

HIZLANDIRILMIŞ ARITIM SİSTEMLERİ

Doç Dr. EMRE BURCU ÖZKARAOVA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Çevre Mühendisliği Bölümü

2. HAFTA

- » Rakamlarla Toprak Kirliliği ve Kontrolü
- » In-situ/Ex-situ gereksinimi
- » Ex-situ arıtım avantajlar/desavantajlar
- » In-situ arıtım avantajlar/desavantajlar
- » Arıtım Teknolojileri
- » Yeraltı Suyu Akifer Çeşitleri

RAKAMLARLA TOPRAK KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ

Activities causing soil pollution

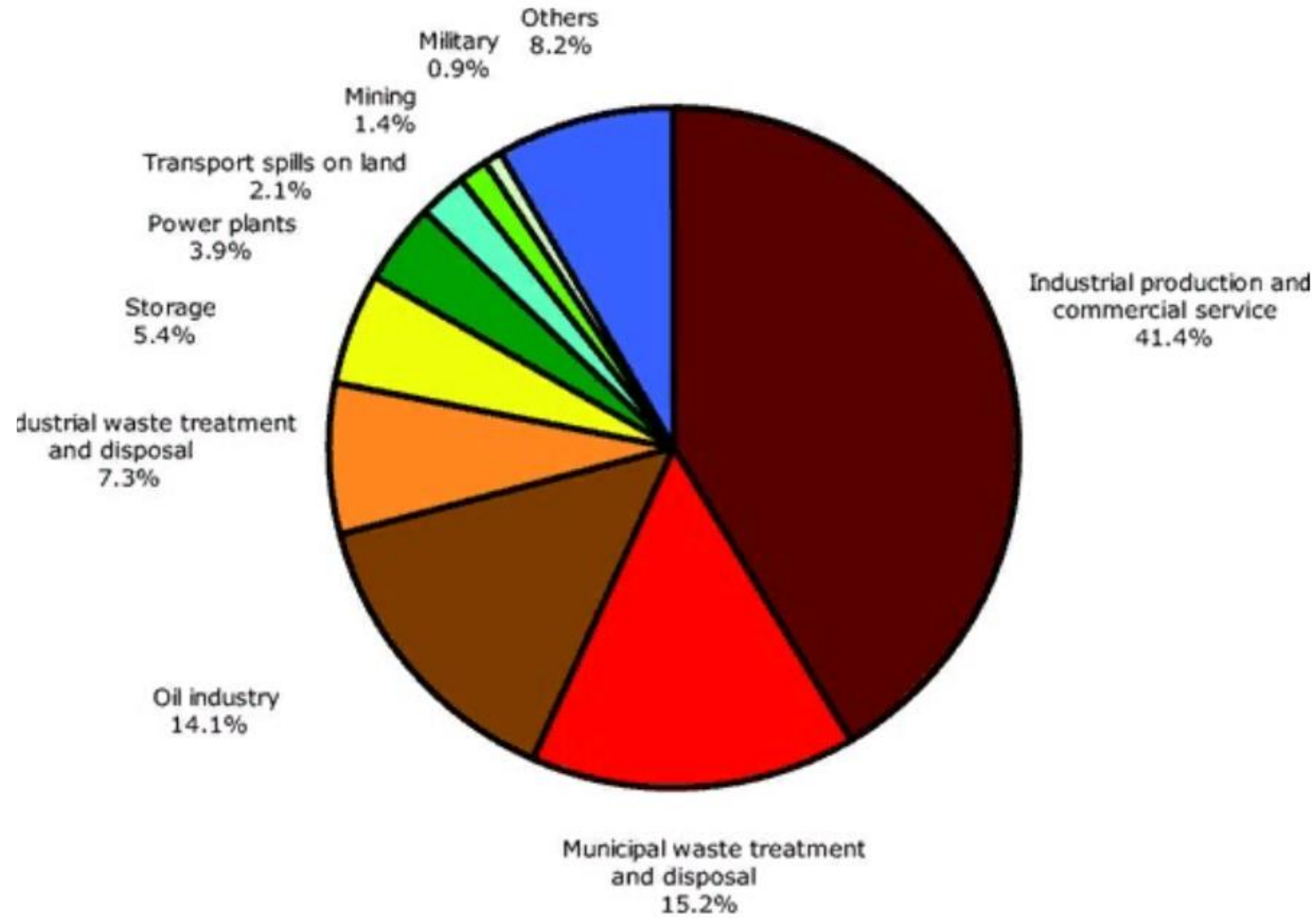


TABLE 2: Comparison of sectoral contribution to industrial contamination against the total number of enterprises.

Industrial/service sector	Sector contribution to industrial contamination (production)	Manufacturing sector	Number of enterprises (1,000)	Number of enterprises (1,000) contributing to 1% of industrial contamination
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Chemical industry	8.2%	Chemicals plus rubber and plastic products	97.2	11.9
Metal working industry	13.1%	Basic metals plus fabricated metal products	381.2	29.1
Textile and leather industry	2.0%	Textiles plus wearing apparel plus leather	225.4	112.7
Wood and paper industry	3.7%	Wood and paper	191.8	51.8
Food industry and processing of organic products	5.7%	Food products plus beverages	273.8	48.0
Electronic industry	1.0%	Computer, electronic, plus electrical equip.	94.1	94.1
Mining sites	6.2%	Mining	18.2	2.9
Total	39.9%	Total	1281.7	

Table 5. Site-status data in Europe.

Site status	Europe (39 surveyed)			EU-28		
	Respondents	Reported sites	Total estimates	Respondents	Reported sites	Total estimates
1 – Sites where polluting activities took/are taking place						
Sites where polluting activities took/are taking place per km ² of artificial surface: estimated				13	10.4	
Sites where polluting activities took/are taking place per km ² of artificial surface: registered	29			25	4.0	
* Sites where polluting activities took/are taking place: estimated				13	1 539 661	2 800 000 (*)
* Sites where polluting activities took/are taking place: registered	29	694 243		25	648 964	
2 – Sites in need of investigation /still to be investigated or under investigation where there is a clear suspicion of contamination						
* 2a – Sites in need of investigation	24	178 617		20	170 215	362 360 (*)
2b – Sites under investigation	20	68 042		17	67 839	
3 – Sites that have been investigated, but no remediation needed						
3 – Investigated sites but no remediation needed	20	85 093		19	78 193	122 250 (*)
4 – Sites that need or might need remediation or risk-reduction measures (RRM), including natural attenuation						
4a – Sites where remediation is needed	26	48 737		22	45 420	
4b – Sites where remediation might be needed	19	82 530		16	80 304	148 301 (*)
5 – Sites under/with ongoing remediation or RRM						
5 – Sites under remediation	26	14 446		23	14 155	
6 – Site remediation or RRM completed or sites under aftercare measures						
* 6 – Remediated sites (RS)	27	65 546		23	63 089	

(*) Based on extrapolated data for total artificial surface of EU-28.

categories vary widely across Europe). The most common contaminants are heavy metals and mineral oil.

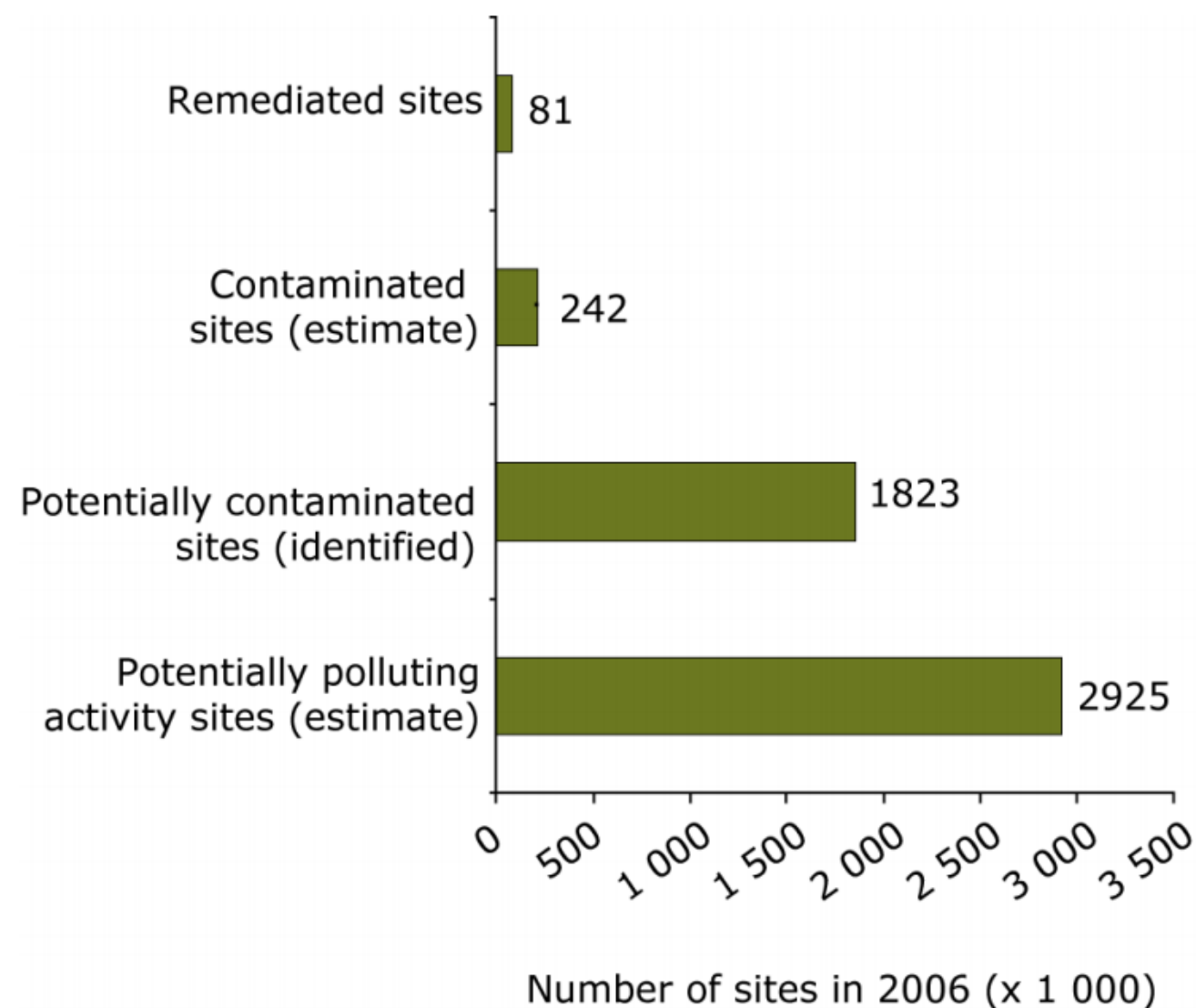


Figure 22: The graph shows the status of identification and clean-up of contaminated sites in Europe as reported to the EEA through the EIONET priority data flows on contaminated sites. While trends vary across Europe, it is clear that the remediation of contaminated sites is still a significant undertaking.

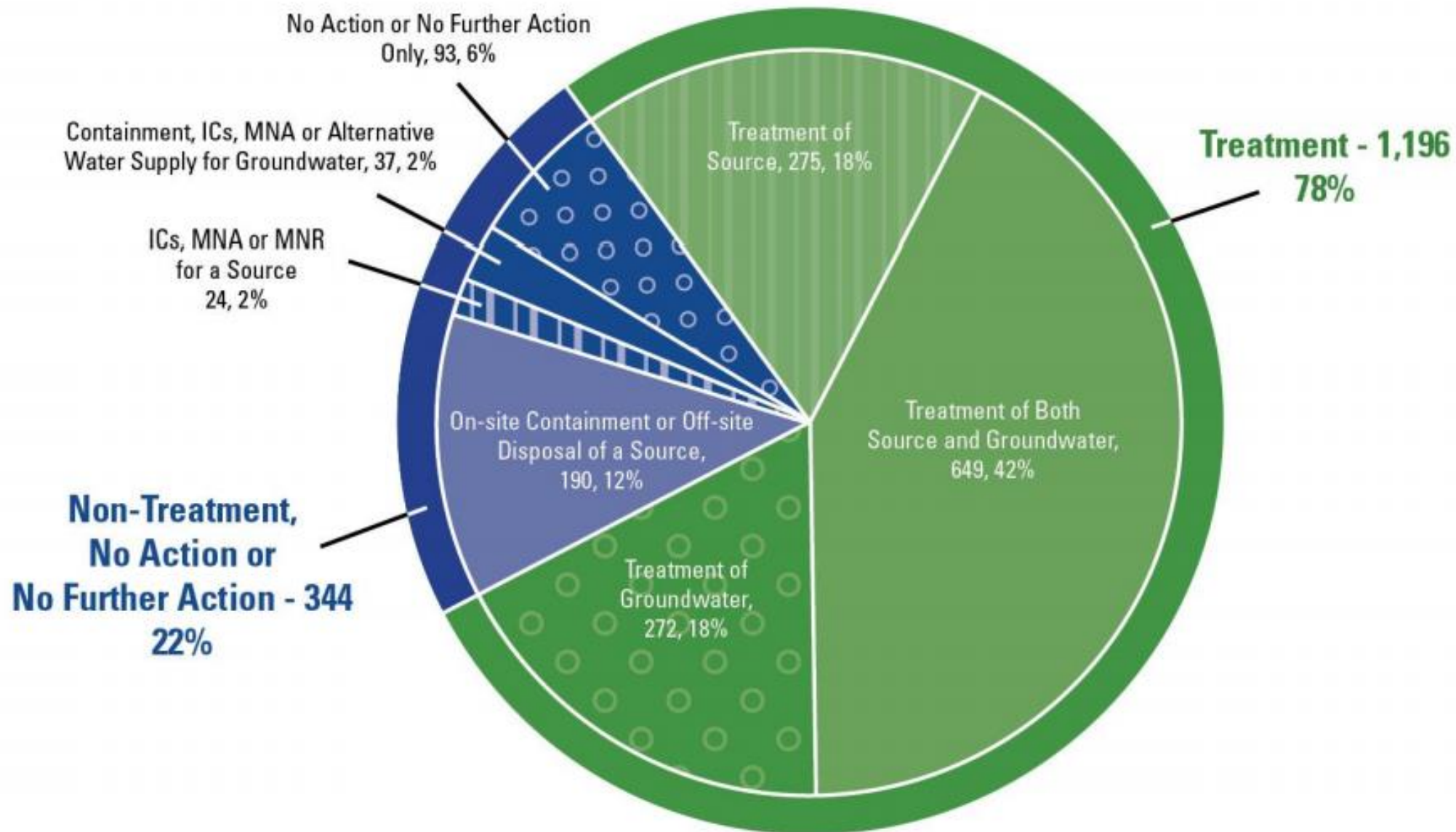
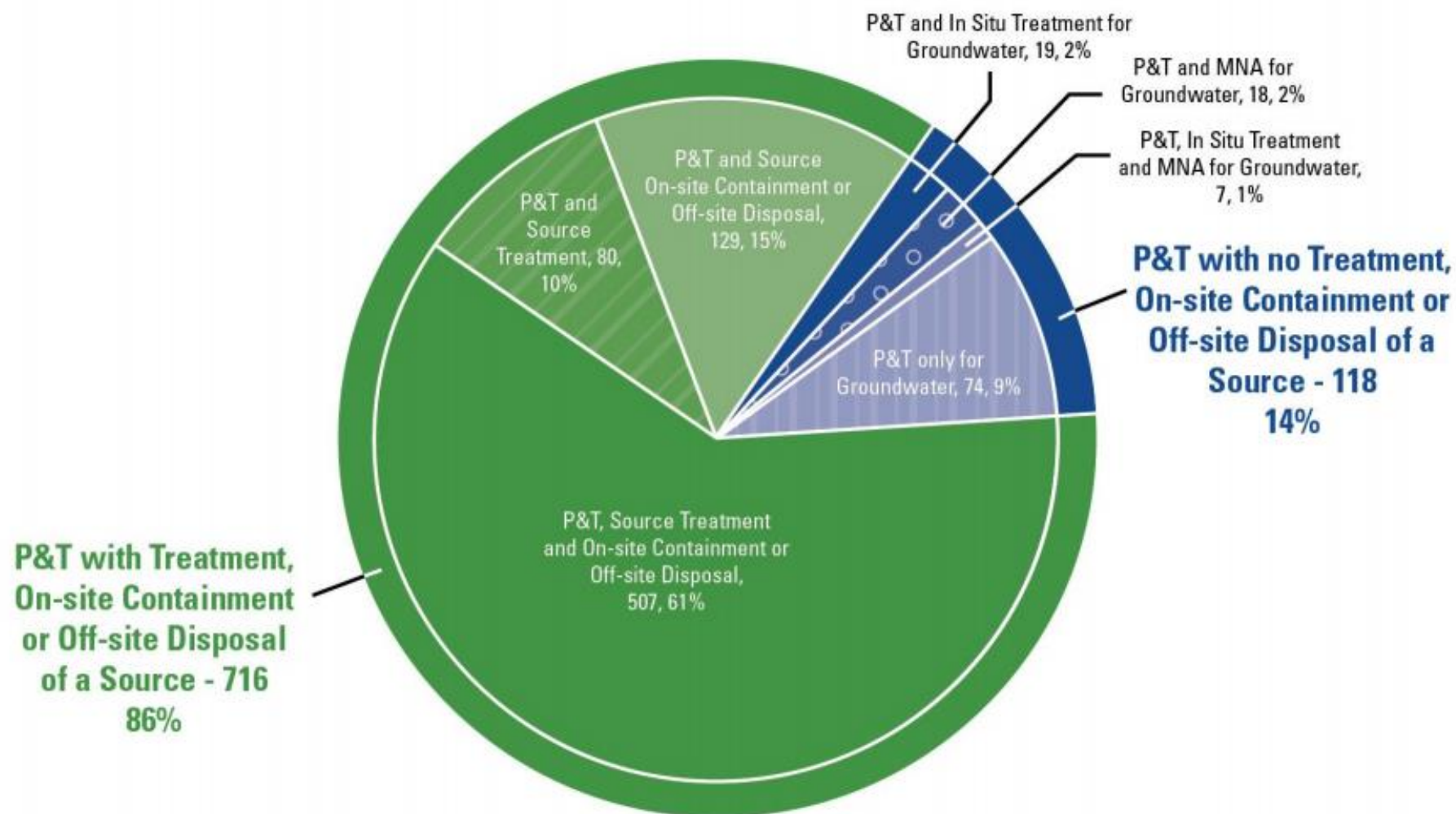
Figure 4: Treatment at Superfund Sites (FY 1982-2014)

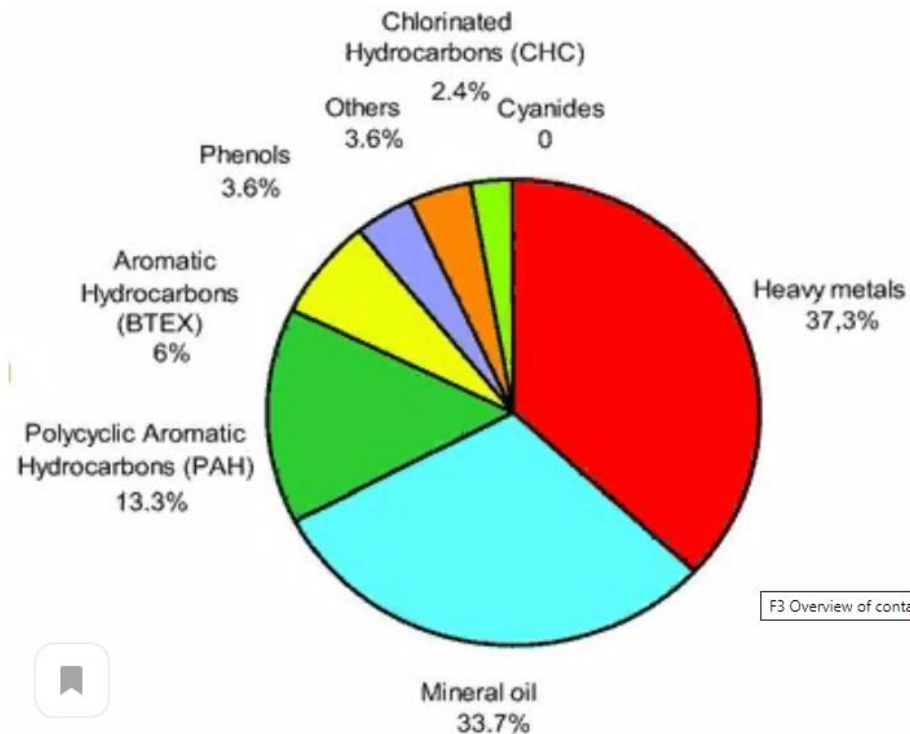


Figure 15: Summary of Remedies Selected with Groundwater P&T at Superfund Sites (FY 1982-2014)



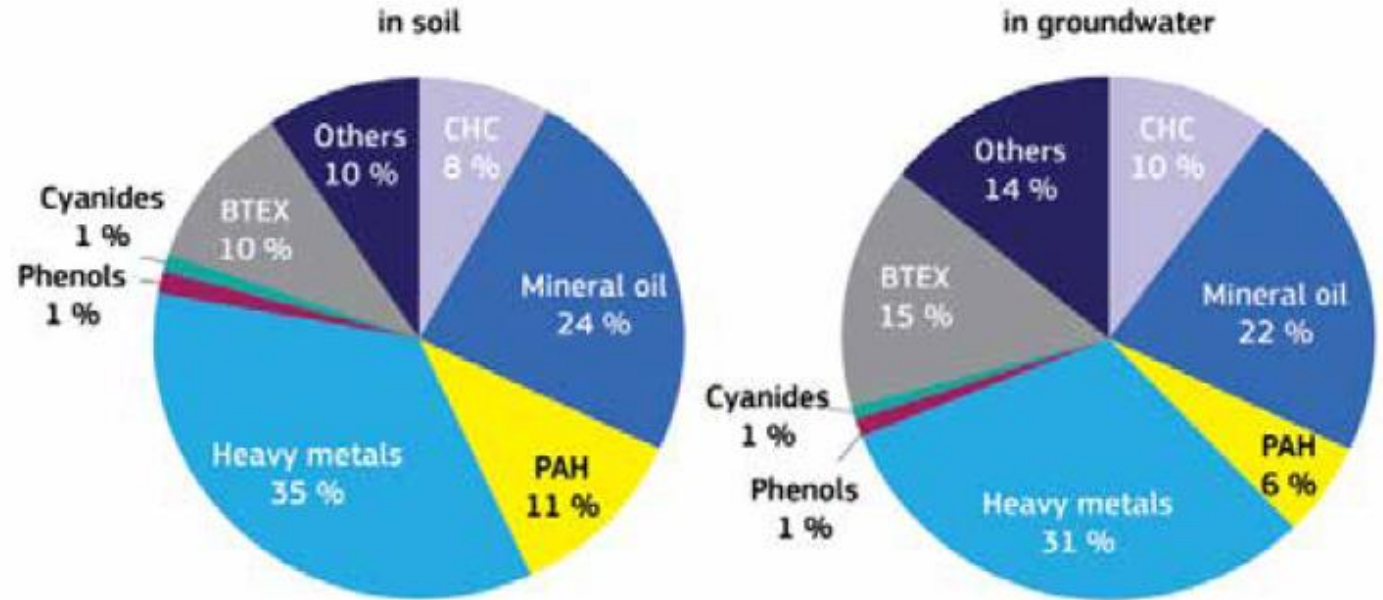
- Total number of P&T sites = 834.

Başlıca Kirleticiler



F3 Overview of contaminants affecting soil and groundwater in Europe

Most frequently applied occurring contaminants



Remediated sites and brownfields
Success stories in Europe



This land was the best in the world, but in comparison of what then was, there are remaining only the bones of the wasted body. All the richer and softer parts of the soil having fallen away, and the mere skeleton of the land being left.
Plato 360 b.c.

The nation that destroys its soil destroys itself
Franklin D. Roosevelt

When soil becomes sicker, so too do the people who rely on it.
This week Editorials: Nature, Vol 517, 22 January 2015

Fig. 3 Overview of contaminants affecting soil and groundwater in Europe

HIZLANDIRILMIŞ ARITIM SİSTEMLERINE GEÇMEDEN BAZI HATIRLATMALAR YAPALIM

Hızlandırılmış arıtım sistemleri arazide toprak içinde (in-situ) ve dışında (ex-situ) yapılabilir.

Ex-situ yapılmasının başlıca sebepleri

- *Kirlenmiş sahanın sebep olduğu riskin yüksek olması (kirleticilerin toksisitelerinin yüksek olması, su kaynaklarına ve insana maruziyet yollarının bulunması) sonucu aciliyet gerektirmesi*
- *Kirletici bulutu hacminin çok büyük olmaması (çok fazla taşınımın olmamış olması)*
- *Zemin yapısının in-situ arıtımı oldukça zorlaştırması geciktirmesi*

TOPRAK İÇİNDE (IN-SITU) VE DIŞINDA (EX-SITU) KİYYAS

Çizelge 2.1 Hafriyat Malzemesinin “Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi” Yönteminin Seçimi Sırasında Dikkate Alınacak Hususlar

Ex-situ arıtımın in-situ arıtıma tercih edilmesi koşulları	Ex-situ arıtımın doğrudan bertarafıya tercih edilmesi koşulları
<ul style="list-style-type: none">• Temizlemenin aciliyet arz etmesi• Yerinde yapılan arıtımın kirleticilerin giderimini sağlayamaması• Fiziki kısıtlar nedeniyle yerinde arıtımın mümkün olmaması• Kirliliğin kısa vadede diğer çevre bileşenlerini tehdit etmesi	<ul style="list-style-type: none">• Deşarj, depolama, geri-dönüşüm veya geri-kullanım bertaraf seçeneklerinin uygulanamaması• Arıtılabilirlik çalışmalarının düşük maliyetli arıtımın mümkün olacağını göstermesi• Hafriyat malzemesinin arıtım sonrası sahada yerinde kullanılabilmesi• Temizleme hedeflerinin arıtımla sağlanabilmesi

Çizelge 2.7 Kirliliğin Hafriyat-Ekstraksiyon Yoluyla Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Temizlemesinde Kullanılan Teknolojiler

Teknoloji Seçeneği	Temizlenen Ortam	Kirletici Türü	Açıklama
Fiziksel/Kimyasal			
Toprak yıkama (su bazlı ekstraksiyon)	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, pestisitler, metaller, inorganikler	Hafriyat toprağı sürfaktan, desorbe edici veya çözücü maddeler içeren su ile yıkanarak kirleticilerin topraktan suya geçmesi sağlanır. Yıkamada kullanılan su arıtılarak deşarj edilir.
Toprak yıkama (solvent ekstraksiyonu)	Toprak	Yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Hafriyat toprağı, kirleticilerin çözünerek topraktan uzaklaştırılması amacı ile solventlerle karıştırılır. Temizlenen toprak solventten ayrıştırılır.
Solidfikasyon/stabilizasyon yoluyla hareketsizleştirme	Toprak	Pestisitler, metaller, inorganikler	Kirlenmiş toprak pozzolan maddelerle karıştırılarak katılaştırılır; bu sayede kirleticilerin stabilize bir maddenin içinde fiziksel veya kimyasal olarak bağlanarak veya hapsedilerek mobiliteleri düşürülür.
Yükseltgenme/indirgenme reaksiyonları	Toprak	Yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler, metaller, inorganikler	Kirlenmiş toprak ozon, hidrojen peroksit ve chlorine gibi oksitleyici maddeler ya da alkali polietilen glikolit gibi indirgeyici maddelerle ısıtılabilen haznelerde karıştırılır.
İyon değışimi	Toprak, YAS	Organikler, İnorganikler	Zararlı pozitif ve negatif iyonların zararsızlarıyla değıştirilmesi prensibine dayanır.
Metal ekstraksiyonu · asidik, bazik tutucu ajan içeren çözeltiler kullanılarak yıkama · flotasyon · elektrokinetik · sonar karıştırma · fitoremediasyon	Toprak	Metaller	Kirlenmiş topraktaki metallerin çeşitli yöntemlerle ekstraksiyonuna dayanır.

Havali sıyırma	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler	Hava sıyırıcılar aracılığı ile kirlenmiş yeraltı suyunun havayla temas eden yüzey alanı artırılır. Bu sayede organik kirleticilerin gaz fazına geçişi sağlanır.
İleri oksidasyon	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler	Hidrokarbonlu kirleticileri karbon dioksit ve suya dönüştürerek parçalanmasını sağlar. Ozon ve hidrojen peroksit UV radyasyonu ve bazı katalistlerle birlikte uygulanabilir.
Karbon adsorpsiyonu	YAS, Emisyon gazları	Uçucu ve yarı-uçucu organikler	
Membran seperasyonu (ters ozmoz, ultrafiltrasyon vb.)	YAS	Organikler, İnorganikler	Suda çözünmüş kirleticilerin bir membran aracılığıyla uygulanan basınç yoluyla ayrıştırılmasını içerir.
Yumaklaştırma/ topaklaştırma	YAS	İnorganikler	Kirlenmiş yeraltı suyuna yumaklaştırmayı/topaklaştırmayı sağlayacak kimyasalların eklenmesi ve çökmelerinin beklenmesi yoluyla gerçekleştirilir.
Çöktürme/ sedimantasyon	YAS	İnorganikler	İnorganiklerin kimyasal katkıları yardımı ile çöktürülmesi prensibine dayanır.
Toz giderimi teknolojileri · Filtreler · Islak sıyırıcılar · Hidrosiklonlar · Elektrostatik tutucular	Emisyon gazları	Toz	Emisyon standartlarını sağlamayan gazlar arıtılmalıdır. Bu amaçla filtreler, suyun spreylenmesi yoluyla tozun gazdan ayrılmasını hedefleyen ıslak sıyırıcılar, elektrik yüklenme ile parçacıkların topaklaşıp çökmesini hedefleyen elektrostatik tutucular ve hidrosiklonlar kullanılabilir.
Yoğunlaştırma (Kondensasyon)	Emisyon gazları	Uçucu organikler	Emisyon gazının soğutulmasıyla kirleticilerin yoğunlaşması ve sıvı faza geçen kirleticilerin toplanması yolu ile gerçekleştirilir.

Biyolojik

Siluri fazda biyolojik arıtım	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler (Petrol hidrokarbonları, PAHlar), solventler, pestisitler	Hafriyat toprağı, biyodegradasyonu desteklemek amacı ile reaktörlerde veya geçirimsiz tabanlı lagünlerde su, besin ve mikroorganizma ile karıştırılır.
Katı faz için kompostlama	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler (Petrol hidrokarbonları, PAHlar), solventler, pestisitler	Toprak besin maddeleri ve mikroorganizma içeren gözenek veya hacim artırıcı maddeler ile karıştırılarak vakum uygulayan perfore borular üzerine yığılır. Uçucu kirleticileri ihtiva eden toprak gazı çekilerek yerine biyodegradasyonu desteklemek amacı ile hava basılır.
Parsel arıtımı (landfarming)	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler (Petrol hidrokarbonları, PAHlar)	Özel olarak hazırlanmış parsellere serilen kirlenmiş hafriyat toprağı besin, hava ve karbon kaynağı ilavesiyle mikroorganizma faaliyeti için uygun hale getirilir; bu sayede kirletici giderimi gerçekleştirilir.
Fitoremediasyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler (Petrol hidrokarbonları, PAHlar)	Ekskave edilen kirli toprakta bitki yetiştirmek suretiyle arıtım sağlanır. Sonuç, toprak özellikleri, kirletici türü ve <u>konsantrasyonu</u> ile bitkinin absorplama kapasitesine bağlıdır.
Biyofiltrasyon	Emisyon gazları	Uçucu organikler	

Termal

Isıl desorpsiyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Reaktörlere yerleştirilen toprak düşük sıcaklığa (95 - 300 °C ye) ya da yüksek sıcaklığa (300 - 500 °C ye) kadar ısıtılarak su ve kirleticilerin buharlaştırılması sağlanır. Ayrıca bu sayede oksidasyon desteklenir.
Yakma	Toprak, Emisyon gazları	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprak reaktörlerde, oksijenli ortamda 850 - 1200 °C'ye ısıtılarak su ve kirleticilerin buharlaşması sağlanır. Ayrıca bu sayede oksidasyon desteklenir.
Piroliz	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprak reaktörlerde, oksijensiz ortamda 400 - 750 °C'ye ısıtılarak su ve kirleticilerin buharlaşması sağlanır. Ayrıca bu sayede indirgeyici bozunum desteklenir.
Vitrifikasyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler, metaller, inorganikler	Toprak reaktörlerde 1600 - 2000 °C'ye ısıtılarak katıların erimesi kirleticilerin ise kristal yapıya geçmesi sağlanır.
Alevli yakıcılar	Emisyon gazları	Uçucu organikler	Kirleticilerin atmosfere açık olarak ya da bir ünite içerisinde yakılmasına dayanır.
Isıl indirgeme	Emisyon gazları	Uçucu organikler	Organik moleküllerin hidrojenli ortamda (800 - 900 °C) kimyasal olarak indirgenmesine dayanır.
Katalitik oksidasyon	Emisyon gazları	Uçucu organikler	Organik kirleticilerin katalistler yardımı ile daha düşük sıcaklıkta (200 - 500 °C) yakılmasına dayanır.

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.

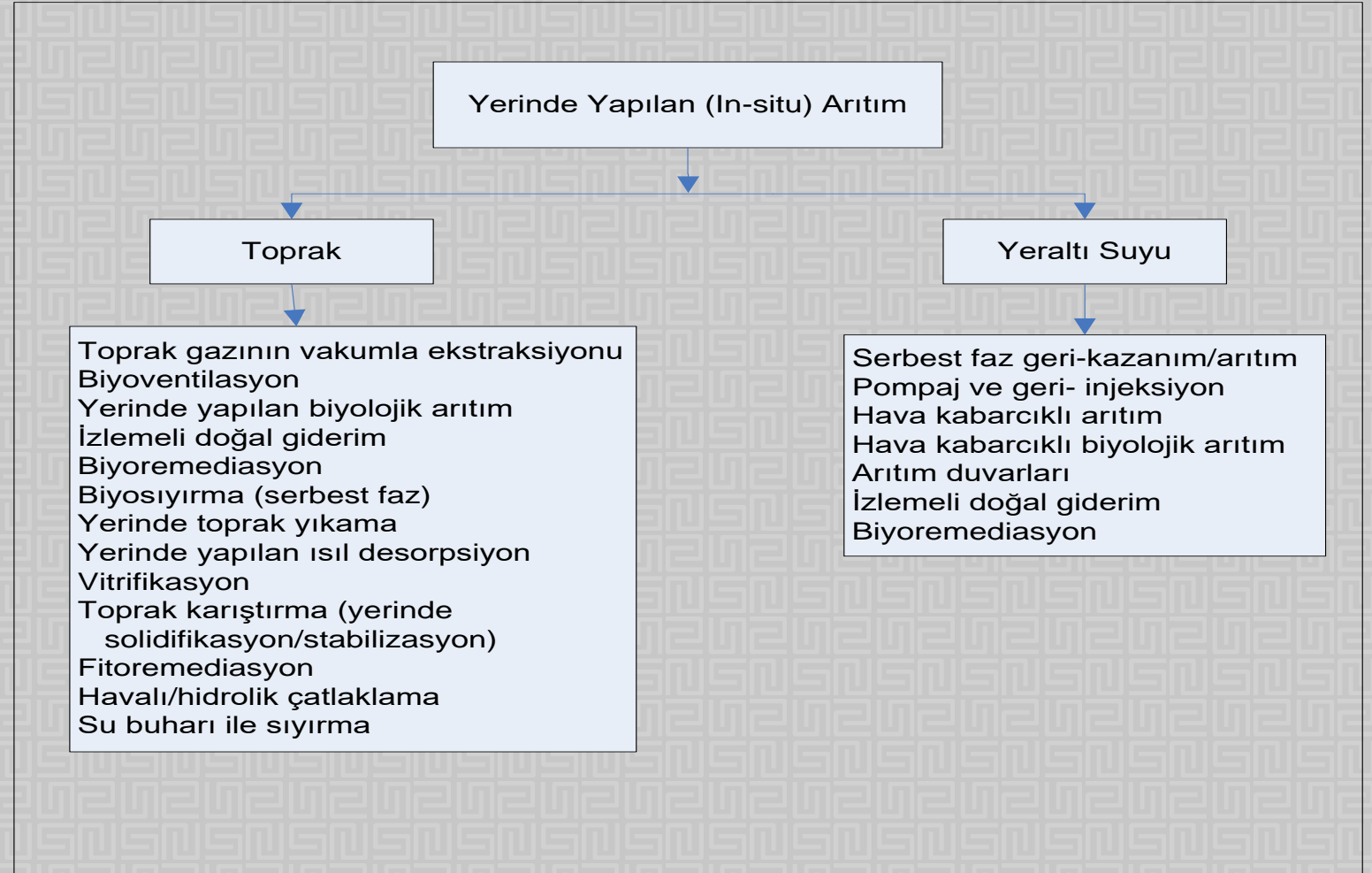
Pek çok avantajına rağmen in-situ teknolojilerin aşağıda sıralanan bazı **dezavantajları** da mevcuttur.

- 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 yeraltı suyunda serbest, bakiye, çözünmüş ve gaz fazlarında bulunabilmektedir.

Kirleticilerin toprak ve yeraltı suyunda bulunuş durumuna göre değişik in-situ teknolojilerinin tek başına veya ardışık olarak kombinasyon halinde birlikte kullanılması 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 ayrılarak geri kazanımı veya arıtımını içermektedir.
Pompaj ve geri injeksiyon	YAS	Suda çözünmüş kirleniciler	Kirlenmiş yeraltı suyunun pompajla alınarak arıtılıp tekrar geri deşarj edilmesidir.

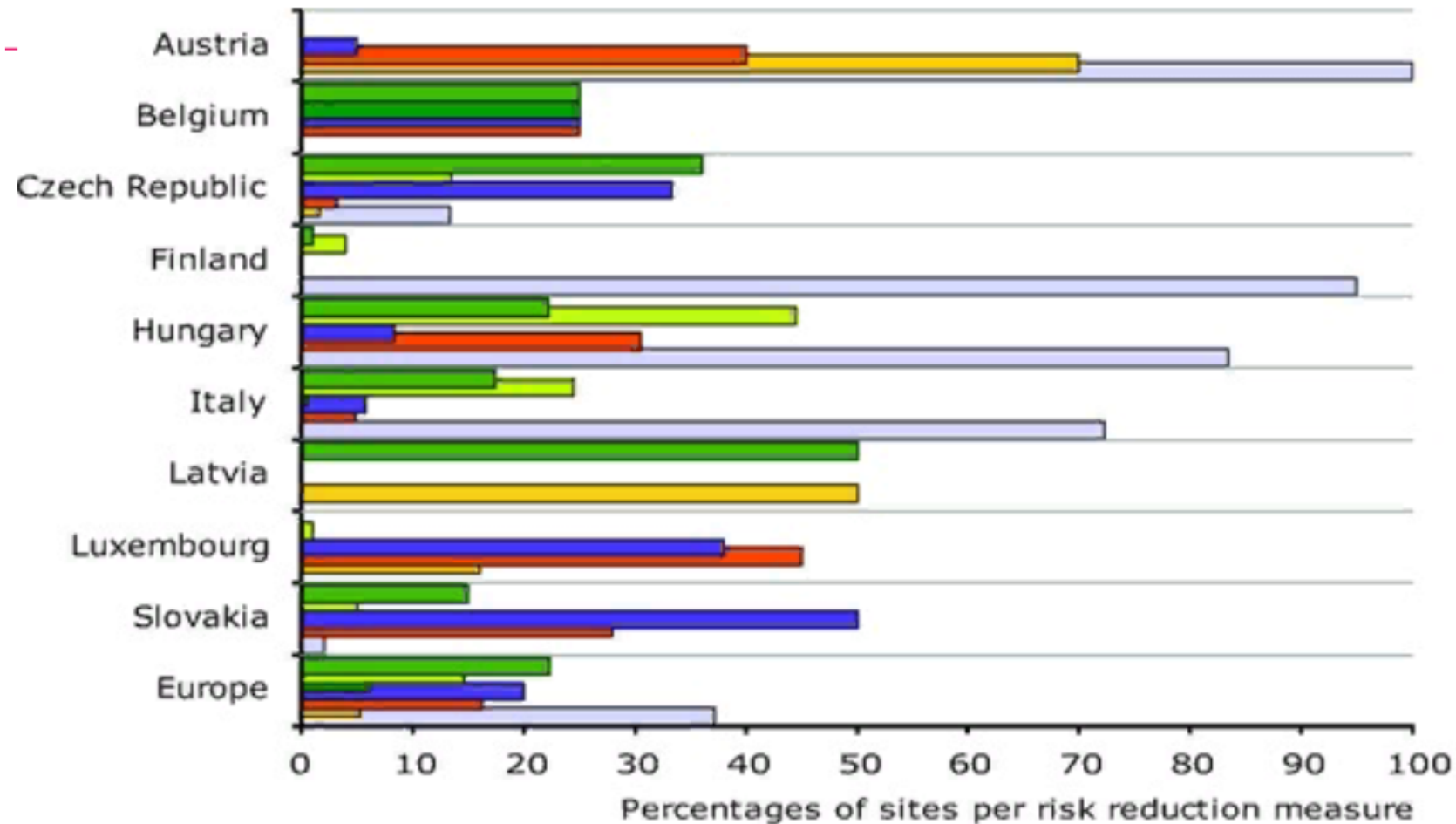
Biyolojik

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 (Petröl hidrokarbonları, PAHlar)	Kirlenmiş toprak üzerinde bitki yetiştirmek suretiyle arıtım sağlanır. Sonuç, toprak özellikleri, kirletici 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 kirletici 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 injeksiyon kuyuları aracılığı ile yeraltı suyuna hava (oksijen) verilir.

Termal

Su buharıyla sıyırma	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Injeksiyon 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.

Remediation Technologies



■ In Situ Thermal Treatment
■ In Situ Biological Treatment
■ In Situ Physical/Chemical Treatment
■ Other soil Treatments

■ Ex Situ Biological Treatment (Assuming Excavation)
■ Ex Situ Physical/Chemical Treatment (Assuming Excavation)
■ Ex Situ Thermal Treatment (assuming excavation)

En Sık Uygulanan Toprak/Yeraltı Suyu Arıtım Teknolojileri

- Fizikokimyasal Yöntemler
 - Toprak Buhar Ekstraksiyonu
 - Kimyasal Oksidasyon
 - Toprak Yıkama
- Biyolojik Yöntemler