 6 inj from 4 points (3 horizon + 1 vertical)	GW > 83 % PCE S 56-99 % PCE removal		(SCRD, 2008), (FRTR, 2005), (USEPA, 2004)
Ozone/O <sub>3</sub>	Paul's, Wisconsin, USA	PCE - 27 000 µg/l TCE - 2 300 µg/l	PCE - 5.6 mg/kg TCE - 0.1 mg/kg	GWT with ozone + air sparging + MPE +SVE + Bioremediation	PCE - - 800 µg/l		(SCRD, 2008)
	Former Market	PCE - 26 800 µg/l		GWT with ozone + air sparging	PCE - 704 µg/l		(FRTR, 2004)
	Indesda, Kansas, USA	PCE - 4 400 µg/l TCE - 382 µg/l	PCE - 24 mg/kg TCE - 0.2 mg/kg	GWT with ozone + air sparging ST with 7 SVE wells	80 % VOC with SVE system	Release of rebound PCE	(SCRD, 2008)
	Kansas	PCE - 600 µg/l		GWT with ozone inj at one point ST with SVE	PCE - 91 %		(Siegrist et al, 2000), (USEPA, 1998)

Key: PCE = Perchloroethylene,  
GW = Groundwater  
SVE = Soil Vapour Extraction

TCE = Trichloroethylene  
GWT = Groundwater Treatment,  
MPE = Multi Phase Extraction

VOC = Volatile Organic Compounds  
WT = Water Table  
MNA = monitored Natural Attenuation

S = Soil,  
inj = injection

Remed = Remediation  
ST = Soil Treatment  
cont = contaminant