



**T.C.  
Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**

**KİRLENMİŞ SAHA TEMİZLEME VE İZLEME  
TEKNİK REHBERİ**

**ANKARA, 2009**

## İÇİNDEKİLER

<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Teknik Rehberin Amacı ve Kapsamı .....	1
1.2. Teknik Rehberin Kullanımı .....	1
1.3. TKKNKSDY'de Kirlenmiş Saha Temizleme Sürecinin İşleyişi .....	2
<b>2. TEMİZLEME FAALİYET PLANLAMA VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>6</b>
2.1. Temizleme Faaliyeti Genel Hedeflerinin Belirlenmesi .....	6
2.1.1. Risk Bazlı Saha Temizleme Hedefinin Belirlenmesi .....	7
2.2. Uygulanabilir Temizleme Yöntemlerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi .....	9
2.2.1. Genel Temizleme ve Karar Verme Stratejileri .....	9
2.2.2. Mevcut Kullanılabilir Temizleme Teknolojileri Seçenekleri .....	12
2.2.2.1. Hafriyat Malzemesinin Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi .....	12
2.2.2.2. Ekstrakte Edilen Yeraltı Suyunun (Ex-Situ) Arıtımı .....	16
2.2.2.3. Emisyon Gazlarının Arıtımı .....	19
2.2.2.4. Toprak ve Yeraltı Suyunun Yerinde İzolasyonu .....	21
2.2.2.5. Toprak ve Yeraltı Suyunun Yerinde (In-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi .....	23
2.2.3. Temizleme Yöntemi Seçenek Geliştirme Süreci .....	33
2.2.3.1. Temizleme Hedef ve Kıstaslarının Belirlenmesi .....	42
2.2.3.2. Temizleme Teknolojisi ve Proses Seçeneklerinin Belirlenmesi .....	44
2.2.3.3. Temizleme Teknolojisi ve Proses Seçeneklerinin Değerlendirilmesi .....	44
2.3. Tercih Edilen Temizleme Yönteminin Seçimi .....	48
<b>3. TEMİZLEME SİSTEMİ SAHA UYGULAMASI, İZLEME VE SONLANDIRMA .....</b>	<b>52</b>
3.1. Temizleme Sistemi Tasarımı ve İnşası .....	52
3.2. Temizleme Sistemi İşletimi ve Etkinlik İzlemesi .....	54
3.3. Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılması .....	58
3.3.1. Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılmasını Müteakip İzleme .....	60
<b>4. ÖNEMLİ REHBER DOKÜMANLAR .....</b>	<b>63</b>

## KISALTMALAR

- DNAPL : Yoğunluğu Sudan Fazla Suyla Karışmayan Sıvı Tehlikeli Kimyasal Madde
- KSYS : Kirlenmiş Sahalar Yönetim Sistemi
- KSYS-TD : Kirlenmiş Sahalar Yönetim Sistemi-Teknik Doküman
- KSBS : Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi
- KSBS-TD : Kirlenmiş Sahalar Bilgi Sistemi-Teknik Doküman
- LNAPL : Yoğunluğu Sudan Az Suyla Karışmayan Sıvı Tehlikeli Kimyasal Madde
- TKKNKSDY : Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik
- TVE : Toprak Vakum Ekstraksiyonu
- UOKler : Uçucu Organik Kirleticiler
- YAS : Yeraltı Suyu
- HKSK : Hedef Kirletici Saha Konsantrasyonu
- SKSD : Sahaya Özgü Kirletici Sınır Değeri
- STH : Saha Temizleme Hedefi

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Teknik Rehberin Amacı ve Kapsamı

Kirlenmiş Saha Temizleme ve İzleme Teknik Rehberi genel olarak temizleme kararı alınmış bir Kirlenmiş Sahanın temizlenmesi sürecinde gerçekleştirilecek olan Temizleme Faaliyet Planlama, Temizleme Yöntem Belirleme, Saha Uygulaması, İşletim ve Etkinlik İzlemesi ile Temizleme Faaliyet Sonlandırma (temizlemenin kalıcılığının teyit edilmesi) ve Müteakip İzleme aşamalarının işleyişine yönelik yol gösterici bilgileri sunmak amacıyla hazırlanmıştır.

*Bölüm 1*'de Teknik Rehberin amacı, kapsamı, kullanımı ve kirlenmiş saha temizleme sürecinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKNKSDY) kapsamında, işleyişine dair, karar alma mekanizmaları ve raporlama gereklilikleri dahil, ayrıntılı bilgi sunulmaktadır. *Bölüm 2*'de genel temizleme stratejileri ve sahaya uygun temizleme yöntem seçimi ile ilgili karar verme stratejilerine dair ayrıntılı bilgi sunulmaktadır. Bu bölümde özellikle Temizleme Sistemi ayrıntılı akım şemasının birinci aşamasını oluşturan Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme aşamasında önemli yer tutan temizleme hedef ve kıstaslarının, Saha Temizleme Hedefi'nin belirlenmesi ile temizleme yöntem seçimi konuları önem arz etmektedir. *Bölüm 3*'te Temizleme Sistemi ayrıntılı akım şemasının ikinci ve üçüncü aşamalarını oluşturan Temizleme Uygulama ve İzleme ile Temizleme Sonlandırma aşamalarına dair ayrıntılı bilgi sunulmaktadır. Bu aşamalarda önemli yer tutan temizleme sistem tasarımı, inşaatı, işletimi ve etkinlik izleme, temizleme faaliyet sonlandırma ve sonlandırmayı müteakip izleme konuları ile ilgili karar alma süreçleri önem arz etmektedir. Ve nihayet, *Bölüm 4*'te Teknik Rehberin kapsadığından daha ayrıntılı ilave bilgi temin edilmesi ihtiyacı duyulan bazı hususlar veya konulara yönelik kullanılabilecek ilgili temel rehber dokümanların bir listesi sunulmuştur.

### 1.2. Teknik Rehberin Kullanımı

Kirlenmiş Saha Temizleme ve İzleme Teknik Rehberi, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik kapsamında Teknik Rehberde atıfta bulunulan ve diğer ilgili teknik konularda kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Teknik Rehberin temel olarak bir rehber teknik doküman niteliğinde olması nedeniyle kapsamı dahilindeki konuların her birinin tüm ayrıntıları ile ele alması mümkün değildir. Teknik Rehber kapsamında olan pek çok konu hakkında oldukça detaylı ve tamamen belirli bir konuya hasredilmiş, Avrupa Birliği ve Kuzey Amerika ülkelerinin (A.B.D ve Kanada) Çevre Bakanlıkları veya ilgili kurum/kuruluşlarınca hazırlanmış veya hazırlanmış pek çok sayıda kaynak doküman bulunmaktadır. Kaynak olarak kullanılabilecek bu tür dokümanların bir listesi Bölüm 4'te sunulmuştur. Dolayısıyla, bu Teknik Rehber kirlenmiş sahaların temizlenmesi konusunda bağlayıcı nitelikte ve yararlanılacak olan tek doküman değildir. Diğer bir deyişle, bu Teknik Rehber kirlenmiş saha temizleme ve izleme konusunda uyulması ve takip edilmesi gereken asgari koşulları ana hatlarıyla belirlemekle birlikte, burada kapsadığından daha

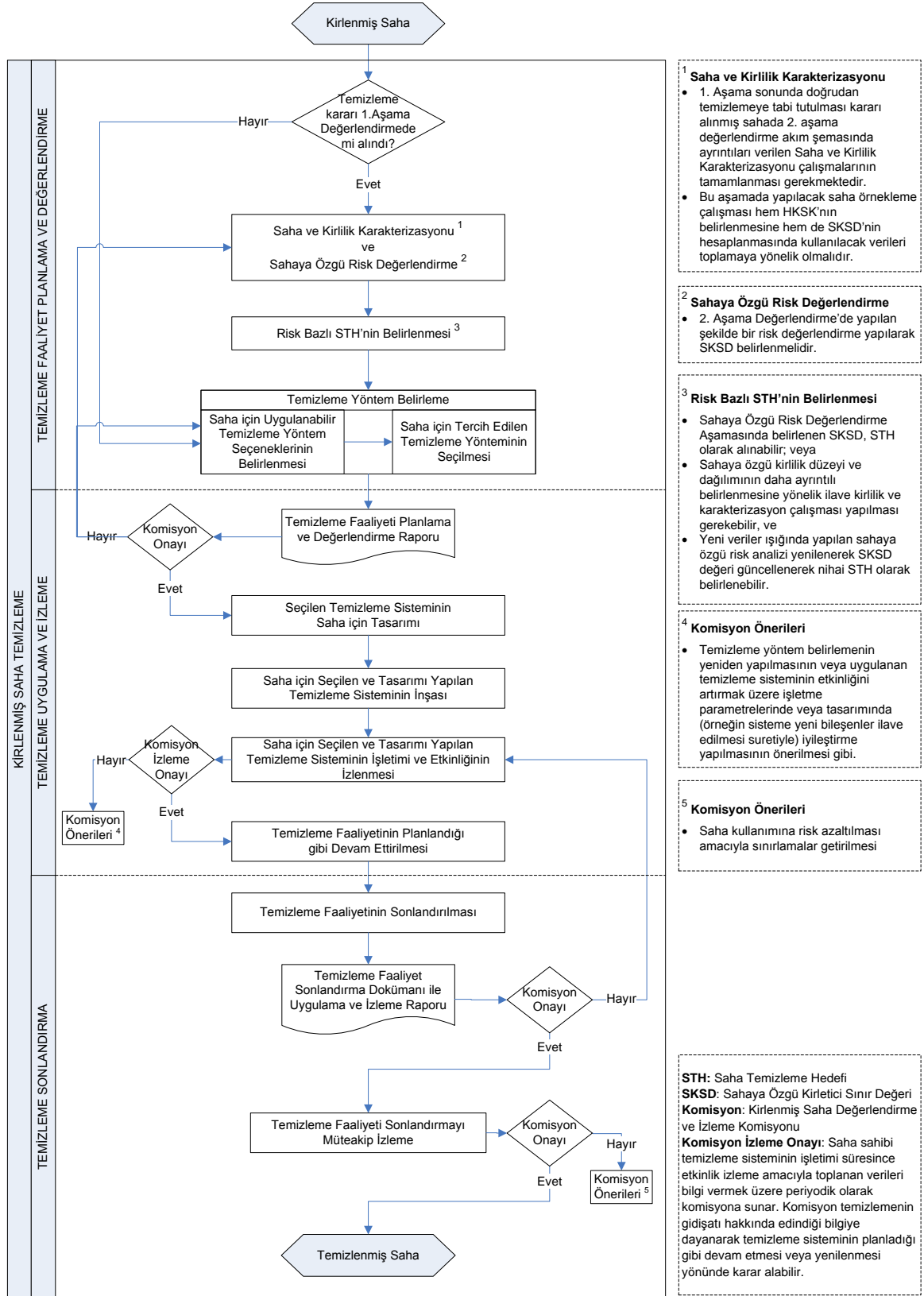
fazla detay ve ilave teknik bilgi temin edilmesi gerektiğinde Bölüm 4'te listelenen veya listelenmeyen benzer diğer teknik dokümanların da dikkate alınmasında yarar görülmektedir. Teknik Rehberin diğer bölümlerinde yeri geldikçe hangi konularda daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulabileceği ve bu bilgilere hangi dokümanlarda ulaşılabileceğine dair saptamalar ve atıflar yapılmaktadır.

### **1.3. TKKNKSDY'de Kirlenmiş Saha Temizleme Sürecinin İşleyişi**

Kirlenmiş Sahalar Yönetim Sistemi genel akım şemasından görüleceği üzere (bkz. Kirlenmiş Sahalar Yönetim Sistemi Teknik Dokümanı, KSYS-TD), birinci aşama veya ikinci aşama değerlendirme sonunda "temizleme gerektiren kirlenmiş saha" olarak nitelendirilen sahalarda temizleme işlemine tabi tutulmaktadır. Temizleme sisteminin ana amacı, temizleme gerektiren kirlenmiş sahalarda hangi yöntemlerle, hangi kriterlere göre ve nasıl temizlenmesi gerektiği hususlarının ortaya konmasıdır. Temizleme sürecinde gerçekleştirilmesi gereken faaliyetler, bu faaliyetlerin nasıl gerçekleştirileceği ve karar alma aşamaları açık olarak tanımlanması gerekmektedir.

Temizleme sistemi ayrıntılı akım şeması Şekil 1.1'de sunulmuştur. Bu şekilden görüleceği üzere temizleme sistemi (i) temizleme faaliyet planlama ve değerlendirme, (ii) temizleme uygulama ve izleme ve (iii) temizleme sonlandırma olmak üzere üç ana aşamadan oluşmaktadır. Temizleme faaliyet planlama ve değerlendirme aşamasında öncelikle temizleme kararının hangi aşamada verildiğine bakılmaktadır. Temizleme gerektiren kirlenmiş saha kararı birinci aşama değerlendirme sürecinde alınmışsa, ilk yapılacak iş sahada ikinci aşama değerlendirme ayrıntılı akım şemasında belirlenen Saha ve Kirlilik Karakterizasyonu ile Sahaya Özgü Risk Değerlendirme çalışmalarının gerçekleştirilmesidir (bkz. KSYS-TD). Temizleme gerektiren kirlenmiş saha kararı ikinci aşama değerlendirme sürecinde alınmışsa, sahada söz konusu Saha ve Kirlilik Karakterizasyonu ile Sahaya Özgü Risk Değerlendirme çalışmaları zaten yapılmış olduğundan bu durumda bir sonraki adım olan Temizleme Yöntem Belirleme aşamasına geçilir.

Temizlenmesi gerekli olan sahalarda için temizlenmesi gereken çevresel ortam(lar) ve temizleme tamamlandığında erişilmek istenen kirlilik konsantrasyonunu gösteren hedef kirliliklere özel temizleme hedefleri belirlenmelidir. Risk-Bazlı Saha Temizleme Hedefi, ilk aşamada Sahaya Özgü Risk Değerlendirmesinde belirlenebilir. Kirlenmiş sahayı ilk aşamada belirlenen bu Temizleme Hedefine kadar temizlemenin teknolojik veya pratik olarak mümkün olmadığı ya da ekonomik olarak uygulanabilir olmadığı durumlarda sahadaki kirlilik düzeyi ve dağılımının daha ayrıntılı belirlenmesine yönelik ilave kirlilik ve saha karakterizasyonu çalışması yapılması gerekebilir. Böyle bir durumda (örneğin analitik veya nümerik model kullanımı ile) ileri düzey risk analizi yapılarak güncellenen Temizleme Hedefi değeri nihai Saha Temizleme Hedefi olarak belirlenir. Saha Temizleme Hedefi'nin belirlenmesine yönelik ayrıntılar bu Teknik Rehberin "2.1.1 Risk Bazlı Saha Temizleme Hedefinin Belirlenmesi" alt bölümünde anlatılmaktadır.



Şekil 1.1. Kirlenmiş Sahalar Temizleme Sistemi Ayrıntılı Akım Şeması

Saha Temizleme Hedefi'nin belirlenmesinin ardından Temizleme Yöntem Belirleme işlemine geçilir. Bu aşamada sahadaki kirliliğin belirlenen Temizleme Hedefi'ne kadar temizlenmesini mümkün kılacak uygulanabilir temizleme yöntemi seçenekleri belirlenir ve bu seçenekler arasından saha için tercih yapılır. Saha için uygun temizleme yöntem seçeneklerinin ve bunlar arasından saha için tercih edilecek yöntemin nasıl belirleneceğine dair bilgi ve yönlendirmeler bu Teknik Rehberin, "2.2 Uygulanabilir Temizleme Yöntemi Seçeneklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi" ile "2.3 Tercih Edilen Temizleme Yönteminin Seçimi" alt bölümlerinde ayrıntılı olarak verilmektedir.

Temizleme faaliyet planlama ve değerlendirme aşamasında, yukarıda sırası ile verilen faaliyetlerin icra edilmesinden sonra elde edilen bilgiler Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporuna aktarılır. Format ve kapsamı TKKNKSDY EK-12'de verilen bu rapor, Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu'na onay için sunulur. Komisyonun kurulma şekli ve yapısı hakkındaki detaylar TKKNKSDY'nin 6.Bölüm'de (Madde 19 da) verilmiştir. Komisyon, Saha Temizleme Hedefi ve seçilen temizleme yönteminin uygunluğu konusunu inceleyerek rapora onay verebilir veya onay vermeyerek Saha Temizleme Hedefi yenileme ve/veya seçilen temizleme yönteminin değiştirilmesini talep edebilir.

Komisyonun sunulan raporun onay alması üzerine temizleme sisteminin ikinci aşaması olan Temizleme Uygulama ve İzleme aşamasına geçilir. Bu aşamada, seçilen temizleme sisteminin tasarımı, bu tasarıma göre temizleme sisteminin sahada inşa edilmesi ve sistemin işletilmesi sağlanır ve temizleme işleminin etkinliği periyodik olarak izlenir. Sistemin çalışmaya başlamasıyla birlikte, temizleme işleminin ve sistem etkinliğinin değerlendirilmesi sahada yapılacak periyodik Hedef Kirlenici Saha Konsantrasyonu (HKSK) ölçümleri ile mümkün olacaktır. Periyodik ölçüm sonuçları Komisyon incelemesine sunulur. Komisyon yaptığı incelemelerle ölçüm sonuçlarını mevcut kirliliğin önceden belirlenen Saha Temizleme Hedefi'ne doğru azalma gösterip göstermediği, kirlilik azalma hızının beklenen düzeyde olup olmadığı hususlarına göre değerlendirir. Bu değerlendirmelere göre Komisyon, temizleme faaliyeti sonuçlarını uygun bularak İzleme Onayı verebilir. Bu durumda temizleme faaliyeti ve sistem işletimi planlandığı şekilde devam ettirilir. Komisyon, temizleme faaliyeti sonuçlarını uygun bulmaz ise sistemin işletim etkinliğinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunabilir. Komisyon, temizleme yöntem belirlemenin yeniden yapılması veya uygulanan temizleme sisteminin etkinliğini artırmak üzere işletme parametrelerinde ya da tasarımında (örneğin sisteme yeni bileşenler ilave edilmesi suretiyle) iyileştirme yapılmasını önerebilir.

İzleme faaliyetleri sonucunda elde edilen tüm bilgiler ve periyodik ölçüm sonuçları faaliyet sahibi tarafından değerlendirilerek sahadaki kirlenici konsantrasyonunun Saha Temizleme Hedefi'ne kadar düşürülüp düşürülmediği belirlenir. İzleme sonuçlarının temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını teyit etmesi halinde temizleme işlemi sonlandırılabilir. Temizleme Sonlandırma aşamasına geçmek amacıyla temizleme uygulama ve izleme faaliyetleri sonucunda elde edilen tüm bilgiler ve periyodik ölçüm sonuçları, temizleme sistemi tasarımı, inşası ve sistem işletimine ait bilgileri de içeren

Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporu Komisyon onayına sunulur. Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporunun format ve kapsamı TKKNKSDY EK-13'te verilmektedir. Bu raporun temel hedefi; kirlenmiş sahadaki kirlilik düzeyinin, kaynak dahil tüm kirlenmiş alanda, Saha Temizleme Hedefi'ne ulaştığının, uzun dönem periyodik izleme sonuçlarına ve saha verilerine dayanarak kanıtlanmasıdır. Raporun Komisyon tarafından onaylanması halinde, sahada temizlemenin kalıcılığının teyit edilmesine yönelik Komisyonca belirlenecek sıklıkta ve belirlenecek süre boyunca HKSK ölçümlerinin yapıldığı Temizleme Faaliyeti Sonlandırmayı Müteakip İzleme faaliyeti başlatılır. Raporun Komisyon tarafından onaylanmaması halinde ise, temizleme sisteminin işletilmesi ve izlenmesinin, mevcut durum göz önüne alınarak belirlenen bir süre kadar daha devam ettirilmesi istenebilir.

Komisyonun tüm temizleme süreci boyunca edindiği izlenimler sonucunda, temizleme sisteminin seçiminde ve işletiminde teknik anlamda herhangi bir uygunsuzluk veya ihmal olmamasına ve sistemin işletiminin makul bir süre daha uzatılmış olmasına rağmen, sahanın doğal koşulları gereği (örneğin aşırı derecedeki toprak veya akifer heterojenliği nedeniyle), kirlenmiş sahanın tümüne oranla ancak sınırlı ve dar bir bölümünde hala Saha Temizleme Hedefi'ne erişilememiş olması halinde, alınabilecek gerekli önlemlerin alınması koşuluyla, Komisyon Temizleme Faaliyeti Sonlandırmayı Müteakip İzleme faaliyetinin başlatılmasına izin verebilir.

Temizleme Faaliyeti Sonlandırmayı Müteakip İzleme sonuçlarına dayanarak Komisyon onayı ve/veya önerileri (örneğin, saha kullanımına kısıtlamaların getirilmesi gibi öneriler) doğrultusunda saha nihai olarak kapatılarak temizlenmesi gereken Kirlenmiş Saha listesinden çıkarılır. Bu tür Temizlenmiş Sahalar KSBS'de Potansiyel Kirlenmiş Saha listesinde tutulur. Temizleme Uygulama ve İzleme ile Temizleme Sonlandırma aşamalarında seçilen temizleme sisteminin tasarımı, inşası, işletimi, etkinliğinin izlenmesi ve temizleme faaliyetinin sonlandırılmasına dair bilgi ve yönlendirmeler bu Teknik Rehberin "Bölüm 3: Temizleme Sistemi Saha Uygulaması, İzleme ve Sonlandırma" kısmında ayrıntılı olarak verilmektedir.



## 2. TEMİZLEME FAALİYET PLANLAMA VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde genel temizleme stratejileri ile sahaya uygun temizleme yöntem seçimine yönelik karar verme stratejilerine dair bilgi sunulması amaçlanmıştır. Bu çerçevede, özellikle temizleme sistemi ayrıntılı akım şemasının birinci aşamasını oluşturan Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme aşamasında önemli yer tutan saha temizleme hedef ve kıstaslarının belirlenmesi ile temizleme yöntem seçimi konuları önem arz etmektedir.

“Kirlenmiş saha temizleme” terimi çok farklı anlamlarda kullanılabilen geniş kapsamlı bir terimdir. Bu dokümanda temizleme denince insan ve çevre sağlığına yönelik zararların önlenmesi veya giderilmesi amacıyla kirlenmiş sahada yapılan iyileştirme kastedilmektedir. Bu bağlamda temizleme, toprak ve/veya yeraltı suyunda bulunan kirleticilerin arıtılması, izole edilmesi, ortadan kaldırılması, tahrip edilmesi, daha az zararlı hale dönüştürülmesi veya zarara sebep olacağı alıcıya ulaşmasının önlenmesini sağlamak amacıyla geliştirilen ve uygulanan planlanmış bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır.

Saha değerlendirme çalışmalarını takiben temizleme kararı alındıktan sonra temizleme faaliyet planlama ve değerlendirme çalışmalarının;

1. Temizleme faaliyeti genel hedef ve kıstaslarının belirlenmesi,
2. Uygulanabilir temizleme yöntemi seçeneklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ve
3. Tercih edilen temizleme yönteminin seçimi

olmak üzere üç aşamada yürütülmesi öngörülmektedir. Birinci aşama, sahadaki kirliliğin tam olarak karakterize edilmesinin sağlanması, ilgili yasal gerekliliklerin ve kıstasların tespiti, temizlemeye yönelik muhtemel teknik, mekansal ve zamansal kısıtlamaların belirlenmesi ve genel temizleme proje amaçları ile sahaya özgü temizleme kriterlerinin saptanması hususlarını kapsamaktadır. İkinci aşamada genel temizleme seçeneklerinin listelenmesi, bu listedeki seçeneklerin bir değerlendirmeye tabi tutularak çevresel anlamda kabul görmeyenlerin ve teknik anlamda yapılabılır olmayanların elemeye tabi tutularak uygulanabilir olan seçeneklerin tespiti yapılmaktadır. Nihayet üçüncü aşamada da, bir önceki aşamada tespit edilen uygulanabilir seçenekler ayrıntılı bir değerlendirmeye tabi tutularak tercih edilen temizleme yöntemi belirlenir. Söz konusu aşamalar sırasıyla takip eden 2.1, 2.2 ve 2.3 bölümlerinde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

### 2.1. Temizleme Faaliyeti Genel Hedeflerinin Belirlenmesi

Genel temizleme hedefleri; kirlenmenin özellikleri, sahadaki kirlilikten dolayı zarar göreceği çevresel kaynaklar, alıcıların halihazırda ve gelecekte sahadaki kirleticilere maruz kalma potansiyeli dikkate alınarak insan sağlığı ve çevreyi korumaya yönelik ilgili çevresel mevzuata uygun olacak şekilde tespit edilmeli ve temizleme seçeneklerinin belirlenmesinde kullanılmalıdır. Bu bağlamda ilgili mevzuata uygunluk açısından dikkate alınacak ulusal ve uluslararası yasa, yönetmelik ve standartlar belirlenerek bir çizelge halinde, söz konusu mevzuatın ilgi alanı ve eldeki sahayı ilgilendiren gerekliliklerini de içerecek şekilde, TTKNKKSDY Ek-12'ye göre hazırlanacak olan raporla sunulmalıdır. İlgili mevzuat, ulusal ve uluslararası kapsamda, kirleticiye özgü (sınır değerler,

standartlar gibi), lokasyona özgü (hassas alanlar gibi) ve faaliyete özgü (ÇED yönetmeliği gibi) olabilir.

Temizleme faaliyetinin ana hedefi, insan sağlığını ve çevreyi korumaktır. Dolayısıyla temizleme faaliyeti bu hedefe ulaşmak amacıyla gerçekleştirilmelidir. Temizleme hedefinin belirlenmesinde dikkate alınacak faktörler şunlardır: ilgili çevresel mevzuata uygunluk, temizlenmesi gereken çevresel ortam ve bu ortamdaki hedef kirlenici(ler), maruziyet yolları ve alıcılar ile maruziyet yoluna bağlı kirlenici saha temizleme hedefi konsantrasyonu. Saha temizleme hedefi konsantrasyonu her bir kirlenici için, çevresel ortam (örneğin, toprak, yeraltı suyu, yüzey suyu) bazında, arazi kullanım durumuna göre belirlenen konsantrasyon düzeyleridir. Kirleniciye özgü saha temizleme hedefi konsantrasyonları iki şekilde belirlenebilir: (i) yaygın olarak kullanılan mevcut standartlar baz alınarak (örneğin, içme suyu amaçlı kullanılan veya kullanılma potansiyeli olan yeraltı suyu için saha temizleme hedefi konsantrasyonu olarak içme suyu standardı kullanılması), (ii) belirli maruziyet koşulları altında kanserojen ve kanserojen olmayan toksisite değerleri kullanılarak yapılan risk değerlendirmesine veya risk-bazlı hesaplamalara dayanarak belirlenen konsantrasyon sınır değerleri. Geçerli standartlar baz alınarak saha temizleme hedefi konsantrasyonu belirlenmesinde iki önemli nokta dikkate alınmalıdır: Birinci nokta söz konusu standardın saha için geçerli olması, ikinci nokta ise standardın öngördüğü konsantrasyon düzeyinin saha koşullarında erişilebilirliğidir. Kirleniciye özgü saha temizleme hedefi konsantrasyonlarının risk-bazlı belirlenmesi Bölüm 2.1.1'de anlatılmaktadır.

Temizleme hedef ve kıstaslarının belirlenmesini takiben bu hedeflere ulaşmayı sağlayacak uygun genel temizleme faaliyetleri belirlenir. Temizleme hedef ve kıstaslarında olduğu gibi, genel temizleme faaliyetleri de çevresel ortam bazında belirlenir. Genel temizleme faaliyetlerinin tespitinden sonra bu faaliyetlerin kirlenmiş sahada uygulanacağı çevresel ortamın alansal ve hacimsel büyüklüğü belirlenir. Bu aşamada, saha ve kirlilik karakterizasyonu çalışmalarından elde edilen sonuçlar baz alınmalıdır; ancak mevcut verilerin yetersiz olması halinde ilave veri toplanmalıdır. Belirlenen temizleme hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için, saha ve kirliliğin özelliklerine göre, genel temizleme faaliyetleri altında yer alan uygun temizleme teknolojisi ve proses seçenekleri, her bir teknolojinin dokümanede edilmiş bilinen performansına dayanarak belirlenir. Temizleme yöntemi seçenek geliştirme süreci olarak adlandırılan bu süreç ayrıntılı olarak Bölüm 2.2.3'te anlatılmaktadır.

### **2.1.1. Risk Bazlı Saha Temizleme Hedefinin Belirlenmesi**

Temizleme hedefi geliştirilmesi ve bu hedefin bir unsuru olarak risk bazlı saha temizleme hedefi konsantrasyonunun belirlenmesi sahaya özgü şu verilere dayandırılmalıdır:

- Dikkate alınması gereken (hedef) çevresel ortamlar,
- Dikkate alınması gereken (hedef) kirleniciler,
- Mevcut ve gelecekteki muhtemel arazi kullanımı,
- Geçerli maruziyet yolu (yolları) ve
- Kirleniciye bağlı hedef risk düzeyi.

Dikkate alınması gereken (hedef) çevresel ortamın belirlenmesinde Kavramsal Saha Modelinden (bkz. Risk Değerlendirme Teknik Rehberi Bölüm 3) yararlanılmalıdır. Bu ortamlar ya halihazırda kirlenmiş ve insanların kirleticilere maruz kalabilecekleri ortamlar; ya kirleticilerin muhtemel alıcı noktalara ulaştırılabildiği ortamlar; ya da halihazırda kirlenmiş olmayıp kirleticilerin taşınması suretiyle gelecekte kirlenebilecek ortamlardır. Çoğunlukla doğrudan temizleme gerektirecek önemli çevresel ortamlar; yeraltı suyu, yüzey suyu ve topraktır.

Dikkate alınması gereken (hedef) kirleticiler listesi, başlangıçta Kavramsal Saha Modeli çerçevesinde sahada daha önce yapılan çalışmalar ışığında bulunması muhtemel olan veya bulunduğu tespit edilen kirleticileri içerir. Bu listeye, mevcut kayıtlara göre sahada kullanıldığı ve bertaraf edildiği bilinen kimyasallar ile sahada halen bulunan kirleticilerin degradasyon ürünü olarak ortaya çıkabilecek kirleticiler de dahil edilmelidir.

Geçerli maruziyet yollarının doğru olarak tespit edilebilmesi için sahanın mevcut ve gelecekteki muhtemel arazi kullanımının belirlenmesi gerekir. Temizleme hedeflerinin belirlenmesi bakımından önemli olan arazi kullanım şekilleri: yerleşim, ticari/endüstriyel ve tarımsal alandır. Risk bazlı saha temizleme hedefi konsantrasyonunun hesaplanabilmesi amacıyla her bir çevresel ortam ve arazi kullanımı için sahada geçerli maruziyet yolları belirlenmelidir. Yüzey ve yeraltı suyu ortamları ile yerleşim ve ticari/endüstriyel arazi kullanımına uygun tipik maruziyet yolları *suyun içilmesi, sudaki uçucuların solunması ve sudaki kirleticilerin deri teması yoluyla emilimidir*. Toprak ortamı için her iki arazi kullanımına uygun tipik maruziyet yolları ise *toprağın yutulması ve deri yoluyla emilim, tozun solunması ve topraktan buharlaşan kirleticilerin solunmasıdır*.

Temizleme faaliyetinin tespit edilen hedefe ulaşip ulaşmadığının belirlenebilmesi için her bir çevresel ortamdaki hedef kirleticisi saha konsantrasyonu ile saha temizleme hedefi konsantrasyonu kıyaslanmalıdır. Bu kıyaslamaya temel oluşturmak üzere temizleme sonrası yapılacak hedef kirleticisi saha örnekleme ve bu ölçümlere dayanarak saha temizleme hedefine erişildiğinin istatistiksel olarak analiz edilmesine dair ayrıntılı bilgi Saha Etüt Teknik Rehberi Bölüm 9'da verilmektedir. Saha temizleme hedefi konsantrasyonu, hedef risk düzeyi baz alınarak hesaplanmalıdır. Hedef risk düzeyi, bir çevresel ortamdaki bir kirleticisi için geçerli bütün maruziyet yollarını içermeli ve bu çerçevede (i) sahadaki kanserojen kirleticisi saha temizleme hedefi konsantrasyonunun oluşturduğu risk düzeyi kirleticisi bazında tüm maruziyet yollarından kaynaklanan toplam risk  $10^{-6}$ 'yı ve (ii) sahadaki kanserojen olmayan kirleticisi saha temizleme hedefi konsantrasyonunun oluşturduğu tehlike indeksi düzeyi 1'i aşmamalıdır. Temizleme hedeflerinin risk-bazlı saha temizleme hedefi (konsantrasyonu) veya temizleme risk düzeyi hesaplanarak belirlenmesinde kullanılan hesaplama yöntemi, formüller ve parametreler için ayrıntılı bilgi Risk Değerlendirme Teknik Rehberi Bölüm 6'da ve ilave bilgi U.S. EPA (1991) dokümanında sunulmaktadır.

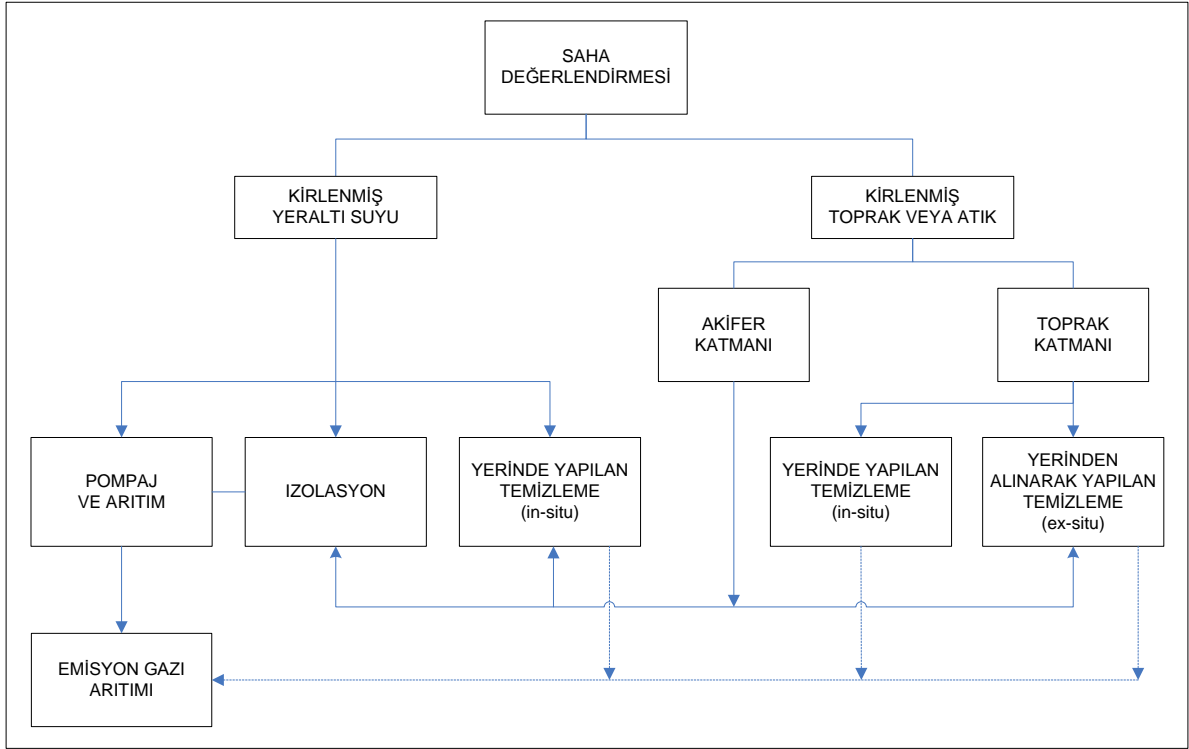
## 2.2. Uygulanabilir Temizleme Yöntemi Seçeneklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Temizleme aşamasının temel amacı, sahada belirlenen risklerin sahanın mevcut ve gelecekteki muhtemel kullanımları ile uyumlu olacak şekilde giderilmesi için gerekli temizleme stratejisinin, uygun temizleme teknolojisinin ve sistem tasarım/işletim ölçütlerinin belirlenmesidir. Temizleme stratejisinde yer alması gereken anahtar unsurlar (i) temizlemenin saha ve kirlilik karakterizasyonu ve risk değerlendirme çalışmalarına dayandırılması, (ii) önerilen temizleme çalışmasının tanımlanması, (iii) belirlenen risklerin nasıl giderileceğinin detaylandırılması ve (iv) işletim ve izleme programlarının oluşturulmasıdır.

### 2.2.1. Genel Temizleme ve Karar Verme Stratejileri

Strateji geliştirmede kullanılacak genel temizleme seçenek sayısı göreceli olarak az olmasına karşın, kirlenmiş bir sahanın temizlenmesinde kullanılacak çok sayıda farklı temizleme yöntemi mevcuttur. Genel temizleme seçenekleri Şekil 2.1'de sunulmaktadır. Son yıllarda saha ölçeğinde kullanılabilen çok sayıda farklı temizleme yöntem ve teknolojileri geliştirilmiştir. Fakat bu yöntemler arasından seçim yapmak bu seçimi etkileyen çok sayıda etmen arasındaki karmaşık ilişki nedeniyle nispeten zordur. Kirlenmiş sahalar, sahip oldukları çevresel/hidrolojik/hidrojeolojik koşullar, kirlenmenin oluş şekli, kirlenme çeşitleri ve bu kirlenmelerin çevresel ortamlarda maruz kaldıkları fiziksel, kimyasal ve biyolojik taşıyım süreçleri bakımından pek çok farklılıklar arz ederler. Bu sebeple, temizleme yöntem seçimi farklı sahalar için önemli ölçüde farklıdır; diğer bir deyişle sahaya özgüdür. Uygun seçimin yapılması ve karar verme süreci hem mevcut kullanılabilir teknolojiler konusunda hem de sahanın kendine özgü koşulları konusunda yeterli bilgi sahibi olmayı gerektiren bir uzmanlık işidir.

Genel olarak toprak ve yeraltı suyu temizleme teknikleri kirlenmelerin giderim veya bozunum/dönüşümünün bulunduğu yerde doğrudan sağlanıp sağlanamamasına bağlı olarak "*yerinde yapılan (in-situ) arıtım/temizleme*" veya "*yerinden alınarak yapılan (ex-situ) arıtım/temizleme*" olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. Yerinden alınarak yapılan (ex-situ) temizleme yöntemleri ile ilgili en önemli sorun, toprak hafriyatı veya yeraltı suyunun pompalanması faaliyetlerinin yapılması zorunluluğundan kaynaklanan yüksek işletme maliyeti gerektirmeleridir. Bu nedenle son yıllarda yerinde temizleme tekniklerinin geliştirilmesi üzerinde yoğun olarak çalışılmakta ve bu tekniklerin saha ölçeğinde uygulaması yaygınlık kazanmaktadır. Ancak, bu durumda da temizlenmesi gereken sahaya uygun yöntemin seçimini yapmak için hem saha ve kirlenme ile ilgili, hem de mevcut kullanılabilir yöntemlerle ilgili yoğun bilgi ve uzmanlık sahibi olmak gerekmektedir. Yetersiz bilgi ve uzmanlığa dayalı temizleme faaliyetlerine girilmesi, temizleme maliyetinin gereksiz yere artmasına yol açabilmektedir.



**Şekil 2.1.** Kirlenmiş Sahalar için Temizleme Stratejisi Geliştirmede Kullanılabilecek Genel Temizleme Seçeneklerini Gösteren Akım Şeması (Water Technology International Corp., 1997'den uyarlanmıştır.)

Temizleme stratejileri belirlenmesi ve temizleme yönteminin seçimi açısından (i) teknoloji (temizleme yöntemi) ve (ii) kirlenmiş saha ile ilgili olmak üzere iki ana faktör önemli rol oynamaktadır.

Teknoloji (temizleme yöntemi) ile ilgili önemli faktörler şunlardır:

- Etkinlik
- Uygulanabilirlik
- Maliyet

Etkinlik, dikkate alınacak temizleme teknolojisi ve proses seçeneklerinin uygulanması durumunda çevre ve insan sağlığının kısa ve uzun vadede korunması, kirleticilerin toksisitesinde, hareketliliğinde/yayılımında ve miktarında gerçekleştirilecek azalma/iyileştirme anlamında kullanılmaktadır.

Uygulanabilirlik, söz konusu temizleme yönteminin hem teknik hem de idari anlamda temizlenmesi gereken sahada uygulanabilirliğinin mümkün olup olmadığını göstermektedir. Teknik anlamda uygulanabilirlik temizleme yönteminin kirlenmiş türü, konsantrasyonu ve sahanın özellikleri itibarıyla sahada uygulanabilirliğini ifade ederken, idari uygulanabilirlik ise temizleme yönteminin gerektirdiği deşarj, emisyon, atık bertarafı izinleri, çevresel etkiler ve benzeri nedenlerle ilgili yönetmeliklerce çerçevelenen hususlar bakımından uygulanabilirliğini kapsamaktadır.

Maliyet ise, genel anlamda temizleme yönteminin uygulanması esnasında gereken yatırım, işletme ve bakım maliyetlerini içermektedir. Temizleme yöntemleri arasında maliyet bakımından yapılan kıyaslamada aynı teknoloji içerisinde kullanılacak değişik proses seçeneklerinden ziyade kullanılacak ana teknolojik (örneğin, izolasyon, arıtım, hafriyat vb.) seçenekler arasındaki kıyaslama ön plana çıkmaktadır. Yüksek maliyetin ortaya çıkmasının en yaygın sebepleri, temizlenmesi gereken sahadaki koşullara uygun olmayan temizleme metodunun seçilmesi veya seçilen yöntemin optimal bir şekilde tasarlanıp işletilmemesidir.

Etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet faktörleri daha sonra "2.2.3 Temizleme Yöntemi Seçenek Geliştirme Süreci" ile "2.3 Tercih Edilen Temizleme Yönteminin Seçimi" bölümlerinde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Temizleme stratejileri belirleme ve temizleme yöntemi seçimi açısından kirlenmiş saha ile ilgili önemli faktörler ise şunlardır:

- Kirlenmiş ortam: Sahada toprak, yeraltı suyu veya her iki ortam birden kirlenmiş olabilir; kirlenmiş ortam çeşitlendikçe, daha yoğun ve entegre temizleme yöntemleri gerekebilir.
- Sahadaki hidrolik/hidrolojik koşullar: Toprak/akifer hidrolik iletkenliği ve heterojenliği, kirleticinin ortamda taşınım kolaylığını belirler. Temizleme, bu tür saha özelliklerine göre zor veya kolay olabilir.
- Tahmin edilen kirlenmiş toprak ve/veya yeraltı suyu hacmi: Eğer hacim küçükse, yerinden alınarak yapılan "ex-situ" temizleme yöntemi tercih edilebilir, aksi takdirde yerinde yapılan "in-situ" temizleme yönteminin uygulanması gerekebilir. Genel anlamda eğer sahanın alanı 1600 m<sup>2</sup> den ve hacmi 25000 m<sup>3</sup> den az ise saha küçük kabul edilerek kirlilik yerinden alınarak temizleme uygulanabilir, sahanın alanı 1600 m<sup>2</sup> den ve hacim 25000 m<sup>3</sup> den fazla ise saha büyük kabul edilerek kirlilik yerinde yapılan temizleme ile giderilebilir.
- Kirleticinin yoğunluğunun suyun yoğunluğundan az veya çok olması: Eğer kirleticinin yoğunluğu suyun yoğunluğundan az ise daha kolay temizleme yöntemleri uygulamak mümkünken, kirleticinin yoğunluğunun sudan fazla olması halinde daha ileri düzeyde, gelişmiş temizleme yöntemleri kullanmak gerekebilir.
- Kirleticinin toprak ve/veya yeraltı suyu ortamında serbest veya bakiye fazda bulunması: Eğer kirletici suda çözünmemiş serbest fazda ise öncelikle geri kazanımı mümkün olan kısmı kolaylıkla alınabilir; buna karşın, eğer kirletici suda çözünmemiş bakiye fazda ise daha yoğun ve entegre temizleme faaliyeti uygulamak gerekebilir.
- Kirlenme veya kirletici konsantrasyonu düzeyi: Konsantrasyon düzeyi standardın (örn. Saha Temizleme Hedefi'nin'nin) 0-5 katı ise düşük, standardın 5-50 katı ise orta ve standardın 50 katından fazla ise yüksek olarak üç farklı kategoride sınıflandırılabilir. Farklı konsantrasyon düzeyindeki kirleticiler farklı temizleme yöntemi gerektirebilir; düşük konsantrasyon düzeyleri için genelde tek bir metot kullanmak yeterli olurken, orta ve yüksek konsantrasyon düzeyleri için birden fazla yöntemi entegre olarak kullanmak gerekebilir.

Herhangi bir kirlenmiş sahadaki temizleme stratejisi oluşturma ve uygun temizleme teknolojisi

seçiminde yukarıda sıralanan teknolojik ve sahaya özgü koşulların değişik kombinasyonlarının bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Söz konusu kombinasyonların çokluğu ve bazı belirsizlikler doğal olarak süreci karmaşıklaştırmaktadır. Bu nedenle, Teknik Rehberde strateji belirleme ve karar alma süreçlerini kolaylaştırma amacıyla sistematik yaklaşım yöntemlerine dair yönlendirici niteliğinde bilgi sunulmaktadır.

## 2.2.2. Mevcut Kullanılabilir Temizleme Teknolojileri Seçenekleri

Bu bölümde, yukarıda bahsi geçen genel temizleme ve karar verme stratejilerine uygun mevcut kullanılabilir temizleme teknoloji seçenekleri konusunda ayrıntılı bilgi verilmektedir. Kirlenmiş sahalarda toprak ve yeraltı suyu temizlemede kullanılacak yöntemleri genel olarak;

1. Kirliliğin yerinden (hafriyat, pompaj/ekstraksiyon ve benzeri şekilde) alınarak arıtılması ve/veya bertaraf edilmesine dayanan *hafriyat-ekstraksiyon yöntemleri*
2. Kirliliğin dağılmasını/yayılmalarını sınırlamak veya önlemek üzere bulunduğu yerde izole edilmesine dayanan *yerinde izolasyon yöntemleri*
3. Kirliliğin bulunduğu yerden alınarak tahrip edilip giderilmesini veya değişime/dönüşüme uğratılarak toksisitesinin azaltılmasını sağlayan *arıtıma dayalı yöntemler*

olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Birinci başlıkta hafriyat malzemesinin (toprak, atık) yerinden alınarak arıtımı, pompajla çıkarılan yeraltı suyunun arıtımı ile ekstrakte edilen emisyon/deşarj gazlarının arıtımı önem arz etmektedir. İkinci ve üçüncü başlıklarda da sırasıyla kirlenmiş toprak ve yeraltı suyunun yerinde izole edilmesi ve yerinde arıtımı söz konusu olmaktadır. Bu yöntemlerin her birinde fiziksel, kimyasal, biyolojik veya ısıl proseslere dayalı teknolojiler kullanılabilen ve her bir teknolojik seçenek içerisinde farklı proses seçeneklerinin uygulanması mümkün olabilmektedir. Temizlenmesi gereken sahanın özelliklerine göre söz konusu yöntem, teknoloji ve proses seçeneklerinin tek başına veya farklı kombinasyonlar halinde birlikte kullanılması uygulamada mümkün olabilmektedir. Mevcut kullanılabilir temizleme yöntem, teknoloji ve proses seçenekleri takip eden bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

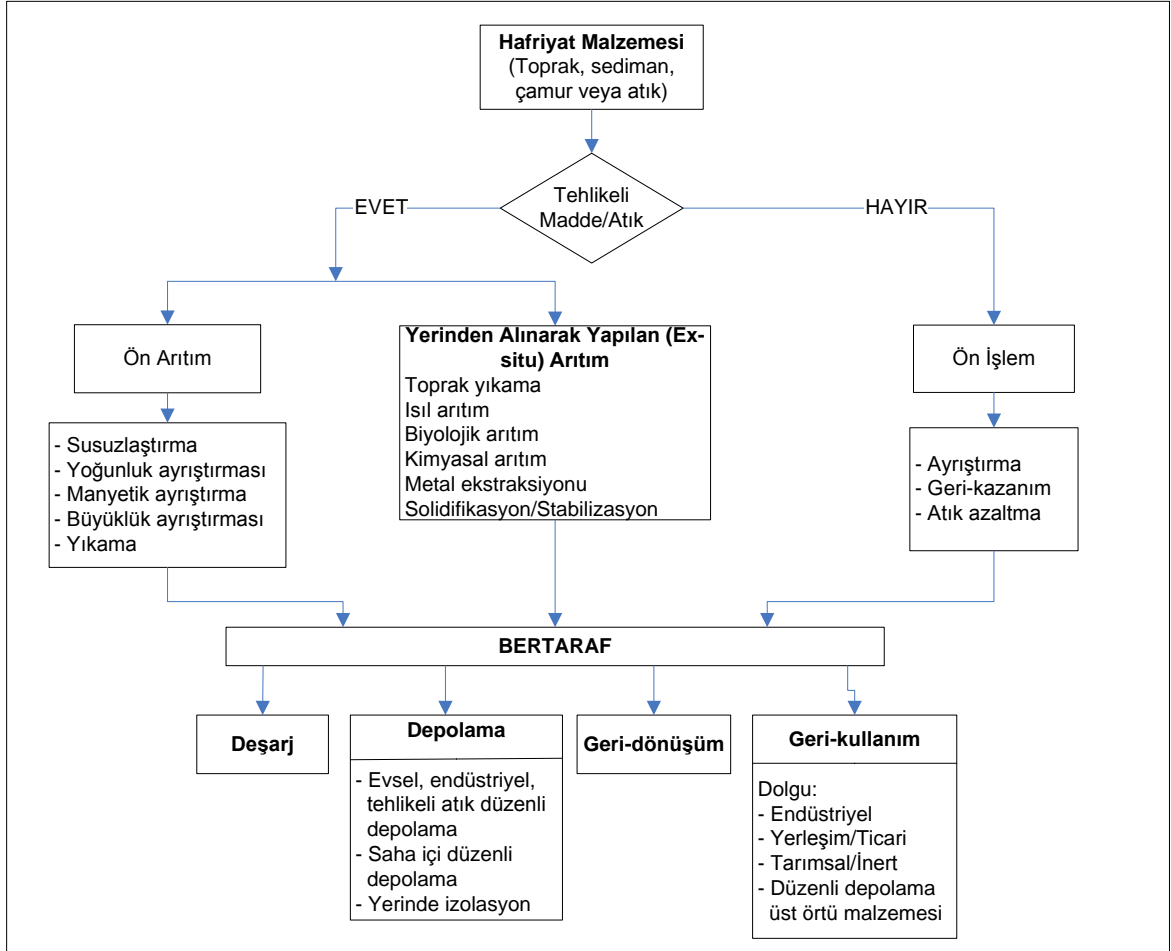
### 2.2.2.1. Hafriyat Malzemesinin Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi

Toprak ve benzeri hafriyata tabi olabilen malzemelerin arıtımı/temizlenmesi için *ex-situ* yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde kirlenmiş malzemenin arıtımı/temizlenmesi saha içerisinde kurulmuş mobil teknolojik ünitelerde yapılabildiği gibi malzemenin saha dışında bulunan mobil ya da sabit tesislere nakledilmesi yoluyla da yapılabilmektedir. Fiziksel olarak hafriyata tabi olabilecek malzemeler şunlardır:

- Kirlenmiş toprak veya moloz malzeme
- Endüstriyel çamur veya diğer endüstriyel atıklar (örn. cüruf)
- Tehlikeli maddeler, tehlikeli atıklar ve bunları muhafaza etmede kullanılan, varil, konteynır gibi malzemeler

Bu rehberde, bundan sonra "hafriyat malzemesi" terimi ile yukarıda verilen malzemeler kastedilecektir. Genelde, kirlenmiş sahalarda fiziksel, çevresel ve ekonomik şartların elvermesi

halinde temizlemenin hafriyat yoluyla yapılmasının “*yerinde yapılan (in-situ) temizleme*” ye tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden biri, hafriyatın nispeten daha kısa sürede gerçekleştirilebilen nihai bir çözüm olabilmesidir. Temizlemenin hafriyat yoluyla yapılmasına karar verilmesi halinde arıtım veya bertaraf seçeneklerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Şekil 2.2 hafriyat malzemesinin yerinden alınarak (Ex-Situ) arıtımı/temizlenmesi için kullanılabilecek seçenekleri göstermektedir. Bu şekilde görüleceği gibi bütün seçeneklerde mutlaka bir bertaraf yöntemine gerek duyulmaktadır. Dolayısıyla, bertaraf seçenekleri ve bu seçeneklerin maliyetleri temizlemenin hafriyat yoluyla yapılmasına karar verilirken dikkate alınmalıdır.



**Şekil 2.2.** Hafriyat Malzemesinin Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi için Kullanılabilecek Seçenekler (Water Technology International Corp., 1997’den uyarlanmıştır).

Bertaraf seçenekleri olarak deşarj, depolama, geri dönüşüm veya geri kullanım tercih edilebilir. Temizlenmiş hafriyat malzemesinin, özellikle toprağın, çeşitli amaçlarla dolgu malzemesi olarak deşarjı kontrollü koşullarda söz konusu olabilir. Depolama kapsamında kirlenmiş toprağın; tehlikeli, endüstriyel veya evsel atık düzenli depolama tesislerinde veya saha sınırları içerisinde inşa edilecek kalıcı düzenli depolama hücresi/tesisinde veya bölüm 2.2.2.4 anlatıldığı gibi yerinde izolasyon ile bertarafı yer almaktadır. Geri dönüşüm ve geri kullanım seçeneğinde hafriyat malzemesinin, özellikle temizlenmiş toprağın, tarımsal, yerleşim, park, ticari ve endüstriyel



alanlarda veya düzenli depolama tesislerinde üst/ara örtü amaçlı dolgu malzemesi olarak kullanımı mümkün olabilmektedir.

Bertaraf seçeneğinin belirlenmesinde (i) temizlenmesi gereken hedef kirletici(ler), (ii) sahanın coğrafi veya belediye sınırları içerisindeki konumu ve arazi kullanım şekli, (iii) temizleme ve bertaraf için göz önünde bulundurulacak yasal gereklilikler, (iv) saha sahibinin hafriyat malzemesinin kullanımına ilişkin talepleri ve (v) hafriyat malzemesinin fiziki durumu gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Mümkün olabilecek tüm bertaraf seçenekleri tespit edildikten sonra her biri için ilgili yönetmeliklerde yer alan yasal kriterler tespit edilmelidir.

Hafriyat toprağı için ihtiyaç duyulan temizleme hedefi, temizlenmiş toprağın bertaraf seçeneğı ile doğrudan ilgilidir. Örneğın, tarımsal bir alanda üst dolgu toprağı olarak kullanılacak bir toprağın temizleme hedefi konsantrasyonu, bir düzenli atık depolama sahasında nihai üst ya da ara örtü malzemesi olarak kullanıma göre daha düşük olacaktır. Bazı durumlarda, Bölüm 2.1’de anlatıldığı gibi, temizleme hedefi konsantrasyonu risk bazlı olarak belirlenmektedir.

Hafriyat malzemesinin yerinden alınarak (ex-situ) arıtımının bir temizleme yöntemi olarak dikkate alınması durumunda ilk olarak, saha sahibinin (temizleme projesi yöneticisinin) hafriyat yoluyla yapılacak temizlemeyi yerinde yapılan (in-situ) temizlemeye tercih edip etmediğı belirlenmelidir. Temizlemenin hafriyat yoluyla yapılmasına karar verilmesi halinde ise hafriyat malzemesinin arıtılmasının mı yoksa arıtılmadan bertaraf edilmesinin mi gerektiğı belirlenmelidir. Bu kararların verilmesinde dikkate alınacak hususlar Çizelge 2.1’de; ex-situ temizlemenin yararları ve yetersizlikleri ise Çizelge 2.2’de verilmektedir.

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

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

**Çizelge 2.2** Hafriyat Malzemesinin “Yerinden Alınarak (Ex-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi” Yönteminin Yararları ve Kısıtlamaları

Yararlar	Kısıtlamalar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projenin temizleme hedeflerini karşılayabilmesi</li> <li>• Kirliliğe karşı uzun vadeli sorumluluğu azaltması</li> <li>• Etkili ve düşük maliyetli bir çözüm olabilmesi</li> <li>• Geri-kullanılabilir malzeme üretmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genellikle bertarafa göre maliyetin daha yüksek olması</li> <li>• Arıtım teknolojilerinin, temizlemenin etkinliği açısından taşıdığı belirsizlikler</li> <li>• Genellikle arıtımın bertarafa kıyasla daha uzun zamanda gerçekleştirilmesi</li> <li>• Özel yasal izinlerin alınmasını gerektirebilmesi</li> </ul>

Arıtma tekniklerinin ana amacı hafriyat malzemesinin değiştirilerek/dönüştürülerek temizleme hedef ve kriterlerini sağlar hale getirilmesidir. Genellikle, kirleticilerin adsorplanma derecesinin artması, toprak ve sediman gibi hafriyat malzemelerinin arıtımını zorlaştırmaktadır. Hafriyat malzemesinin arıtımında kullanılacak başlıca teknolojiler şunlardır:

- Toprak yıkaması
- Biyolojik arıtım
- Kimyasal arıtım
- Metal ekstraksiyonu
- Isıl arıtım
- Solidifikasyon/stabilizasyon yoluyla kirleticilerin hareketsizleştirilmesi

Toprak yıkaması; hafriyat toprağında veya sedimanda bulunan yarı uçucu organik bileşikler, pestisitler, metaller ve adsorbe olmuş inorganik kirleticilerin sürfaktan veya tutucu maddelerle muamele edilerek ve su ile yıkanarak uzaklaştırılması ve ortaya çıkan atık suyun arıtılarak deşarj edilmesi işlemlerini kapsar.

Biyolojik arıtma teknolojileri hafriyat toprağındaki petrol hidrokarbonları ve PAH'lar gibi organik bileşenlerin çoğunlukla mikroorganizmalar kullanılarak parçalanması esasına dayanır. Ana biyolojik arıtım çeşitleri şunlardır:

- Katı faz için kompostlama
- Parsel arıtımı (landfarming)
- Siluri fazda açık ya da kapalı reaktörlerle arıtım
- Yerinde yapılan (in-situ) biyolojik arıtım (Bölüm 2.2.2.5)
- Fitoremediasyon

Kimyasal arıtım; hafriyat malzemesinde bulunan organik kirleticilerin adsorpsiyon/desorpsiyon, yükseltgenme/indirgenme reaksiyonları ve iyon değişimi gibi süreçlerle ekstraksiyonuna veya parçalanmasına dayanılarak yapılmaktadır. Organik kirleticiler hidrojen peroksit, ozon veya "ıslak hava" gibi kuvvetli oksitleyici maddeler kullanarak, klorlu organikler ise indirgeyici maddeler

kullanarak deklorinasyon yoluyla parçalanabilir; ya da organik solventler veya su-bazlı yıkama çözeltileri kullanarak yıkama yoluyla ekstrakte edilebilirler.

Organik kirleticilerin aksine hafriyat toprağındaki metaller parçalanmadıkları için, konsantrasyonları sadece ekstraksiyon yoluyla düşürülebilmektedir. Metal ekstraksiyonunda kullanılacak temel yaklaşımlar şunlardır:

- Asidik, bazik tutucu ajan çözeltileri kullanılarak yıkama
- Flotasyon
- Elektrokinetik
- Sonar karıştırma
- Fitoremediasyon

Isıl arıtım teknolojileri yüksek maliyetli olmalarına rağmen, genellikle hafriyat toprağında bulunan veya diğer teknolojilerin kullanımından artakalan organik kirleticilerin gideriminde oldukça etkili olması nedeniyle kullanılmaktadır. Kullanılması mümkün olan ısı arıtım teknolojileri desorpsiyon, yakma, indirgeme ve vitrifikasyon teknolojileridir.

Hafriyat malzemesinin yerinden alınarak (Ex-Situ) arıtımı/temizlenmesi projelerinin başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için hafriyat malzemesinin konumu, miktarı ve kompozisyonu doğru olarak tespit edilmelidir. Aksi takdirde arıtımın uygun olup olmadığı, seçilecek arıtım metodu ve arıtımın maliyeti ile ilgili doğru karar vermek mümkün değildir. Bu nedenle, uygun arıtım yönteminin belirlenmesinin bir dizi laboratuvar veya pilot ölçekli arıtılabilirlik test çalışmalarına dayandırılması zorunluluk arzemektedir. Hafriyat malzemesinin (Ex-Situ) arıtımı/temizlenmesi için kullanılacak yukarıda özetlenen bertaraf ve arıtım teknolojileri seçeneklerine ait ilave bilgi Water Technology International Corp. (1997) kaynağından temin edilebilir.

#### **2.2.2.2. Ekstrakte Edilen Yeraltı Suyunun (Ex-Situ) Arıtımı**

Yeraltı suyunun “*yerinden alınarak yapılan (ex-situ) arıtımı*” suyun pompajla akiferden ekstrakte edilmesi, ekstrakte edilen yeraltı suyunun yüzeyde arıtılması ve arıtım sonrası yeraltı suyunun ekstrakte edildiği akifere veya herhangi bir alıcı ortama deşarj edilmesi aşamalarını içermektedir. Değişik teknolojiler kullanılarak yeraltı suyunun yerinde (in-situ) veya yerinden alınarak (ex-situ) arıtımı mümkündür. Yerinde yapılan (in-situ) arıtım teknolojileri daha sonra Bölüm 2.2.2.5’de ayrıntılı ele alınacaktır. Bu bölümde, yerinden alınarak yapılan (ex-situ) arıtım teknolojilerini değerlendirmeden önce, yeraltı suyunun in-situ ve ex-situ arıtımının genel olarak bir kıyaslamasını yapmak yararlı olacaktır.

In-situ teknolojiler adsorbe olmuş ve bakiye fazdaki kirleticilerin arıtımında kullanılırken, ex-situ teknolojiler çözünmüş ve serbest fazdaki kirleticilerin arıtımında kullanılmaktadır. Suda çözünmüş kirleticiler arıtılmak üzere pompajla kolayca yüzeye çıkarılabilir. Fakat akifer toprağına adsorbe olmuş ve gözenekte hapsolmuş kirleticilerin pompajla yüzeye çıkarılması kolay olmamaktadır.

Genel olarak, ex-situ teknolojiler in-situ teknolojilere kıyasla daha yoğun pompaj, yüzeyde arıtım için kullanılacak daha fazla alana (araziye) ve yüzey tesisine ihtiyaç duymaktadırlar. Buna karşılık, in-situ teknolojilerde ekstraksiyon, enjeksiyon kuyuları ve diğer küçük yüzey ekipmanları kullanılmaktadır. Dolayısıyla yüzeyde ne büyüklükte bir alana ihtiyaç duyulacağı herhangi bir kirlenmiş sahada teknoloji seçiminde etkili olabilmektedir. Ayrıca, ex-situ ve in-situ teknolojiler aynı hacimdeki ve aynı kirletici ile kirlenmiş yeraltı suyunun arıtım süresi, maliyeti ve arıtım sistemi işletim etkinliğinin izlenmesi bakımından önemli farklılıklar ortaya koymaktadır. Temizleme süresi ex-situ teknolojilerde nispeten kısadır; temizleme maliyeti ise in-situ teknolojilerde, özellikle yatırım ve bakım/işletim maliyetleri ex-situ teknolojilere göre daha düşüktür. Ex-situ teknolojilerin önemli avantajlarından biri, örnekleme kolaylığı nedeniyle, temizleme etkinliğinin daha kolay izlenebilmesidir. Çizelge 2.3 yeraltı suyunun ex-situ ve in-situ teknolojileri kullanılarak arıtımında rol oynayan faktörleri kıyaslamalı olarak özetlemektedir.

**Çizelge 2.3** Yeraltı Suyunun Arıtımında Kullanılan Ex-Situ ve In-Situ Teknolojilerin Kıyaslanması

Kıyaslama Kıstasları	In-Situ Arıtım	Ex-Situ Arıtım
• Yeraltı suyunun ekstraksiyonu	→ Bazen gerekli	Mutlaka gerekli
• En uygun kirletici tipi	→ Bakiye fazda veya adsorbe edilmiş	Serbest fazda veya çözülmüş
• Yüzeyde mekan ve ekipman gereksinimi	→ Asgari	Azami
• Arıtım süresi	→ Nispeten daha uzun	Nispeten kısa
• Arıtım maliyeti	→ Düşük-Orta	Orta-Yüksek
• Arıtım etkinliğinin izlenmesi	→ Zor	Kolay
• Sağlık riski maruziyeti	→ Asgari	Azami

Akiferden ekstrakte edilen yeraltı suyunda çözülmüş organik ve inorganik kirleticilerin yanı sıra arıtımda dikkate alınması gereken serbest faz (örneğin akaryakıt), askıda katı madde, demir ve mangan gibi sorun yaratan diğer kirlilik unsurları da mevcuttur. Aslında zararlı olmayan bu tür bazı kirlilik unsurları ön-arıtım yoluyla giderilebilir. Eğer ön-arıtım yoluyla giderilmezlerse, bu kirlilik unsurları hedef alınan organik ve inorganik kirleticileri arıtan teknolojilerin etkinliğinde ciddi ölçüde düşüşe sebep olmaktadır. Dolayısıyla ön-arıtım, arıtılacak suyun kalitesini, kullanılacak nihai arıtım teknolojisinin gereklerine uygun hale getirmek amacıyla yapılmaktadır. Ön-arıtım aşağıda Çizelge 2.4'te verilen yöntemlerin bir veya birkaçını içerebilir.

Şekil 2.3 akiferden ekstrakte edilmiş yeraltı suyunun arıtım aşamalarını ve her aşamada kullanılabilecek genel arıtım seçeneklerini göstermektedir. Her ne kadar bu seçeneklerin tamamı her kirlenmiş sahada kullanılacak temizleme sisteminde yer almasa da, en azından bunlardan üç tanesinin seri halde kullanılması gerekebilir. Şekilden de görüleceği gibi, ekstrakte edilen yeraltı suyu ilk olarak ön arıtıma tabi tutulabilir. Ön arıtımda askıda katı madde ve demir, mangan gibi

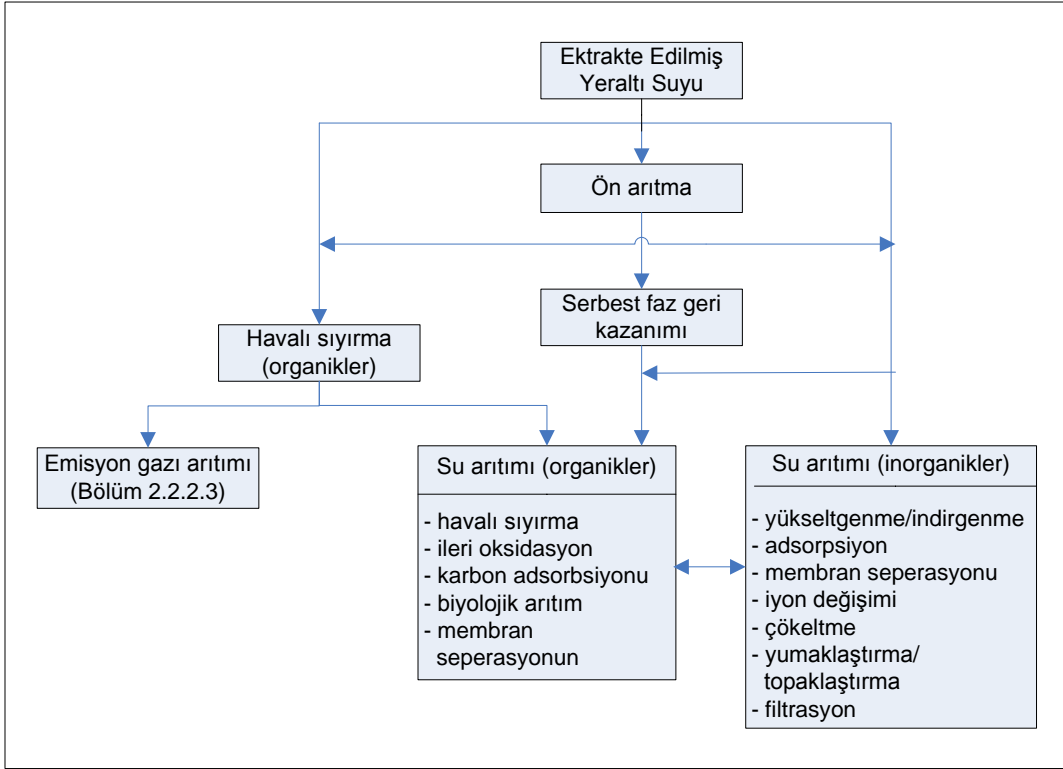
sorun yaratan metaller giderilir. Bunun yanı sıra, ön arıtımın bir parçası olarak, eğer yeraltı suyunda serbest fazda suyla karışmayan petrol hidrokarbonları ve benzeri tehlikeli organik maddeler mevcutsa, serbest fazdaki ürünün yoğunluk farkına dayanan seperatörler kullanılarak sudan ayrılması mümkündür. Geri kazanılan ürün ise geri-dönüştürülebilir veya yakma yoluyla tahrip edilebilir. Ön arıtımın tamamlanmasını takiben veya ön arıtıma gerek duyulmazsa, doğrudan organik kirleticilerin giderildiği havalı sıyırma sistemine veya diğer su arıtım sistemlerine gönderilebilir. Yeraltı suyunun havalı sıyırma sisteminden geçirilerek arıtılması esnasında sıyrılan organik kirleticileri içeren emisyon gazı oluşur. Bu gazların ilgili yönetmeliklerin ön gördüğü şekilde doğrudan havaya salınması veya bir arıtıma tabi tutulması söz konusu olabilmektedir. Emisyon gazlarının arıtımında kullanılacak teknolojiler Bölüm 2.2.2.3 de ele alınmaktadır.

**Çizelge 2.4 Ön Arıtım Yöntemleri**

<b>Ön Arıtım Yöntemi</b>	<b>Kullanım Amacı</b>
Havalandırma	İnorganik çökelti oluşturan çözünmüş demir ve manganın oksidasyonu için hava kullanılır.
Kimyasal oksidasyon	Demir ve mangani inorganik çökeltilere dönüştürmek için hidrojen peroksit (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ), klorindioksit (ClO <sub>2</sub> ) ve potasyum permanganat (KMnO <sub>4</sub> ) gibi oksitleyici ajanlar kullanılır.
pH ayarlaması	Suyun pH'sını arıtım teknolojisinin gerektirdiği pH ya ayarlamak için asit ve baz kullanılır.
Filtrasyon	Ekstrakte edilmiş yeraltı suyunda halen bulunan veya havalandırma ve/veya kimyasal ilavesi sonucu oluşan askıda katı maddeleri gidermek için filtreleme yapılır.
Su yumuşatması	Ekstrakte edilen yeraltı suyunun sertliğini gidermek için kimyasal ilave edilir.

Ex-situ arıtım teknolojileri kullanılarak akiferden ekstrakte edilen yeraltı suyunda bulunan çözünmüş organik ve inorganik kirleticilerin arıtımı gerçekleştirilmektedir. Çözünmüş organiklerin arıtımında havalı sıyırma, ileri oksidasyon, karbon adsorpsiyonu, biyolojik arıtım ve membran seperasyonu (ters ozmoz, ultrafiltrasyon gibi) teknikleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar ise havalı sıyırma ile karbon adsorpsiyonu teknikleridir. Çözünmüş inorganiklerin arıtımında yükseltgenme/indirgenme, adsorpsiyon, membran seperasyonu, iyon değişimi, çöktürme/sedimentasyon, yumaklaştırma/topaklaştırma ve filtrasyon teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler kadmiyum, bakır, kurşun, civa gibi ağır metaller, nitratlar, toplam çözünmüş madde ve yüksek/düşük pH'yı hedef almaktadır. Bunlar arasında en yaygın kullanılan inorganik kirletici arıtım teknikleri ise iyon değişimi ile çöktürme/sedimentasyon veya filtrasyondur. Ekstrakte edilmiş yeraltı suyunun arıtımı için kullanılacak yukarıda özetlenen teknoloji seçeneklerine ait ilave bilgi Water

Technology International Corp. (1997) dokümanından temin edilebilir.



**Şekil 2.3.** Akiferden Ekstrakte Edilmiş Yeraltı Suyunun Arıtım Aşamaları ve Her Aşamada Kullanılabilecek Genel Arıtım Çeşitleri

### 2.2.2.3. Emisyon Gazlarının Arıtımı

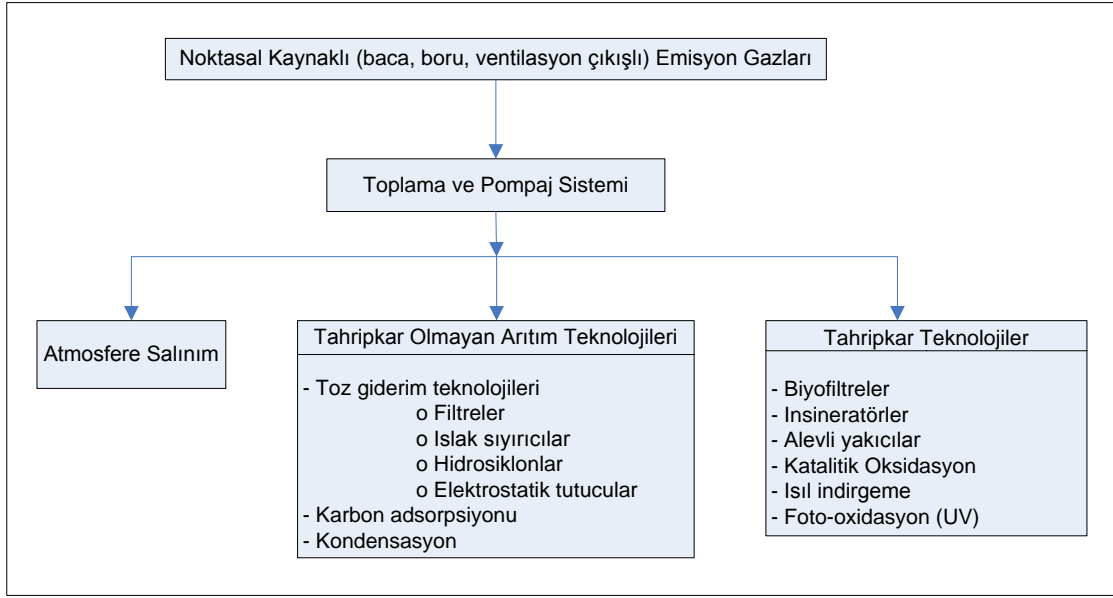
Emisyon gazları kirlenmiş saha temizlemede oldukça yaygın bir şekilde ortaya çıkan fakat yasal düzenlemelerdeki yetersizlikler nedeniyle göz ardı edilme eğilimi fazla olan, dolayısıyla arıtımında sorunlarla karşılaşılabilir bir atık oluşum türüdür. Herhangi bir kirlenmiş sahadan doğrudan buharlaşmayla meydana gelen veya o sahada temizlemeye yönelik herhangi bir faaliyetten kaynaklanan gaz fazı çıktılarını emisyon gazları olarak değerlendirilmektedir. Bu gazlar uçucu organikler, toz, azotlu bileşikler, sülfürlü bileşikler, karbon monoksit ve/veya uçucu metallerle kirlenmiş havadan oluşmaktadır. Bazı durumlarda da emisyon gazları hiç yada çok az hava içeren saf veya değişik gazların karışımından oluşabilmektedir. Bu duruma örnek olarak organik atıkların biyolojik parçalanmasından oluşan metan ve yakma sonucu oluşan baca gazları gösterilebilir. Tipik emisyon gazı kaynakları şunlardır:

- kirlenmiş sahadan doğrudan gelen pasif emisyonlar
  - organik maddelerin doğal biyolojik bozunumu sonucu oluşan metan gazı
  - organik maddenin bozunumundan oluşan sülfürlü gazlar
  - kirlenmiş toprak gözeneklerinden salınan uçucu ve yarı uçucu organikler
  - rüzgarın oluşturduğu toz
  - sızan depolama tanklarından veya atılmış konteynırlardan salınan gazlar

- kirlenmiş sahada yerinde (in-situ) yapılan temizleme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar
  - toprak gazının vakumla ekstraksiyonu
  - kirleticilerin buharlaşması için toprak ısıtması
  - hava kabarcıklandırması
  - biyoventilasyon
  - buharlı sıyırma
- hafriyat ve benzeri kaynaklardan oluşan emisyonlar
  - örselenmiş toprak veya atıktan uçucuların emisyonu
  - hafriyat yada inşaat ekipmanlarının oluşturduğu toz emisyonları
- ekstrakte edilmiş yeraltı suyunun yerinden alınarak (ex-situ) arıtımından kaynaklanan emisyonlar
  - havalı sıyırıcılar
  - filtrasyon üniteleri
  - lagünler, dengeleme tankları ve depolama havuzlarındaki yüzey suyu
  - biyolojik arıtım teknolojileri (ör. damlamalı filtreler)
  - havalandırma odaları
- hafriyat malzemesinin yerinden alınarak (ex-situ) arıtımından kaynaklanan emisyonlar
  - insinerator baca gazları
  - yığılan katı malzemelerin yüzeyleri
  - biyosiluri reaktörler
  - parsel arıtımı (landfarming)

Yukarıda sıralanan emisyon gazı kaynakları iki genel başlık altında toplanabilir; (i) boru, baca, ventilasyon çıkışlarından gelen noktasal kaynaklı emisyonlar, (ii) saha yüzeyinden, depolama alanlarından veya arıtım teknolojileri proseslerinden gelen alansal kaynaklı emisyonlar. Noktasal kaynaklı emisyon gazlarının, eğer arıtım gerekli ise, kontrol edilmesi toplanması nispeten kolaydır. Buna karşılık alansal kaynaklı emisyon gazlarının kontrol edilmesi ve toplanması daha zordur. Alansal kaynaklı emisyon gazları vakum yoluyla veya vakumla birlikte fiziki bariyerler yoluyla izole edilerek toplanabilir. Şekil 2.4 emisyon gazları için kullanılacak genel arıtım seçeneklerini göstermektedir.

Bu teknolojiler arasında en yaygın olarak kullanılanlar partikül madde gidericiler ve uçucu organikler için aktif karbon adsorpsiyonudur. Yakma, katalitik oksidasyon ve biyofiltre gibi tahripkar (giderime dayalı) teknolojiler ise uygun durumlarda daha kısıtlı kullanılan teknolojilerdir. Her arıtım/temizleme metodunda olduğu gibi, emisyon gazlarının karakterize edilmesi ve uygun arıtım teknolojisinin seçilebilmesi için laboratuvar veya pilot ölçekli arıtılabilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Emisyon gazlarının arıtımı için kullanılacak yukarıda özetlenen teknoloji seçeneklerine ait ilave bilgi Water Technology International Corp. (1997) dokümanından temin edilebilir.

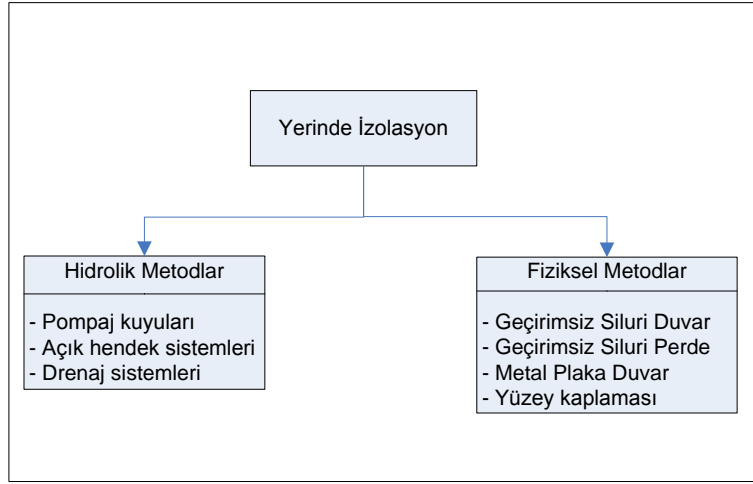


**Şekil 2.4.** Emisyon Gazları için Kullanılabilecek Genel Arıtım Seçenekleri

#### 2.2.2.4. Toprak ve Yeraltı Suyunun Yerinde İzolasyonu

Yerinde izolasyon teknikleri kirleticilerin kaynaktan veya kirlenmenin çok yoğun olduğu yerden salınımını, yayılmasını ve böylece kirliliğin saha sınırları dışına taşacak şekilde dağılmasını önlemek amacıyla, bazı hallerde ara çözüm, bazı hallerde de kalıcı çözüm sağlamak üzere, yaygın olarak kullanılmaktadır. Yerinde izolasyon tekniğinde kirleticiler, tahrip edilmeksizin veya herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın buldukları yerde bırakılarak, kirlenmiş bölgenin etrafının fiziksel bariyer veya hidrolik kontrol araçlarıyla çevrilmesiyle izole edilmiş olurlar. Yerinde izolasyon kirlenmenin yerinde (in-situ) arıtımının veya hafriyat yaparak temizlenmesinin mümkün olmadığı veya bu tür seçeneklerin maliyetinin aşırı derece yüksek olduğu kirlenmiş sahalar için tercih edilen, fakat genellikle gerçek temizleme yapılmadığından veya saha kullanımına sınırlamalar getirebileceğinden en son seçenek olarak düşünülmesi gereken bir çözümdür. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi fiziksel bariyer kullanarak yapılan yerinde izolasyon için geçirimsiz siluri duvar, geçirimsiz siluri perde, metal plaka duvar veya yüzey kaplama; hidrolik kontrol kullanarak yapılan yerinde izolasyon için ise pompaj kuyuları, açık hendek veya drenaj sistemleri gibi seçenekler mevcuttur.





**Şekil 2.5.** Yerinde İzolasyon için Kullanılabilecek Genel Teknoloji Seçenekleri

Yerinde izolasyon seçenekleri genelde sıvı kirlenmeler veya yeraltı suyu gibi akışkanların saha sınırları dışına yayılmasını ve daha geniş alanlara taşınmasını önlemek amacıyla tasarlanırlar. Bununla beraber, yerinde izolasyon teknikleri, daha önce Bölüm 2.2.2.1'de de belirtildiği gibi, kirlenmelerin topraktan yıkanması veya uçucu organiklerin buharlaşması gibi maruziyet yollarını kapatmak üzere toprak ve diğer hafriyat malzemesi içinde kullanılmaktadır. Hidrolik bariyer kullanarak gerçekleştirilen yerinde izolasyonda pompaj kuyuları kullanılmakta ve bu uygulamayla sıvı ve yeraltı suyunda çözülmüş kirlenmelerin yerinden alınarak uzaklaştırılması da mümkün olmaktadır. Pompaj sistemlerinin kurulması fiziksel bariyer sistemlerinin kurulmasına göre nispeten daha kolay olup kirliliğin izolasyonu bakımından da daha etkindir. Ancak, yeraltı suyunun pompalanması, yukarı çıkarılan suyun ya arıtılması ya da deşarj edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, hidrolik izolasyon sistemleri uzun dönem işletme ve finansal kaynak planlaması yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Genellikle sahaya en uygun teknik seçilmeden önce oldukça kapsamlı saha karakterizasyonu yapılması gerekmektedir. Yerinde izolasyon sistemleri sahaya özgü olarak tasarlanmalı; uygun teknik seçimi, sistem tasarımı ve işletimi uzman kuruluş ve mühendislerce yapılmalıdır. Çizelge 2.5'de yerinde izolasyon (fiziksel veya hidrolik), yerinde (in-situ) arıtım veya hafriyat yapılarak (ex-situ) arıtım seçeneklerinin hangi durumlarda kullanılması gerektiğine dair karar vermede dikkate alınacak hususlar sunulmuştur. Yerinde izolasyon için kullanılabilecek yukarıda özetlenen teknoloji seçeneklerine ait ilave bilgi Water Technology International Corp. (1997) dokümanından temin edilebilir.

**Çizelge 2.5** Yerinde İzolasyon (Fiziksel veya Hidrolik), Yerinde (In-Situ) Arıtım veya Hafriyat Yapılarak (Ex-Situ) Arıtım Seçeneklerinden Hangisinin Kullanılması Gerektiğine Dair Karar Vermede Dikkate Alınacak Hususlar

Sahanın Durumu	Fiziksel Yerinde İzolasyon	Hidrolik Yerinde İzolasyon (pompaj/arıtım)	Yerinde (in-situ) Arıtım	Hafriyat Yapılarak (ex-situ) Arıtım
Sadece kirlenmiş toprak	Evet	Hayır	Evet	Evet
LNAPL <sup>1</sup> - kirlenmiş toprak ve yeraltı suyu	Evet	Evet, ancak topraktaki kirleticilerin tamamını giderilemeyebilir	Evet	Genellikle zor
DNAPL <sup>2</sup> - kirlenmiş toprak ve yeraltı suyu	Mümkün olmayabilir	Evet, ancak kirliliğin hareketsizleşmesi ve az miktarda DNAPL giderimi sağlanabilir	Mümkün olmayabilir	Genellikle zor
Varil veya tanklardaki atık veya kimyasal madde	Evet, ancak pek tercih edilmez	Evet, ancak pek tercih edilmez	Hayır	Evet, tercih edilir
Sığ akiferde sadece çözülmüş kirleticiler	Evet	Evet	Evet	Hayır
Derin akiferde sadece çözülmüş kirleticiler	Zor	Evet	Evet, ancak zor	Hayır
Serbest fazda sıvı kimyasal madde	Önerilmez	Evet	Zor	Evet, ancak sadece bazı durumlarda

<sup>1</sup>Yoğunluğu sudan az suyla karışmayan sıvı tehlikeli kimyasal madde

<sup>2</sup>Yoğunluğu sudan fazla suyla karışmayan sıvı tehlikeli kimyasal madde

#### 2.2.2.5. Toprak ve Yeraltı Suyunun Yerinde (In-Situ) Arıtımı/Temizlenmesi

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 faaaliyeti 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.

Yukarıda bahsedilen nedenlerle birlikte, hafriyatın fiziki engeller nedeniyle (yeraltında mevcut kanalizasyon ve/veya su tesisatı, enerji nakil hatları, depolama tankları veya yüzeyde aktif yol veya binaların mevcudiyeti gibi) mümkün olmaması, ex-situ teknolojilere karşı idari veya toplumsal muhalefetin olması gibi benzer diğer sebeplerden dolayı in-situ arıtım teknolojileri genelde tercih edilmektedir. Pek çok avantajına rağmen in-situ teknolojilerin aşağıda sıralanan bazı dezavantajları da mevcuttur.

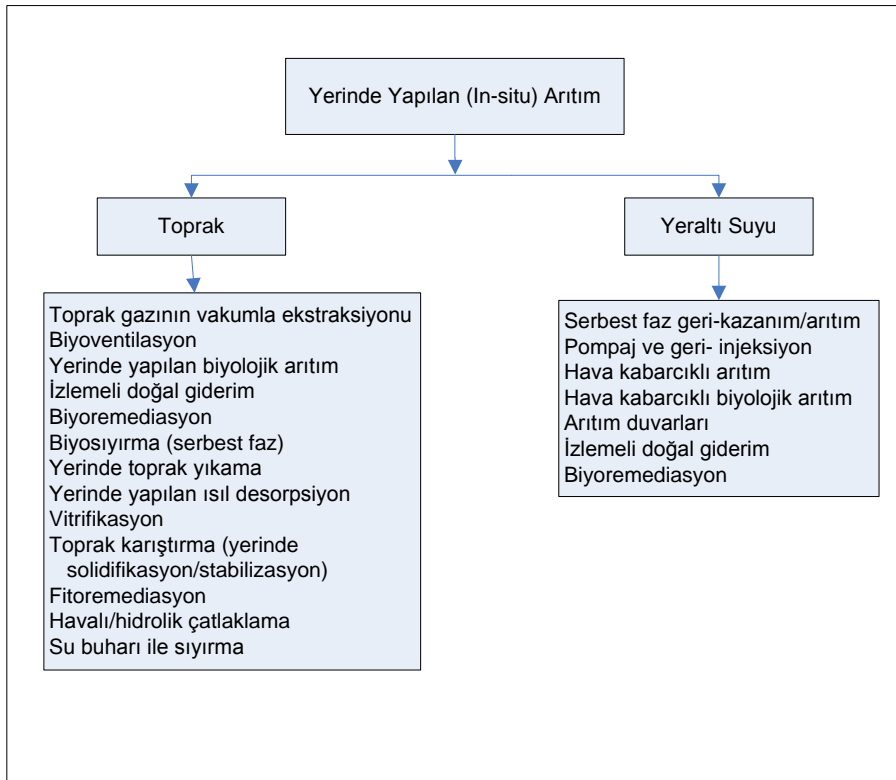
- In-situ teknolojiler kullanılarak yapılan temizleme faaliyetleri genelde daha fazla zaman almaktadır.
- Sahaya özgü, toprak/akifer heterojenliği, düşük hidrolik iletkenlik, kirlilik dağılımı, kirlenmiş toprak veya akifer içerisindeki kirliliğe erişimin fiziki engellerin (örneğin bina, altyapı sistemleri, 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 kirliliğe 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 kirlitici temizlenmesi için kullanılabilir.

Kirlitciler toprakta ve yeraltı suyunda serbest, bakiye, çözünmüş ve gaz fazlarında bulunabilmektedir. Kirlitcilerin 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) arıtım/temizlenmesi için kullanılacak teknoloji seçeneklerini göstermektedir.

Toprakta bakiye fazdaki kirlitciler toprak daneciklerine yapışmış olarak veya küçük çaplı toprak gözenğinde hapsedilmiş durumda bulunurlar. Toprakta bu şekilde bulunan kirlitcileri gidermek üzere kullanılacak teknolojiler havanın toprak içerisindeki hareket kabiliyeti, toprak ortamında havanın (oksijenin) ve kirlitcileri yok edebilen mikroorganizmaların varlığı gibi koşullara

dayanmaktadır. Bu nedenle, uçucu organik kirleticiler (UOK'ler) için sırasıyla toprak gazının vakumla ekstraksiyonu (TVE), biyolojik arıtım ve ısı desorpsiyon teknolojileri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Yarı uçucu organikler için ise biyoventilasyon ve diğer biyolojik arıtım teknolojileri tercih edilmektedir. Yeraltı suyunda meydana gelen kirlenmelerde 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 arıtımı gerekmektedir. Daha sonra ise çözünmüş fazdaki kirleticiler için pompaj ve geri-enjeksiyon, hava kabarcıklı arıtım gibi aktif temizleme teknolojileri veya doğal giderim, arıtım duvarları gibi pasif temizleme teknolojileri tek başına veya kombinasyon halinde kullanılabilir. Toprak ve yeraltı suyunun yerinde (in-situ) arıtımı/temizlenmesi için kullanılacak yukarıda özetlenen teknoloji seçeneklerine ait uygulamaya yönelik ilave teknik ve maliyet bilgisi Water Technology International Corp. (1997) ve U.S. EPA (2004) dokümanlarından ve bunlarda yer alan diğer kaynaklardan temin edilebilir.

Daha önce bölüm 2.2.2'de söz edildiği gibi, *hafriyat-ekstraksiyon yöntemleri*, *yerinde izolasyon yöntemleri* ve *arıtıma dayalı yöntemler* olmak üzere üç ana başlık altında toplanan, aynı zamanda genel olarak kirleticilerin giderim veya bozunum/dönüşümünün bulunduğu yerde doğrudan sağlanıp sağlanamamasına bağlı olarak "*yerinde yapılan (in-situ) temizleme*" veya "*yerinden alınarak yapılan (ex-situ) temizleme*" diye de gruplanabilen, mevcut kullanılabilir temizleme yöntem, teknoloji ve proses seçenekleri, temizlenen ortam ve uygulanabilecekleri kirleticileri de içerecek şekilde Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7'de özetlenmektedir.



**Şekil 2.6.** Toprak ve Yeraltı Suyunun Yerinde (in-situ) Arıtımı/Temizlenmesi için Kullanılabilir Teknoloji Seçenekleri

**Çizelge 2.6** Kirliliğin Yerinde (in-situ) İzolasyonu ve Arıtımına Dayalı Temizleme Teknolojileri

	Teknoloji Seçeneği	Temizlenen ortam	Kirletici türü	Açıklama
<b>Yerinde İzolasyon</b>	<b>Hidrolik</b>			
	Pompaj kuyuları	YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Bu uygulamayla sıvı ve yeraltı suyunda çözülmüş kirleticilerin yerinden alınarak uzaklaştırılması da mümkün olmaktadır. Yeraltı suyunun pompalanması yukarı çıkarılan suyun ya arıtılması ya da deşarj edilmesini gerektirmektedir.
	Açık hendek sistemleri	YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Yeraltı suyunun akışının kesilmesi yolu ile hidrolik kontrolün sağlanması prensibine dayanır.
	Drenaj sistemleri	YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Yeraltı suyunun akışının kesilmesi yolu ile hidrolik kontrolün sağlanması prensibine dayanır.
	<b>Fiziksel</b>			
	Geçirimsiz siluri duvar	Toprak, YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Kirlemiş saha, etrafına açılan hendeklerin geçirimsiz bir siluri tabaka ile doldurulması ile çevrenir.
	Geçirimsiz siluri perde	Toprak, YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Kirlemiş saha, etrafına açılan sondaj kuyularının geçirimsiz bir siluri tabaka ile doldurulması ile çevrenir.
	Metal plaka duvar	Toprak, YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Kirlemiş saha, etrafına yerleştirilen metal plaka ile çevrenir.
	Yüzey kaplaması	Toprak, YAS	Suda çözülmüş kirleticiler, LNAPL, DNAPL	Kirlemiş sahanın yüzeyinde, kirlenme vakasına uygun şekilde, 0,5 ile 1 m arasında değişen kalınlıklarda geçirimsiz veya yarı-geçirimli tabakalar oluşturulur.

Yerinde Arıtım	<b>Fiziksel/Kimyasal</b>			
	Aritım 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	Basıncılı 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 gerikazanımı veya arıtımını içermektedir.
Pompaj ve geri injeksiyon	YAS	Suda çözülmüş kirleniciler	Kirlenmiş yeraltı suyunun pompajla alınarak arıtılıp tekrar geri deşarj edilmesidir.	

<b>Yerinde Arıtım</b>	<b>Biyolojik</b>			
	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 (Petrol hidrokarbonları, PAHlar)	Kirlenmiş toprak üzerinde bitki yetiştirmek suretiyle arıtım sağlanır. Sonuç, toprak özellikleri, kirleticî türü ve konsantrasyonu ile bitkinin absorplama kapasitesine bağlıdır.
	Biyoremediasyon	Toprak, YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprak ve yeraltı suyunda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların kirleticî degradesyonunu sağlamaları için oksijen ve besin maddeleri ilavesiyle desteklenmesi suretiyle temizleme gerçekleştirilir.
	Bioventing	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Kirleticilerin biyolojik degradesyonun desteklenmesi amacı ile açılan kuyularla toprağa hava (oksijen) verilir.
	Hava kabarcıklı biyolojik arıtım	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler	Kirleticilerin biyolojik degradesyonun desteklenmesi amacı ile injeksiyon kuyuları aracılığı ile yeraltı suyuna hava (oksijen) verilir.
	<b>Termal</b>			
	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 ısıl desorpsiyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Toprakta bulunan kirleticilerin uçmasını sağlamak amacıyla ısı uygulanmasıdır.

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

Teknoloji Seçeneği	Temizlenen Ortam	Kirletici Türü	Açıklama
<b>Fiziksel/Kimyasal</b>			
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 mobiliteyi 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 değişimi	Toprak, YAS	Organikler, İnorganikler	Zararlı pozitif ve negatif iyonların zararsızlarıyla değiştirilmesi prensibine dayanır.
Metal ekstraksiyonu <ul style="list-style-type: none"> <li>· asidik, bazik tutucu ajan içeren çözeltiler kullanılarak yıkama</li> <li>· flotasyon</li> <li>· elektrokinetik</li> <li>· sonar karıştırma</li> <li>· fitoremediasyon</li> </ul>	Toprak	Metaller	Kirlenmiş topraktaki metallerin çeşitli yöntemlerle ekstraksiyonuna dayanır.



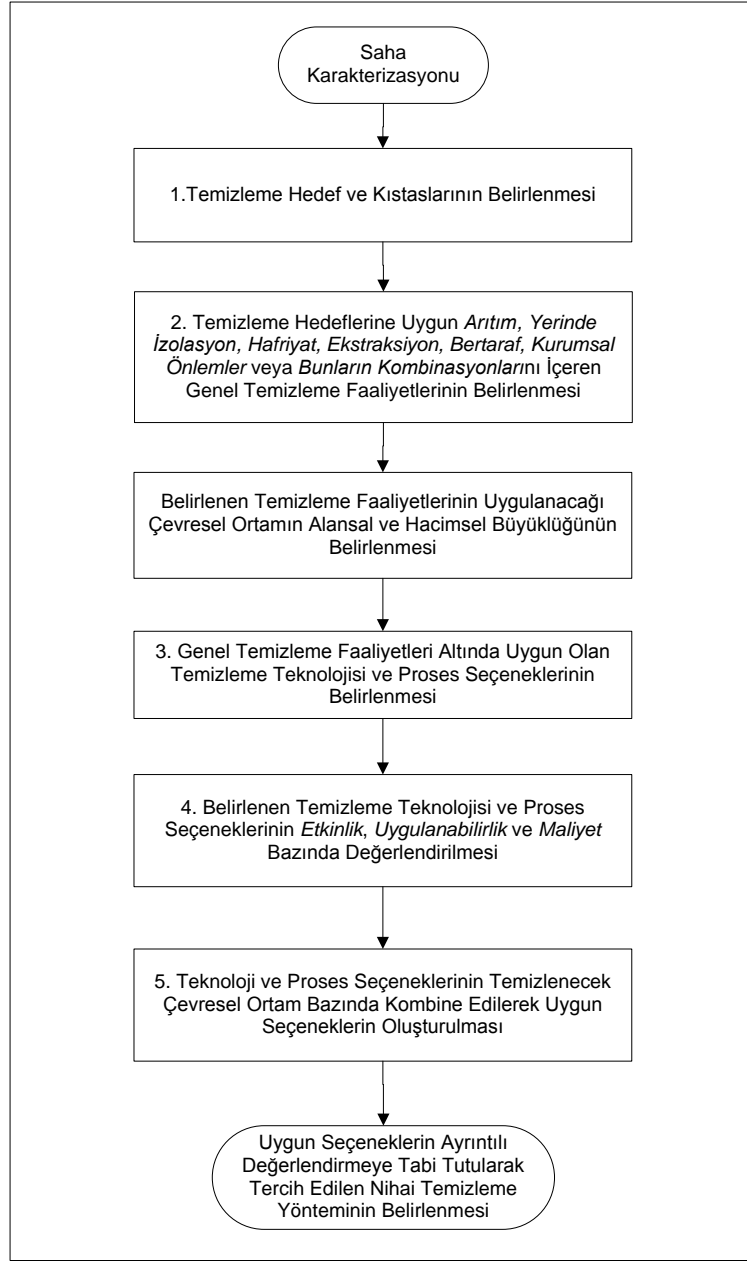
Havali sıyırma	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler	Hava sıyırıcılar aracılığı ile kirlenmiş yerltı suyunun havayla temas eden yüzy alanı artırılır. Bu sayede organik kirleticilerin gaz fazına geçişi sağlanır.
İleri oksidasyon	YAS	Uçucu ve yarı-uçucu organikler	Hidrokarbonlu kirleticileri karbon dioksit 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 çözülmüş 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 katkılar 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 spreyleneşmesi 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.

<b>Biyolojik</b>			
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 kirlı toprakta bitki yetiştirmek suretiyle arıtım sağlanır. Sonuç, toprak özellikleri, kirletici türü ve konsantrasyonu ile bitkinin absorplama kapasitesine bağlıdır.
Biyofiltrasyon	Emisyon gazları	Uçucu organikler	

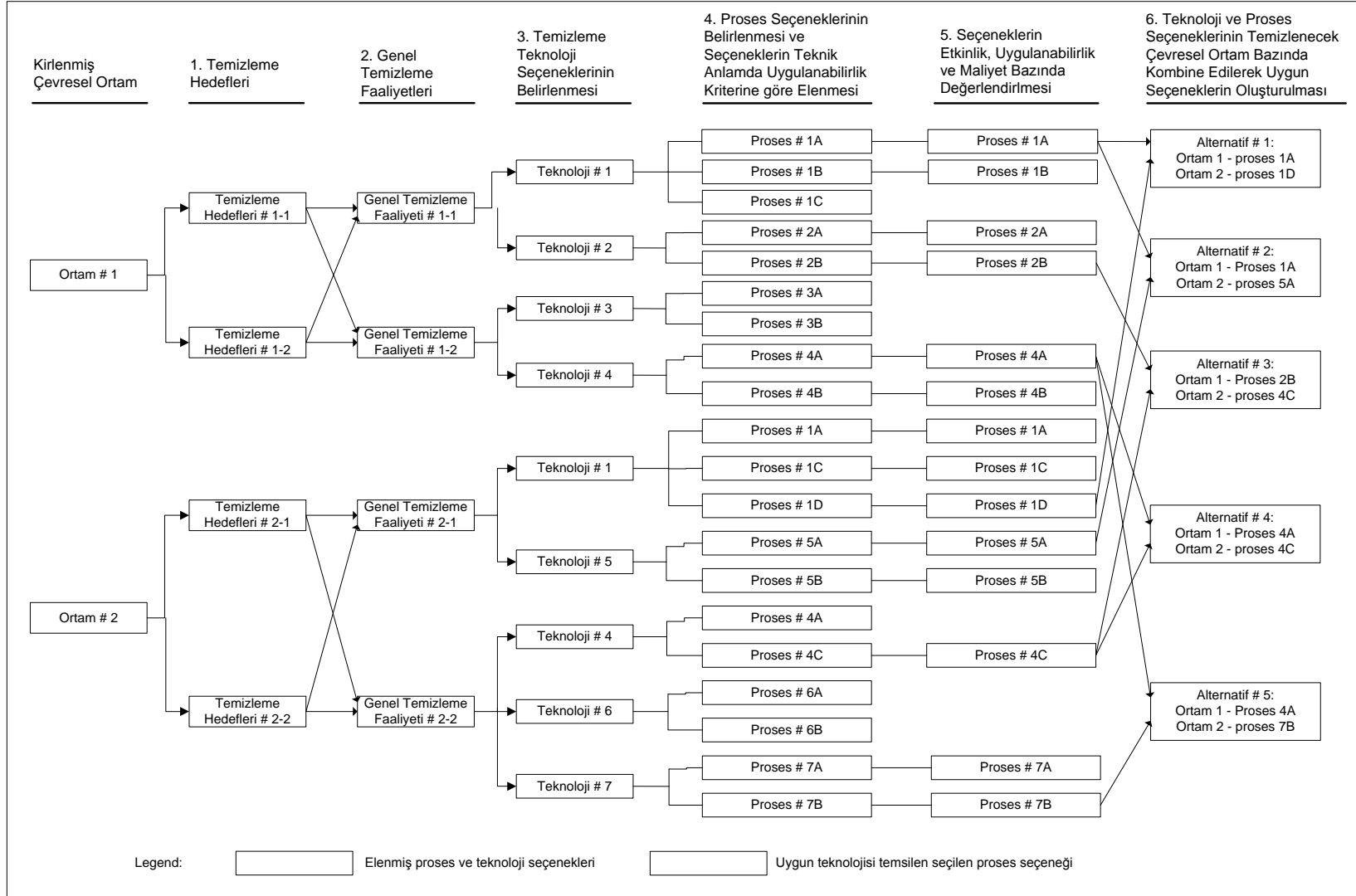
<b>Termal</b>			
Isıl desorpsiyon	Toprak	Uçucu ve yarı-uçucu organikler, solventler, pestisitler	Reaktörlere yerleştirilen toprak düşük sıcaklığa (95 - 300 °C ye) ya da yüksek sıcaklığa (300 - 500 °C ye) kadar ısıtılarak su ve kirleticilerin buharlaştırılması sağlanır. Ayrıca bu sayede oksidasyon desteklenir.
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.

### 2.2.3. Temizleme Yöntemi Seçenek Geliştirme Süreci

Temizleme yöntemi seçenek geliştirme süreci ele alınan kirlenmiş sahaya uygun mevcut kullanılabilir teknoloji kombinasyonlarının bir araya getirilmesini içeren üç aşamalı bir süreç olarak değerlendirilmelidir. Birinci aşamada kirlenmiş ortam(lar), bu ortamların alansal, hacimsel büyüklüklerini ve genel temizleme faaliyetlerini tanımlayan temizleme hedef ve kıstasları belirlenir. İkinci aşamada bu hedef ve kıstaslara uygun temizleme teknolojisi ve proses seçenekleri tespit edilir. Nihai aşamada ise belirlenen bu seçenekler; etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet kriterleri baz alınarak ayrı ayrı değerlendirilir, teknoloji ve proses seçenekleri temizlenecek çevresel ortam bazında kombine edilerek uygun seçenekler oluşturulur. Temizleme yöntem seçenekleri, karar alma sürecini kolaylaştırmak üzere, sahaya özgü koşullara bağlı olarak, yeterli sayıda ve her seçeneğin birbiriyle kıyaslanabilmesi için yeterli bilgiyi sağlayacak şekilde geliştirilmelidir. Temizleme yöntemi geliştirme sürecinin ana aşamaları Şekil 2.7'de özetlenmiştir. Bu şekilde verilen aşamalara göre sürecin işleyişine dair temsili bir örnek Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



**Şekil 2.7.** Temizleme Yöntemi Seçenek Geliştirme Sürecinin Ana Aşamaları



**Şekil 2.8.** Temizleme Yöntemi Seçenek Geliştirme Sürecinin Şekil 2.7 Verilen Ana Aşamalara Göre İşleyişini Gösteren Temsili Bir Örnek

**Çizelge 2.8** Değişik Çevresel Ortamlar İçin Temizleme Hedefi, Bu Hedefe Uygun Genel Temizleme Faaliyetleri ile Uygun Teknoloji ve Proses Seçeneklerine İlişkin Örnekler

Çevresel Ortam	Temizleme Hedefi	Temizleme Hedeflerine Uygun Genel Temizleme Faaliyetleri	Genel Temizleme Faaliyetlerine Uygun Temizleme Teknoloji Tipleri	Proses Seçenekleri
YERALTI SUYU	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirlenici içeren yeraltı suyunun içilmesinin önlenmesi Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirlenici içeren yeraltı suyunun içilmesinin önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Alternatif su kaynaklarının bulunması İzleme</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Faaliyetleri</u></b></p> <p>İzolasyon</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması/kurumsal seçenekler:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrenmesi Sahadaki faaliyetlerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Teknolojileri</u></b></p> <p>Yüzey kaplama</p> <p>Dikey bariyerler Yatay bariyerler</p>	<p>Kille yüzey kaplama, sentetik membran, çok katmanlı siluri duvar, metal plaka duvar Geçirimsiz astar tabaka, geçirimsiz dolgu maddesi injeksiyonu</p> <p>Kuyular, yeraltı suyunun ya da sızıntı suyunun toplanması Buhar ekstraksiyonu, aktif serbest faz geri kazanımı</p> <p>Koagülasyon/Flokülasyon, yağ-su ayrıştırması, havalı sıyırma, adsorpsiyon Nötralizasyon, çöktürme, iyon değişimi, yükseltgenme / indirgenme reaksiyonları Yüzeyaltında biyoremediasyon</p>
	<p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Akiferdeki su kalitesinin ve kirlenici konsantrasyon düzeylerinin çevresel kalite sınır değerlerine uygun hale gelecek şekilde iyileştirilmesi</p>	<p><b><u>Toplama / Arıtım Faaliyetleri</u></b></p> <p>Toplama / Arıtım / Deşarj / Yeraltı suyunun yerinde arıtımı Mesken bazlı arıtım üniteleri</p>	<p><b><u>Ekstraksiyona dayalı teknolojiler</u></b></p> <p>Yeraltı suyunun toplanması / pompalanması Aktif Destekli giderim</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım</p> <p>Yerinde arıtım</p> <p><b><u>Bertaraf Teknolojileri</u></b></p> <p>Belediye atıksu arıtma tesislerine deşarj Arıtım sonrası yüzey suyuna deşarj</p>	

<b>TOPRAK</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren toprağın insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren toprağın insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren topraktan oluşan kaçak tozların ve uçucu gazların insanlar tarafından solunmasının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması İzleme</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Faaliyetleri</u></b></p> <p>Yerinde izolasyon</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması –Kurumsal seçenekler:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Teknolojileri</u></b></p> <p>Yüzey kaplama</p> <p>Dikey bariyerler Yatay bariyerler</p> <p>Yüzey kontrolleri</p> <p>Sediman kontrol bariyerleri Toz bariyerleri</p>	<p>Kille yüzey kaplama, sentetik membran, çok katmanlı siluri duvar, metal plaka duvar Geçirimsiz astar tabaka, geçirimsiz dolgu maddesi injeksiyonu Yönlendirme / toplama, toprak tesviyesi, toprağın stabilizasyonu Geçirimsiz siluri perde Sahada bitki örtüsü oluşturulması, yüzey kaplama</p>
	<p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Topraktaki kirleticilerin yıkanma yoluyla yeraltı suyuna ulaşmasının önlenmesi</p> <p>Topraktaki kirleticilerin yüzey akış yoluyla yüzey sularına ulaşmasının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hafriyat / Arıtım/Bertaraf Faaliyetleri</u></b></p> <p>Hafriyat, arıtım ve bertaraf Yerinde arıtım Bertaraf amaçlı ekskavasyon</p>	<p><b><u>Giderim Teknolojileri</u></b></p> <p>Hafriyat</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Solidifikasyon/stabilizasyon</p> <p>Susuzlaştırma</p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım Biyolojik arıtım</p> <p>Yerinde arıtım Isıl arıtım</p>	<p>Toprak hafriyatı</p> <p>Pozzolan ve adsorplayıcı maddeler kalıplama, susuzlaştırma, kurutma yatakları Su / solvent ile yıkama ve yıkama sıvısının arıtımı Kireçle nötralizasyon Kültür ortamında yetiştirilmiş mikroorganizmalar Yüzeyde biyoremediasyon Yakma, piroliz</p>



<b>YÜZEY SUYU</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren yüzey suyunun içilmesinin önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren yüzey suyunun içilmesinin önlenmesi</p> <p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Yüzey suyu kalitesinin ve kirletici konsantrasyon düzeylerinin çevresel kalite sınır değerlerine uygun hale gelecek şekilde iyileştirilmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması / İzleme</p> <p><b><u>Toplama / Arıtım Faaliyetleri</u></b></p> <p>Yüzeysel akışın önlenmesi / arıtımı / deşarjı</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması – Kurumsal Seçenekler:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi</p> <p>Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Toplama Teknolojileri:</u></b></p> <p>Yüzey kontrolleri</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım</p> <p>Biyolojik arıtım (organikler)</p> <p>Yerinde arıtım</p> <p><b><u>Bertaraf Teknolojileri</u></b></p> <p>Belediye atıksu arıtma tesislerine deşarj</p>	<p>Tesfiye, kaptaj ve toplama</p> <p>Koagülasyon/flokülasyon, yağ-su ayrıştırması, havalı sıyırma, adsorpsiyon</p> <p>Çöktürme, iyon değişimi, nötralizasyon, biyolojik arıtım</p> <p>Aerobik veya anaerobik spreylili sulama</p> <p>Yerinde çöktürme, yerinde biyoremediasyon</p>
<b>HAVA</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren havanın solunmasının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması ve izleme</p> <p><b><u>Toplama Faaliyetleri</u></b></p> <p>Gazın toplanması</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması – Kurumsal seçenekler:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi</p> <p>Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Giderim/Arıtım Teknolojileri:</u></b></p> <p>Gaz toplama sistemleri</p>	<p>Pasif havalandırma, aktif gaz toplama sistemleri</p>

<b>KATI ATIKLAR</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren atıkların insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren atıkların insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren havanın solunmasının önlenmesi</p> <p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeydeki kanserojen kirleticilerin yeraltı suyuna taşınımının önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeydeki kirleticilerin yeraltı suyuna taşınımının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması İzleme</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Faaliyetleri</u></b></p> <p>Yerinde izolasyon</p> <p><b><u>Hafriyat / Arıtım Faaliyetleri</u></b></p> <p>Bertaraf / Giderim Bertaraf / Arıtım / Giderim</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması – Kurumsal seçenekler:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Teknolojileri</u></b></p> <p>Yüzey kaplama</p> <p>Dikey bariyerler Yatay bariyerler</p> <p><b><u>Giderim Teknolojileri</u></b></p> <p>Hafriyat Varillerin ortamdan kaldırılması</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım Biyolojik arıtım</p> <p>Termal arıtım Katıların işleme tabi tutulması</p>	<p>Kille yüzey kaplama, sentetik membran, çok katmanlı siluri duvar, metal plaka duvar Geçirimsiz astar tabaka, geçirimsiz dolgu maddesi İnjesiyonu Toz kontrolü</p> <p>Katıların ekskavasyonu Varil ve içeriğinin ortamdan kaldırılması</p> <p>Su / solvent ile yıkama ve yıkama sıvısının arıtımı Nötralizasyon Kültür ortamında yetiştirilmiş mikroorganizmalar Yakma, piroliz Ezme ve ufalama, elekten geçirerek sınıflama</p>

<b>SIVI ATIKLAR</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren atıkların insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren atıkların insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren havanın solunmasının önlenmesi</p> <p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeydeki kanserojen kirleticilerin yeraltı suyuna taşınımının önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeydeki kirleticilerin yeraltı suyuna taşınımının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması</p> <p>İzleme</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Faaliyetleri</u></b></p> <p>Yerinde izolasyon</p> <p><b><u>Hafriyat / Arıtım Faaliyetleri</u></b></p> <p>Bertaraf</p> <p>Arıtım / Giderim</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması - Kurumsal seçenekler: :</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi</p> <p>Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Teknolojileri</u></b></p> <p>Dikey bariyerler</p> <p>Yatay bariyerler</p> <p><b><u>Giderim Teknolojileri</u></b></p> <p>Sıvının ortamdandan kaldırılması</p> <p>Varilin ortamdandan kaldırılması</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım</p> <p>Biyolojik arıtım</p> <p>Termal arıtım</p> <p><b><u>Bertaraf Teknolojileri</u></b></p> <p>Ürünün geri kullanımı</p> <p>Belediye atıksu arıtma tesislerine deşarj</p>	<p>Siluri duvar</p> <p>Geçirimsiz astar tabaka</p> <p>Sıvı topluca ortamdandan kaldırılması</p> <p>Varil ve içeriğinin ortamdandan kaldırılması</p> <p>Koagülasyon/flokülasyon, adsorpsiyon, buharlaştırma, damıtma</p> <p>Nötralizasyon, yükseltgenme, indirgenme, fotoliz</p> <p>Aerobik veya anaerobik biyolojik arıtım, biyoteknolojiler</p> <p>Yakma, piroliz, deşarj</p>

<b>ÇAMUR</b>	<p><b><u>İnsan Sağlığı</u></b></p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren çamurun insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeyde kirletici içeren çamurun insanlar tarafından yutulmasının ve deri temasıyla emiliminin önlenmesi</p> <p>Kanser riski oluşturacak düzeyde kanserojen kirletici içeren havanın solunmasının önlenmesi</p> <p><b><u>Çevre Koruma</u></b></p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeydeki kirleticilerin yüzey suyuna taşınımının önlenmesi</p> <p>Sağlık riski oluşturacak düzeydeki kirleticilerin yeraltı suyuna taşınımının önlenmesi</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması / Kurumsal önlemler</u></b></p> <p>Hiçbir şey yapılmaması</p> <p>Sahaya erişimin kısıtlanması</p> <p>İzleme</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Faaliyetleri</u></b></p> <p>Yerinde izolasyon</p> <p><b><u>Hafriyat / Arıtım Faaliyetleri</u></b></p> <p>Arıtım/Bertaraf</p>	<p><b><u>Hiçbir şey yapılmaması - opsiyonlar:</u></b></p> <p>Kirlenmiş alanın tel örgü ile çevrelenmesi</p> <p>Sahadaki aktivitelerin kısıtlanması</p> <p><b><u>Yerinde İzolasyon Teknolojileri</u></b></p> <p>Dikey bariyerler</p> <p>Yatay bariyerler</p> <p><b><u>Giderim Teknolojileri</u></b></p> <p>Çamurun topluca ortamdaki kaldırılması</p> <p>Varillerin ortamdaki kaldırılması</p> <p><b><u>Arıtım Teknolojileri</u></b></p> <p>Solidifikasyon/fiksasyon</p> <p>Fiziksel arıtım</p> <p>Kimyasal arıtım</p> <p>Biyolojik arıtım</p> <p>Termal arıtım</p> <p>Susuzlaştırma</p> <p><b><u>Bertaraf Teknolojileri</u></b></p> <p>Ürünün geri kullanımı</p> <p>Düzenli depolama</p>	<p>Siluri duvar, metal plaka duvar</p> <p>Geçirimsiz astar tabaka</p> <p>Varillerin ortamdaki kaldırılması</p> <p>Sorpsiyon, pozzolan maddeler, fiksasyon</p> <p>Nötralizasyon, yükseltgenme, elektrokimyasal indirgenme</p> <p>Yükseltgenme, indirgenme, photolysis</p> <p>Aerobik veya anaerobik biyolojik arıtım, parsel arıtımı</p> <p>Yakma, piroliz, Susuzlaştırma, kalıplama vakumlu filtreleme</p>
--------------	--	---	--	--

### 2.2.3.1. Temizleme Hedef ve Kıstaslarının Belirlenmesi

Temizleme hedef ve kıstasları kirlenmiş ortamın çeşidine, alansal ve hacimsel büyüklüğüne bağlı olarak yeraltı suyu, toprak, yüzey suyu, hava, katı ve sıvı atıklar ve çamur için insan sağlığı ve çevre koruma amaçlı olarak ayrı ayrı belirlenmelidir. Bu şekilde belirlenen temizleme hedef ve kıstaslarına uygun olan genel temizleme faaliyetleri ile uygun temizleme teknolojisi ve proses seçeneği belirlenir. Çizelge 2.8’de değişik çevresel ortamlar için temizleme hedefi, bu hedefe uygun genel temizleme faaliyetleri ile uygun teknoloji ve proses seçeneklerine ilişkin örnekler verilmektedir. Temizleme amaçları, temizleme seçeneklerini mümkün olduğunca geniş tutacak derecede somut, çevresel ortama özgü, çevre ve insan sağlığının korumasına yönelik olmalıdır. Dolayısıyla, temizleme hedefi şu bileşenleri içermelidir:

- Temizlenecek hedef kirlenici
- Maruziyet yolu ve alıcı(lar)
- Maruziyet yoluna bağlı hedef kirlenici saha temizleme hedefi konsantrasyonu

İnsan sağlığını ve çevreyi korumaya yönelik temizleme hedefleri sadece kirlenici konsantrasyon düzeyini değil, konsantrasyonla birlikte maruziyet yolunu da içermelidir. Çünkü, insan sağlığının ve çevrenin korunması, maruziyetin azaltılmasıyla da mümkündür. Her ne kadar temizleme hedefi konsantrasyonları sıkça kullanılan standartlara (örneğin yeraltı suyu için içme suyu standardına) göre belirlenebilirse de, nihai olarak her bir alternatif için bölüm 2.1.1’de de değinildiği gibi risk-bazlı olarak belirlenmelidir. Her bir çevresel ortamdaki hedef kirlenici saha konsantrasyonu temizleme hedefi konsantrasyonu ile kıyaslanmalıdır. Bu kıyaslamada, Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirme Teknik Rehberi Bölüm 6’da da verilen, aşağıdaki kıstaslar dikkate alınmalıdır:

- Sahadaki kanserojen kirlenici saha temizleme hedefi konsantrasyonunun oluşturduğu risk düzeyi kirlenici bazında tüm maruziyet yollarından kaynaklanan toplam risk  $10^{-6}$  yı aşmamalıdır.
- Sahadaki kanserojen olmayan kirlenici saha temizleme hedefi konsantrasyonunun oluşturduğu tehlike indeksi düzeyi 1 i aşmamalıdır.
- İnsan sağlığının yanı sıra diğer çevresel riskler de göz önünde bulundurulmalıdır.
- Risk değerlendirmesi kapsamında yapılan maruziyet analizlerinde önemli olan bütün maruziyet yolları birlikte değerlendirilmelidir.

Temizleme hedef ve kıstaslarının belirlenmesini takiben bu hedeflere ulaşmayı sağlayacak olan uygun genel temizleme faaliyetleri belirlenir. Genel temizleme faaliyetleri *hiç bir şey yapmama*, mevcut yasal çerçevede alınabilecek *kurumsal önlemler*, *izolasyon*, *hafriyat-ekstraksiyon*, *bertaraf*, *arıtım* veya burada zikredilen faaliyetlerin değişik kombinasyonlarını kapsar.

Bu faaliyetlerden ilki, *hiç bir şey yapmama*, diğer bir deyişle sahada mevcut kirliliğin temizlenmesine yönelik olarak hiç bir müdahalede veya faaliyette bulunulmaması, uygulanabilecek diğer temizleme faaliyetlerinin kıyaslanmasına baz teşkil etmek üzere kullanılmalıdır. Mevcut yasal çerçevede alınabilecek *kurumsal önlemler* sahaya giriş-çıkış kontrolü, saha kullanımının sınırlandırılması ve izleme gibi faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetler, kirleticilerin sahadaki mevcut konsantrasyon düzeyleri, yayılması veya tehlikeli etkilerinin azaltılması üzerinde herhangi bir etki yapmamaktadır.

*İzolasyon* genel temizleme faaliyeti, kirleticilerin konsantrasyon düzeylerinin veya tehlikeli özelliklerinin değiştirilmesi veya azaltılmasını sağlamaz; ancak kirleticilerin yayılmasını veya alıcı noktalara ulaşımını fiziki veya hidrolik bariyerler aracılığıyla kısıtlar veya engeller.

*Hafriyat-ekstraksiyon* faaliyetleri, arıtım veya bertaraf amacıyla kirlenmiş toprağın kazılarak veya kirlenmiş yeraltı suyunun pompalanarak yerinden alınmasını sağlar. Bu faaliyetler her ne kadar kirlilik kaynağının yaratacağı insan ve çevre sağlığına yönelik sahadaki mevcut tehlikenin ortadan kaldırılmasını sağlıyor olmakla birlikte, kirleticilerin bizzat kendilerinin ortadan kaldırılmasını mümkün kılmaz; bu sebeple de hafriyat-ekstraksiyon temizleme faaliyetleri, temizleme hedeflerine ulaşmak üzere, mutlaka bertaraf ve/veya arıtım faaliyetleri ile birlikte uygulanmalıdırlar.

*Bertaraf* faaliyetleri, izolasyonda olduğu gibi, kirleticilerin konsantrasyon düzeylerinin veya tehlikeli özelliklerinin değiştirilmesini veya azaltılmasını sağlamaksızın, kirleticilerin yayılmasını veya insanların kirliliğe maruz kalmalarını kirlenmiş materyalin saha içinde veya dışında özel olarak tasarlanmış tesis veya koşullarda muhafaza edilmesi yoluyla kısıtlar veya engeller.

Genel temizleme faaliyetlerinden *arıtım* ise diğer temizleme faaliyetlerinden farklı olarak, değişik fiziksel kimyasal veya biyolojik prosesler kullanarak kirliliğin toksisitesinin, hareketliliğinin veya miktarının-hacminin azaltılmasını sağlar. Arıtım faaliyetleri kirliliğin hem yerinde (in-situ) hem de yerinden alınarak (ex-situ) giderilmesini mümkün kılmaktadır.

Temizleme hedef ve kıstaslarında olduğu gibi, genel temizleme faaliyetleri de çevresel ortam bazında belirlenir. Temizleme yöntemi seçenek geliştirme sürecinin genel temizleme faaliyetlerinin tespitini takip eden bu aşamasında bir sonraki adım, belirlenen genel temizleme faaliyetlerinin kirlenmiş sahada uygulanacağı çevresel ortamın alansal ve hacimsel büyüklüğünün belirlenmesidir. Kirliliğin homojen olarak dağıldığı kirlenmiş sahalarda bu belirlemeler risk-bazlı saha temizleme hedefi konsantrasyonları baz alınarak kolayca yapılabilir. Kirlenmenin homojen olmadığı, kirliliğin yoğunluğunun yer yer değiştiği durumlarda ise kirletici konsantrasyonu ile temizlemeye tabi tutulacak alansal ve hacimsel büyüklük ilişkisinin belirlenmesi nispeten daha zor olabilir.

### 2.2.3.2. Temizleme Teknolojisi ve Proses Seçeneklerinin Belirlenmesi

Belirlenen temizleme hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için, saha ve kirliliğin özelliklerine ve her bir teknolojinin dokümanite edilmiş, bilinen performansına dayanarak, genel temizleme faaliyetleri altında yer alan her bir temizleme teknolojisi ve proses seçenekleri belirlenir (bkz. Bölüm 2.2.2 ve Bölüm 2.2.3.1). Örneğin, hafriyat genel temizleme faaliyeti altında, yerinden alınarak yapılan (ex-situ) arıtım teknolojileri kapsamındaki kimyasal arıtımda adsorpsiyon/desorpsiyon, yükseltgenme/indirgenme reaksiyonları veya iyon değişimi gibi proses seçenekleri kullanılarak kirlleticilerin ekstraksiyonu veya parçalanması yoluyla arıtım yapılmaktadır (bkz. Şekil 2.2). Benzer örnekler farklı temizleme faaliyetleri için farklı teknoloji ve proses seçeneklerini içerecek şekilde Çizelge 2.8'de de sunulmaktadır.

Temizleme teknolojisi ve proses seçeneklerinin belirlenmesi esnasında, temizlenecek sahaya ait mevcut saha ve kirlilik karakterizasyonu, kirlitici çeşidi ve konsantrasyon düzeyi gibi bilgilere dayanarak, teknik anlamda saha için etkin bir biçimde uygulanabilir olmayan seçenekler elenmelidir. Bu bağlamda iki önemli faktör ön plana çıkmaktadır. Birinci faktör, inorganik kirliticilerin mevcudiyetidir. İnorganik kirliticiler, insan ve çevre sağlığı bakımından zararlı olmasalar bile pek çok arıtım proseslerinin uygulanabilirliğini kısıtladığından, ön arıtım yoluyla giderilmelidirler. Örneğin, demir ve mangan gibi kirliticilerin mevcudiyeti ekstrakte edilmiş yeraltı suyunun ex-situ arıtımında (Bkz. Bölüm 2.2.2.2) veya organiklerle kirlenmiş yeraltı suyunun pasif arıtım duvarları kullanılarak yerinde arıtılması uygulamalarında proses (diğer bir deyişle arıtım) etkinliğini ciddi derecede azaltmaktadır. İkinci faktör ise, sahadaki zemin özellikleridir. Örneğin geçirimsiz tabakaya olan derinlik veya ana kayada mevcut çatlaklık derecesi gibi özellikler pek çok yerinde izolasyon ve yeraltı suyu ekstraksiyon teknolojilerinin uygulamasını kısıtlamaktadır. Temizleme teknolojisi ve proses seçeneklerinin belirlenmesinde sahaya özgü pek çok faktörün rol oynaması kaçınılmazdır; bu konuda ilave bilgi ve bazı örnekler U.S. EPA (1988) dokümanınının 4. Bölümünden temin edilebilir.

### 2.2.3.3. Temizleme Teknolojisi ve Proses Seçeneklerinin Değerlendirilmesi

Bir önceki bölümde verildiği gibi, belirlenen temizleme hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için, genel temizleme faaliyetleri altında yer alan her bir temizleme teknolojisi ve proses seçenekleri belirlenir ve nihai aşamada da belirlenen bu seçenekler etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet kriterleri baz alınarak ayrı ayrı değerlendirilir. Bu değerlendirme sonucunda teknoloji ve proses seçenekleri temizlenecek çevresel ortam bazında kombine edilerek uygun seçenekler oluşturulur. Seçenekler, sahanın insan sağlığı çevresel risklerin azaltılmasına yönelik hiçbir şey yapmaksızın olduğu gibi bırakılmasını öngören *hiç bir şey yapmama* seçeneğinden azami düzeyde temizlemenin yapıldığı ve dolayısıyla insan ve çevre sağlığının azami derecede korunduğu seçeneklere uzanan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu seçenekler daha sonra etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet bazında değerlendirilirler.

Temizleme teknoloji ve proses seçeneklerinin etkinlik değerlendirilmesinde genel anlamda;

- proses seçeneğinin temizleme hedeflerini karşılaması ve temizlenmesi gerekli çevresel ortamın alan veya hacmin tamamen temizlenebilmesi bakımından potansiyel etkinliği,
- proses seçeneğinin inşası ve uygulaması sırasında karşılaşılabilecek potansiyel insan sağlığı ve çevresel etkiler,
- proses seçeneğinin sahada mevcut kirleticiler ve koşullar bakımından ne ölçüde uygun ve güvenilir olduğu

gibi hususlara odaklanılması gerekmektedir. Her bir teknoloji seçeneği sahadaki kirliliğin toksisitesinin, hareketliliğinin veya hacim/miktarının azaltılmasında, diğer bir deyişle kirlenmiş ortamın veya kirleticinin tehlikelilik özelliklerinden bir veya birkaçında arıtım yoluyla değişiklik yaparak mevcut sağlık ve çevre risklerinin azaltılmasında göstereceği kısa ve uzun vadedeki etkinlik bazında değerlendirilmelidir. Burada kısa vade ile prosesin inşa ve işletim aşaması, uzun vade ile ise temizleme faaliyetinin tamamlanmasından sonraki dönem kastedilmektedir. Değişik çevresel ortamlar için teknoloji çeşitlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde kirletici çeşidi ve konsantrasyonu, kirlenmiş ortamın alansal ve hacimsel büyüklüğü ve geçerli olduğu hallerde sıvı veya gaz ortamın ekstraksiyon vb. ile toplanma hızı bilgilerine gerek duyulur. Bazı çevresel ortamlar için, örneğin yeraltı suyu ekstraksiyonu, yüzey suyu veya toprak gazı toplaması ve arıtımı gibi ekstraksiyon veya toplama hızı bilgisini gerektiren prosesler için, etkinlik değerlendirmesi yapılmasında bazı ilave analizler ve saha verisi toplamak gerekebilir.

Temizleme faaliyeti ve teknoloji seçeneklerinin uygulanabilirlik değerlendirmesinde hem teknik hem de idari kriterler dikkate alınmalıdır. Teknik anlamda uygulanabilirlik, proses seçeneğinin saha koşullarında inşa edilebilirliği, temizleme süreci boyunca güvenilebilir bir şekilde işletilebilirliği ve işletim etkinliğinin izlenebilirliğini ifade ederken; idari uygulanabilirlik temizleme yönteminin gerektirdiği deşarj, emisyon, atık bertarafı izinleri, çevresel etkiler vb. nedenlerle ilgili yönetmeliklerce çerçevelenen hususlar bakımından uygulanabilirliğini kapsamaktadır. Teknik ve idari anlamda uygulanabilirliği tatminkar bulunmayan seçenekler sürecin başlangıcında oluşturulan listeden çıkarılmalı ve dikkate alınmamalıdır.

Temizleme faaliyeti ve teknoloji seçeneklerinin maliyet bakımından değerlendirmesinde genel anlamda yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ön plana çıkmaktadır. Bu aşamada detaylı maliyet analizi yapmak yerine temel mühendislik kriterleri bazında yapılan değerlendirmelere göre, aynı teknoloji grubu içerisinde farklı proses seçeneklerinin diğerine kıyasla yüksek veya düşük maliyette olup olmadığına bakılır. Daha önce de bahsedildiği gibi, temizleme yöntemleri arasında maliyet bakımından yapılan kıyaslamada fark büyük oranda kullanılacak ana teknolojik seçeneklerden (örn. izolasyon, arıtım, hafriyat) kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, aynı teknoloji içerisinde kullanılacak değişik proses seçeneklerinin maliyet üzerindeki etkisi daha sınırlı olmaktadır. Seçenekler arasındaki detaylı maliyet analizi tercih edilen temizleme yönteminin seçiminde dikkate alınmaktadır; bu husus Bölüm 2.3'te ayrıca ele alınacaktır. Toplam maliyet belirlemesi öngörülen temizleme faaliyetlerinin ve proses seçeneklerinin uygulanacağı çevresel ortamın alansal ve



hacimsel büyüklüğünün tamamını kapsamalidir ve seçeneklerin kıyaslanmasını sağlayacak göreceli maliyet olarak belirlenmelidir. Bir önceki bölümde belirlenen ve yukarıda anlatıldığı şekilde değerlendirmeye tabi tutulan tüm seçenekler bu bölümde listelenir ve her birine ait ana teknik bileşenleri içeren kısa tanımları ile etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet bazında kıyaslamaları bir tablo halinde sunulur.

Seçeneklerin değerlendirilmesini takiben, her bir kirlenmiş çevresel ortam veya faaliyet ünitesi için seçilen genel temizleme faaliyetleri ve değişik teknoloji gruplarını temsil eden proses seçenekleri kombine edilerek saha için kullanılabilir teknolojik seçenekler oluşturulur. Şekil 2.8'de verilen temizleme yöntemi seçenek geliştirme sürecinin işleyişini gösteren temsili örnekteki son kolon bu uygulamayı göstermektedir. Genel temizleme faaliyetlerinin kombinasyonu farklı teknoloji çeşitleri ve sahadaki çevresel ortam bazında yapılır. Genellikle, her bir kirlenmiş ortam için birden fazla genel temizleme faaliyeti kullanılabilir. Örneğin, kirlenmiş toprak için seçenek kombinasyonu sahanın yüksek konsantrasyona sahip bazı yerlerindeki toprağın yakılması, nispeten düşük konsantrasyona sahip diğer bir kısmındaki toprağın ise yüzey kaplamasına tabi tutulması şeklinde yapılabilir. Çizelge 2.9'da genel temizleme faaliyetlerinin kirlenmiş saha için seçenek olacak şekilde kombine edilmesine dair basit bir örnek gösterilmektedir. Bu sahada, kirlenmiş ortam olarak toprak ve yeraltı suyunun mevcut olduğu varsayılırsa, kombinasyon yoluyla oluşturulan örnek seçenekler aralığı *hiç bir şey yapmama seçeneği* (seçenek 1); *sınırlı kurumsal önlemler seçeneği* (seçenek 2); *yeraltı suyu arıtımlı veya arıtımsız kaynağın (toprak kirliliğinin) yerinde izolasyonu seçeneği* (seçenek 3 ve 4); ve *yeraltı suyu toplamalı ve arıtımlı değişik düzeyde kaynak (toprak kirliliği) arıtımı* uygulayan üç ayrı seçenek (seçenek 5, 6 ve 7) gibi seçenekleri içerir. Her ne kadar Çizelge 2.9'da gösterilmemiş olsa da, daha önce Bölüm 2.2.3.3 de belirtildiği gibi, seçeneklerin her birine ait ana teknik bileşenleri içeren kısa tanımları ile etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet bazında kıyaslamaları da bu tabloya entegre edilebilir. Her seçenek tanımı ana teknik bileşenlerin yanı sıra, hafriyata veya izolasyona tabi tutulacak yerlerin konumları ile kazılacak toprağın ve/veya ekstrakte edilecek yeraltı suyunun yaklaşık hacimlerini, proses parametrelerini de içermelidir. Genel olarak seçenek sayısı, hiç bir şey yapmama, kurumsal önlemler ve yerinde izolasyon dahil on adeti geçmemelidir.

**Çizelge 2.9** Genel Temizleme Faaliyetlerinin Kirlenmiş Saha için Farklı Seçenekler Oluşturmak Üzere Kombine Edilmesine Dair Bir Örnek

Genel Temizleme Faaliyetleri			1	2	3	4	5	6	7	
			Hiçbir şey yapılmaması	Sınırlı kurumsal önlemler	Kaynak izolasyonu; YAS kontrolü yok	Kaynak izolasyonu; YAS toplaması, ön-arıtım, belediye atıksu arıtma tesisine iletim	Yerinde stabilizasyon, yüzey kaplama (toprak); YAS toplaması, ön-arıtım, belediye atıksu arıtma tesisine iletim	Biyoremediasyon, yüzey kaplama (toprak); YAS toplaması, ön-arıtım, belediye atıksu arıtma tesisine iletim	Yakma (toprak); YAS toplaması, ön-arıtım, belediye atıksu arıtma tesisine iletim	
Kirlenmiş Ortam	Teknoloji çeşidi	Alan veya hacim								
Toprak	Kontrollü giriş (tel örgü ile çevirme)			•						
	Hafriyat				•				•	
	Bertaraf	Sahada düzenli depolama			•					
		Saha dışı düzenli depolama				•				•
	Sahada arıtım	Yerinde stabilizasyon					•			
		Risk düzeyini $10^{-6}$ 'ya düşüren biyoremediasyon						•		
	Sahada yakma								•	
Yüzey kaplama	Risk düzeyi $10^{-6}$ 'yı aşan bütün toprak hacmi			•	•	•	•			
Yeraltı Suyu <sup>a</sup>	Alternatif su temini	Etkilenmiş alandaki tüm sakinler		•	•	•	•			
	Gözlem	Tüm gözlem kuyuları, yılda iki kez	•	•	•	•	•	•	•	
	İnterseptör hendekte toplama	Risk düzeyi $10^{-6}$ 'yı aşan bütün su hacmi				•	•	•	•	
	Sahada arıtım	Ön arıtım				•	•	•	•	
	Deşarj	Belediye atıksu arıtma tesisi				•	•	•	•	

<sup>a</sup> Bu kavramsal örnekte kanserojen kirlenme riski dikkate alınmıştır; ancak bazı durumlarda, örneğin yeraltı suyunun içilmesi durumunda, içme suyu standardı da dikkate alınabilir.

### 2.3. Tercih Edilen Temizleme Yönteminin Seçimi

Tanımlanan seçenekler kısa ve uzun vadede etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet bazında olmak üzere üç geniş kategoride daha ayrıntılı olarak seçenek sayısında azaltma yapmak amacıyla değerlendirilir. Ayrıntılı değerlendirme aşamasında seçenekler, insan sağlığı ve çevrenin korunması, mevcut geçerli mevzuata uygunluk, arıtım/temizleme faaliyetinin kirlenmenin toksisite, hareketlilik ve miktarında sağladığı azalma, uzun vadedeki etkinlik ve performans, kısa vadedeki etkinlik, uygulanabilirlik, maliyet, yetkili otorite tarafından kabul edilebilirlik ve toplum tarafından kabul edilebilirlik gibi kıstaslar baz alınarak tek tek değerlendirilirler. Seçeneklerin belirlenmelerinde kullanılan kriterler (etkinlik, uygulanabilirlik ve maliyet) ile ayrıntılı değerlendirmede kullanılan kriterler arasındaki ilişki Şekil 2.9'da gösterilmektedir. Alternatiflerin belirlenmesinden sonra ayrıntılı değerlendirme aşamasına geçiş sırasında geçerli ilgili mevzuat açısından, eğer varsa, dikkate alınması gerekli hususların tespiti, ilave saha ve kirlilik karakterizasyonu ile laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik test çalışmalarının başlatılmasına gerek duyulabilmektedir.

Seçenek belirlenmesini ve sayısında yapılabilecek azaltmaları takiben, tercih edilen temizleme seçeneğinin belirlenmesi üzerinde odaklanmalıdır. Bu aşamada, nihai seçeneğin ve prosesin belirlenmesi için arıtılabilirlik test çalışmalarından elde edilecek bilgiler kullanılmalıdır. Arıtılabilirlik çalışmaları kapsamında,

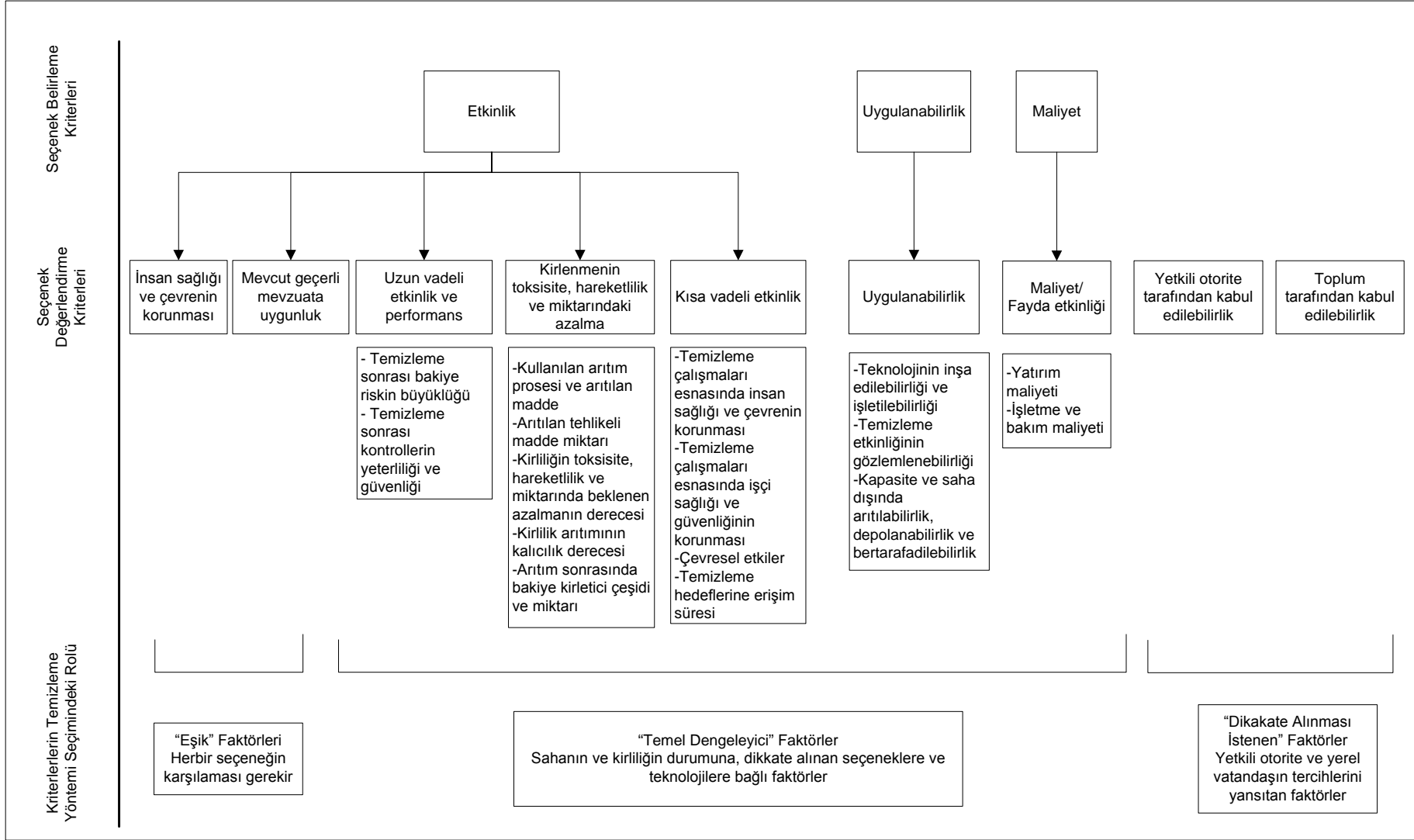
- arıtım seçeneklerinin tam olarak geliştirilmesi ve değerlendirilebilmesi için gerekli bilginin sağlanması ve seçeneğin tasarımının yapılması aşamasına katkı yapılması ile
- nihai seçimin yapılabilmesi için seçeneklerle ilgili maliyet ve performans bakımından mevcut belirsizliklerin giderilmesinin sağlanması

gerekmektedir. Arıtılabilirlik test çalışmalarının çeşit ve kapsamı seçeneklerin ayrıntılı değerlendirilmesi esnasında eldeki vakaya özgü olarak ihtiyaç duyulacak veri ihtiyacına bağlıdır. Arıtılabilirlik test çalışmalarına ihtiyaç olup olmadığının ve bu çalışmaların kapsamının belirlenmesinde rol oynayan faktörler hakkında ilave bilgi U.S. EPA (1988) dokümanının 5. Bölümünden ve U.S. EPA (1989) dokümanının 1. Bölümünden temin edilebilir.

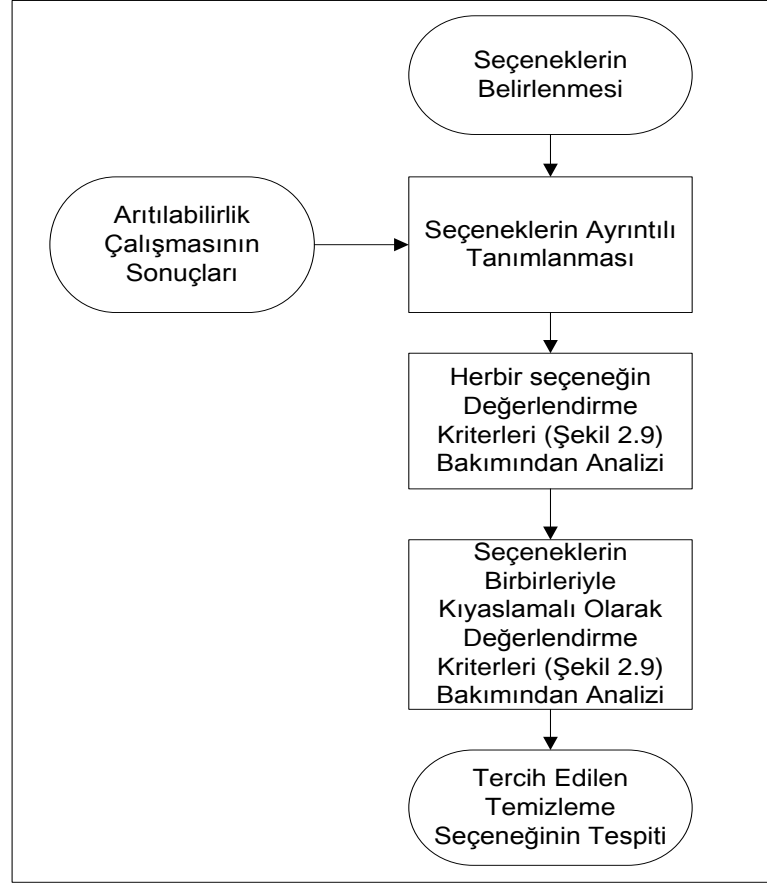
Seçeneklerin ayrıntılı değerlendirilmesinden elde edilecek sonuçlar tercih edilen temizleme yönteminin seçimine baz oluşturacaktır. Şekil 2.10, seçeneklerin detaylı analizinde yer alan adımları göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere daha önce Bölüm 2.2.3.3'de anlatıldığı şekilde belirlenen ve tanımlanan seçeneklere, arıtılabilirlik çalışmalarından gelecek bulgular kullanılarak nihai şekli verilir. Seçeneklerin nihai tanımlarında seçeneğin teknolojik bileşenleri, uygulanacağı kirlenmiş çevresel ortam miktarları, seçeneğin uygulamaya konabilmesi için gerekli süre, proses büyüklükleri ve varsa mevcut çevresel mevzuata uygunluk açısından dikkate alınması gerekli hususlar açıkça belirtilmelidir. Daha sonra, her bir seçenek kendi içinde, diğer seçeneklerden bağımsız olarak, Şekil 2.9'da verilen değerlendirme kriterleri bakımından analiz edilir ve böylece seçeneğin her bir değerlendirme kriteri bakımından ne durumda olduğu ortaya konmuş olur. Aynı analiz bir sonraki adımda, her bir seçeneğin diğerlerine göre her bir değerlendirme kriteri bakımından ortaya koyacağı performansı kıyaslamak üzere tekrar edilir.

Bu kıyaslamalı analizin amacı nihai tercihin yapılmasına yönelik olarak her bir seçeneğin bir değerine göre kuvvetli ve zayıf yönlerinin tespit edilmesidir. Seçeneklerin değerlendirme kriterleri bakımından yapılan bireysel ve kıyaslamalı analizleri sonucunda sahaya en uygun, tercih edilen temizleme seçeneği belirlenmiş olur. Seçeneklerin nihai temizleme yönteminin belirlenmesine yönelik ayrıntılı değerlendirmeye tabi tutulmasına dair ilave bilgi U.S. EPA (1988) dokümanının 6. Bölümünden temin edilebilir.

Şekil 2.10'da verilen saha için tercih edilen temizleme yönteminin belirlenmesi süreci, yapılan nihai seçenek tanımları ve analizlerinin ayrıntılarını da içerecek şekilde TKKNKSDY Ek-12'de verilen format uyarınca rapor edilir. TKKNKSDY Ek-12'den de görüleceği gibi, bu aşamada hazırlanacak Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporu saha ve kirlilik karakterizasyonu, temizleme amaçlı risk değerlendirme çalışmaları (sahada tespit edilen risklerin, temizleme hedef ve kriterlerinin, risk bazlı saha temizleme hedefi konsantrasyonlarının belirlenmesi), temizleme yöntemi belirleme (temizleme seçeneklerinin belirlenmesi ve tanımlanması, seçeneklerin ayrıntı değerlendirilmesi ve tercih edilen nihai seçeneğin belirlenmesi ve belirlenen nihai seçeneğin ayrıntılı tanımlanması) konuları hakkında bilgi verecek şekilde hazırlanmalıdır. Raporun hazırlanmasına ilişkin ilave bilgi U.S. EPA (1999) dokümanının 3. ve 6. Bölümlerinden temin edilebilir.



**Şekil 2.9.** Temizleme Seçeneklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Kriterler ile Ayrıntılı Değerlendirmede Kullanılan Kriterler Arasındaki İlişki



**Şekil 2.10.** Tercih Edilen Temizleme Yönteminin Belirlenmesi için Seçeneklerin Ayrıntılı Değerlendirilmesi

### 3. TEMİZLEME SİSTEMİ SAHA UYGULAMASI, İZLEME VE SONLANDIRMA

Bölüm 3'te Temizleme Sistemi ayrıntılı akım şemasının ikinci ve üçüncü aşamalarını oluşturan Temizleme Uygulama ve İzleme ile Temizleme Sonlandırma aşamalarına dair bilgi sunulmaktadır. Bu aşamalarda önemli yer tutan temizleme sistemi tasarımı, inşası, işletimi ve etkinlik izlemesi, temizleme faaliyet sonlandırma ve sonlandırmayı müteakip izleme konuları ile ilgili karar alma süreçleri (temizlemenin etkinliğinin ve kalıcılığının teyit edilmesine yönelik olarak yapılacak izlemede ölçülecek parametrelerin neler olduğu, hangi sıklıkta, nerelerde ve ne kadar süreyle ölçüleceği) önem arz etmektedir. Bu bölümde, bahsi geçen konulara yönelik bilgi sunulmaktadır.

#### 3.1. Temizleme Sistemi Tasarımı ve İnşası

Temizleme hedefleri ve buna uygun temizleme seçeneğinin belirlenmesi çalışmalarını içeren "Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporunun" Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu tarafından incelenip onaylanması üzerine, temizleme sisteminin ikinci aşaması olan Temizleme Uygulama ve İzleme aşamasına geçilir. Bu aşamada ilk yapılacak iş sahadan sorumlu bir Saha Temizleme Proje Yöneticisinin belirlenmesidir. Proje yöneticisi, saha için seçilen temizleme yönteminin tasarımını ve inşasını gerçekleştirmek üzere bir Proje Yönetim Planı hazırlamalıdır. Proje Yönetim Planı; temizleme projesinin, belirlenecek takvime ve bütçeye uygun olarak başarıyla tamamlanması için gerekli olan stratejiyi tanımlayan ve dokümante eden, proje yöneticisi tarafından kullanılacak bir araçtır. Proje yönetim planı genel olarak aşağıdaki hususları kapsamalıdır:

- 1) Proje objektiflerinin tanımlanması
- 2) Proje takım organizasyonu
- 3) Proje kısıtları (sahaya yönelik olarak iş güvenliği, saha koşulları, ekipman, emisyon izinleri, saha dışı bertaraf imkanları vb. gibi)
- 4) Temizleme sistemi tasarım ve inşaat uygulama iş planı (tasarıma yönelik teknik ve/veya performans spesifikasyonları, yapılacak işlerin iş paketleri halinde sınıflanması vb.)
- 5) Proje takvimi (iş paketleri ve bunların tamamlanma tarihlerinin belirlenmesi)
- 6) Proje bütçesi

Proje yönetim planının içeriği ve detayı sahadaki kirlilik düzeyi, büyüklüğü, dağılımı ve karmaşıklık derecesine bağlıdır.

Hazırlanan proje yönetim planı çerçevesinde sahada uygulanmak üzere seçilen temizleme yönteminin tasarımına ilişkin bilgi ve verilerin derlenmesi, belirlenen temizleme hedeflerini sağlayacak bir sistemin tasarımı için önemli bir adımdır. Daha önceki aşamalarda hazırlanan Saha Durum ve Risk Değerlendirme Nihai Raporu ile Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporu, tasarım için gerekli olacak verilerin derlenmesinde ana kaynaklar olarak kullanılmalıdır. Ayrıca, daha önce Bölüm 2.3'te bahsedildiği gibi, seçeneklerin ayrıntılı değerlendirilmesi aşamasında kullanılan ilave saha ve kirlilik karakterizasyonu ile laboratuvar ölçekli arıtılabilirlik test çalışmalarından elde edilen verilerden de yararlanılabilir.

Gerekli görülmesi halinde, belirlenen temizleme seçeneğine odaklanarak, ilave saha ve kirlilik karakterizasyonu çalışmaları ile sahada pilot ölçekli arıtılabilirlik test çalışmaları gerçekleştirilebilir. Böylece, tercih edilen seçeneğin tasarımının yapılmasına, maliyet ve performansının net olarak belirlenebilmesine ve kritik tasarım/işletim parametrelerinin optimizasyonuna doğrudan katkı yapacak gerekli bilgiler temin edilmelidir. Derlenen bu bilgiler temel olarak tasarım hesaplarının, proses akım şemalarının, proses bileşenlerinin büyüklüklerinin, tasarlanacak sistemin sahadaki vaziyet planının gerçekleştirilmesi ile mevcut kısıtlamalar ve varsayımların değerlendirilmesine yönelik olmalıdır. Örneğin, başlangıçta tahmin edilen kirlenmiş ortam(lar)ın hacmi yapılacak ilave saha ve kirlilik karakterizasyonundan elde edilen bilgiler kullanılarak, proses seçeneğinin büyüklüğü ve aynı teknoloji içerisinde farklı proses seçeneğinin gerekliliği gibi hususlar, arıtılabilirlik çalışmalarından elde edilen verilere dayanılarak netleştirilmelidir. Sonuç itibarıyla, temizleme sistemi tasarımı, belirlenen temizleme hedeflerine ulaşmak üzere, temizleme gerektiren ortamın hacmini, sistemin inşa edilerek sahanın temizlenmesi aşamalarında atılacak adımların ayrıntılarını veren sistem spesifikasyonlarının, mühendislik çizimlerinin (örneğin, borulama ve enstrümantasyon şemalarının) ve proses akım şemalarının hazırlanmasını içermelidir.

Değişik temizleme sistemlerinin tasarımı için gerekli bilgileri toplamak üzere yapılması gerekli saha ve kirlilik karakterizasyonu çalışmalarının kapsamı, sistem tasarımı ayrıntıları (sistem tasarım elemanları, proses akım şeması ve sistem bileşenleri) gibi hususlar hakkında U.S. EPA (2004) dokümanında ilave bilgi mevcuttur.

Proje Yönetim Planının bir parçası olan inşaat uygulama iş planı kapsamında sahadaki kirlenmenin özelliklerine uygun olarak, 4857 sayılı İş Kanunu ve bu kanunla ilgili yönetmelikler kapsamında İş Güvenliği ve İşçi Sağlığı Planı (İG&İSP) yapılmalı ve inşaat aşamasında, bu planın öngördüğü hususlar yerine getirilmelidir. İG&İSP'nin amacı, temizleme sisteminin inşası ve işletimi sırasında, sahadaki mevcut kirlenmeden kaynaklanabilecek sağlık ve güvenlik tehlikelerinin belirlenip değerlendirilmesi, kontrol altına alınması ve karşılaşılabilecek sorunlara (acil olanlar dahil) dair alınacak önlemlerin belirlenmesi



suretiyle çalışanların güvenliğini sağlamaktır. Ayrıca, temizleme sisteminin sahada inşa edilmesi sırasında sahaya özgü koşullara bağlı olarak (hafriyat, pompaj vb.) yürütülecek inşaat faaliyetlerine bağlı olarak "Toz, Gürültü ve Saha Güvenliği ve "Yüzey-akış Kontrol Planı" gibi faaliyete özgü planlar hazırlanarak uygulamaya konulmalıdır.

Proje yönetim planının bir parçası olan inşaat uygulama iş planı kapsamında dikkate alınacak bir diğer husus ise, yapılacak işlerin iş paketleri halinde sınıflanması ve bir takvim çerçevesinde hazırlanan tasarıma uygun olarak inşa edilmesidir. İnşaat esnasında İG&İSP'de öngörülen hava kalitesi, emisyon izleme, atık bertarafı ve benzeri hususlara uygun hareket edilmelidir. Bunun yanı sıra, inşaat süresince Proje Yöneticisi tarafından iş takvimine uygunluk, kullanılan malzeme kalitesi ve miktarı, tasarım spesifikasyonlarına uygunluk bakımından periyodik kalite kontrol denetimleri yapılmalı ve bu denetimler inşa edilen sistem bileşenlerinin görüntülenmesi suretiyle kayıt altına alınarak TTKNKSDY Ek-13 göre hazırlanacak Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporunda yer almalıdır. Söz konusu denetimlerin sıklığı, temizleme projesinin büyüklüğü ve karmaşıklığının derecesine, inşaatın ilerleyiş hızına bağlı olarak Proje Yöneticisi tarafından belirlenebilir.

Temizleme sistemi inşaatının tamamlanmasından sonra, inşa edilen sistemin tüm bileşenleri kapsamlı işlevsel ve işletimsel testlere tabi tutularak sistemin tasarlandığı şekilde temizleme işlevini gerçekleştirmek üzere işleme hazır olduğunun Proje Yöneticisi tarafından tespit edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada Proje Yöneticisinin ilgili Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu ile yakın temas halinde olması ve Komisyonu gelişmelerden haberdar etmesi önem arz etmektedir. Bu çerçevede, Proje Yöneticisi, testlerin tamamlanıp sistem işletiminin başlatıldığı tarihi Komisyona bildirerek, tasarım çalışmaları sırasında öngörülen temizleme süresinin başlangıcının kayıt altına alınmasını sağlaması gerekmektedir. Sistemin işlevselliğinin teyit edilmesini takiben Proje Yöneticisi uzun dönem temizleme çalışmalarını yürütmeye kullanılmak üzere bir işletim ve temizleme etkinliği izleme planı hazırlamalıdır. Bu planın kapsamı ve özellikleri bir sonraki bölümde verilmektedir.

### **3.2. Temizleme Sistemi İşletimi ve Etkinlik İzlemesi**

Sistemin inşaatının tamamlanıp işletmeye alınmasıyla birlikte, sahadan veya temizleme teknolojisinden kaynaklanan emisyonlar ile temizleme işleminin ve sistem etkinliğinin değerlendirilmesini yapmak üzere sahada periyodik Hedef Kirlenmiş Konsantrasyonu ölçümleri yapılmalıdır. Sistem işletiminin başlangıç aşamasında uygun bir süre boyunca yapılan bu periyodik izleme ölçüm sonuçları temizleme sisteminin belirlenen tasarıma uygun inşa edilip edilmediği, işlevsel olup olmadığı, mühendislik tasarım spesifikasyonlarına uygun performans gösterip göstermediği ve kirlilik azalma hızının beklenen düzeyde olup olmadığı hususlarını değerlendirmek üzere kullanılır. Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu ile Proje Yöneticisinin birlikte yapacağı bu

değerlendirmelere göre, sistemin beklentilere uygun çalıştığı tespit edilirse temizleme faaliyeti ve sistem işletimi planlandığı şekilde temizleme sonlandırmaya kadar devam ettirilir, uzun dönem periyodik ölçümler yapılarak sistem performansı izlenir. Değerlendirmeler sonucunda Komisyonun sistemin beklentilere uygun çalışmadığını tespit etmesi halinde ise sistemin işletim etkinliğinin artırılmasına yönelik işletme parametrelerinde ya da sistem tasarımında (örneğin sisteme yeni bileşenler ilave edilmesi suretiyle) iyileştirme yapılması dikkate alınmalıdır. Sistemin tasarım kriterlerine uygun performans gösterdiğinin anlaşılması ve Komisyon tarafından onaylanması üzerine temizleme faaliyetleri süresince izlemeye devam edilir. Bu dönemde elde edilen uzun dönem periyodik ölçüm sonuçları sahada mevcut kirliliğin önceden belirlenen Saha Temizleme Hedefi'ne veya temizleme risk düzeyine doğru azalma gösterip göstermediği, kirlilik azalma hızının beklenen düzeyde olup olmadığı hususlarını değerlendirmek üzere kullanılır.

Sistemin işletmeye alındığı başlangıç döneminde yapılan kısa ve daha sonraki uzun dönemli izleme amaçlı yapılan periyodik ölçümlerin hangi sıklıkta ve nereden alınan örneklerde yapılacağı hazırlanan *Sistem İşletim ve İzleme Planı*yla belirlenmelidir. Sistem işletim ve temizleme etkinliğinin izlenmesine yönelik hazırlanan bu plan, sistemin faaliyete hazır hale gelmesiyle birlikte önceden ve asgariden aşağıdaki hususları içerecek şekilde hazırlanmalıdır:

- 1) İzlemesi yapılacak kirlenmiş çevresel ortamın(lar)ın belirlenmesi ve bu ortamlardaki kirlenmenin alansal ve hacimsel dağılımının sınırlarının belirlenmesi
- 2) İzlemede kullanılacak ve ölçümü yapılacak hedef kirleticinin(lerin) ve diğer ilgili parametrelerin her bir çevresel ortam için neler olduğunun belirlenmesi
- 3) Uygulanan temizleme yöntemine göre, izlemede kullanılacak parametrelerin ölçümünün hangi sıklıkta ve nerelerde yapılacağını belirlenmesi
- 4) Örneklemede ve laboratuvar analizlerinde hangi yöntemlerin kullanılacağını belirlenmesi
- 5) Temizleme etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik olarak hedef kirleticili ölçümlerinin kütle dengesi hesaplamaya uygun nitelikte yapılması; bu çerçevede, kirleticili bazında kütle dengesi hesaplayabilmek için temizlemeye tabi tutulacak kirlenmiş ortamın hacmi, kütlesi ve o ortamdaki hedef kirleticinin(lerin) konsantrasyonu temizleme prosesinin uygulandığı (kirlenmenin mevcut olduğu) ortam ve alanda, tüm sistem bileşenlerinde yeterli sayıdaki noktada ölçülmelidir.
- 6) İzleme planının bir parçası olarak, izleme sonuçlarının güvenilirliğini sağlamaya yönelik, kalite kontrol ve kalite güvence (KK/KG) protokolünün geliştirilmesi (örneğin, KK/KG protokolü istatistiksel olarak geçerli örnek sayısı, tekerrürlü örnekleme, saha-nakliye-laboratuvar şahit örnekleri gibi unsurları içermelidir; bu konuda Kirlenmiş Saha Etüt Teknik Rehberi Bölüm 8'de ayrıntılı bilgi verilmektedir)

Temizleme faaliyetlerinin devam ettiği sistem işletim sürecinde yapılacak izleme aşağıda verilen amaçlara yönelik olmalıdır:

- Sistem tasarım spesifikasyonlarına uygunluğun belirlenmesi

- Temizleme etkinliğinin belirlenmesi
- Hafriyat toprağı ile ekstrakte edilmiş yeraltı suyunun hacim ve kütlesinin ölçülmesi
- Hafriyat toprağı ile ekstrakte edilmiş yeraltı suyunda kirletici konsantrasyonlarının ölçülmesi
- İşçi sağlığı ve iş güvenliği izlemesinin yapılması, ve
- Çevresel standartlara uyum ve çevresel kayıpların tespit edilmesi

İşletim sürecinde izleme genel olarak hafriyat sahasında, temizlenmesi gereken kirlenmiş ortamlarda, atık depolama/bertaraf sahasında, toprak yüzeyi altında (toprak, yeraltı suyu, yerinde yapılan, in-situ, temizleme sistemi giriş noktalarında) ve yerinden alınarak yapılan, ex-situ, arıtım sahasında yapılmalıdır. Çizelge 3.1’de yukarıda bahsi geçen her bir lokasyonda yapılacak sistem işletim ve temizleme etkinlik izleme çalışmalarının amaçları, tipik örnekleme noktaları ve örnekleme metodu çeşitleri özetlenmektedir.

Değişik temizleme sistemlerinin başlangıç ve uzun dönem işletimi ile temizleme etkinlik değerlendirmesi ve etkinlik izleme planlarının oluşturulması hakkında U.S. EPA (2004) dokümanından ilave bilgi edinilebilir.

**Çizelge 3.1** Temizleme Sistemi İşletimi Sırasında Yapılacak İzlemenin Amacı, Lokasyonu ve Çeşitleri

İzleme Lokasyonu	İzleme Amacı	Tipik Örnekleme Noktaları	Örnekleme Çeşidi
Hafriyat Alanı	- Kirlilik kapsamının doğrulanması - Hafriyat malzemesinin hacmi - Proje yükümlülüklerine uygunluk	- Hafriyat şevleri ve zemini - Kazılan veya nakliyesi yapılan hafriyat malzemesi - Saha yakın çevresinde hava izlemesi - Yüzey akış, sızıntı ya da çıkış suyundan alınan su örnekleri	- Münferit su ve katı madde örnekleme - Su kuyusu örnekleme (boyler ve pompalar) - Değişik hava örnekleme aletleri - Mekansal ve zamansal kompozit örnekleme - Nihai tesviye için eğim ve rakım ölçümleri
Hafriyat Malzemesini Arıtma Sahası	- Kirletici akıbetinin belirlenmesi (kütle dengesi) - Proses parametrelerini izlemek - Yönetmeliklere uygunluk	- Arıtılacak malzeme girişi (kesikli ya da sürekli) - Arıtılmış çıkış malzemesi (kesikli ya da sürekli) - Proses ara noktaları - Emisyon gazları - Diğer emisyonlar ve yan ürünler - Proje öncesi ve sonrası reaktör ve boru içleri	- Münferit örnekleme - Kompozit örnekleme - Trap örnekleme cihazları kullanarak hava örnekleme - Arıtım giriş ve çıkış madde miktarının ölçümü

Atık Depolama Sahası	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bertaraf edilen atığın miktarını doğrulamak</li> <li>- Kirlilik düzeyini doğrulamak</li> <li>- Hava emisyonlarını izlemek</li> <li>- Deşarj öncesi yeraltı suyu kalitesini ölçmek</li> <li>- Nihai tesviyeyi doğrulamak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Atık bertaraf/depolama alanı girişi</li> <li>- Saha yakın çevresinde hava kalitesi</li> <li>- Saha civarındaki yeraltı suyu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kantar ya da hacim ölçme sistemleri</li> <li>- Münferit örnekleme</li> <li>- İzleme kuyuları boyler ve pompalar</li> <li>- Değişik hava örnekleycileri</li> <li>- Eğim ve rakım ölçümleri</li> </ul>
Yeraltı	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Yerinde yapılan arıtım ya da ekstraksiyon kuyularının performansını izlemek</li> <li>- Kirlenme ve serbest faz hareketini izlemek</li> <li>- Yakın kuyularda içme suyunu izlemek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Toprak ve toprak havası</li> <li>- Yeraltı suyu (muhtemelen birden fazla akifer)</li> <li>- Saha civarındaki evlerin musluk suyu</li> <li>- Serbest faz (LNAPL ya da DNAPL)</li> <li>- Havalandırma kuyularının emisyon gazları</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Münferit örselenmiş ve örselenmemiş toprak örnekleri</li> <li>- Toprak havası örnekleri</li> <li>- İzleme kuyuları- boyler ve pompalar</li> <li>- Yeraltı suyu boşaltım noktalarından münferit su örnekleme (kaynak, yüzey suları)</li> <li>- Değişik hava örnekleycileri</li> </ul>
Ekstrakte Edilen Yeraltı Suyu Arıtım Sahası	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kirlenme akışının belirlenmesi (kütle dengesi)</li> <li>- Proses parametrelerini izlemek</li> <li>- Yönetmeliklere uygunluk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arıtılacak giriş yeraltı suyu</li> <li>- Arıtılmış yeraltı suyu</li> <li>- Proses ara noktaları</li> <li>- Emisyon gazları</li> <li>- Diğer emisyonlar ve yan ürünler</li> <li>- Proje öncesi ve sonrası reaktör ve boru içleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Münferit örnekleme</li> <li>- Kompozit örnekleme</li> <li>- Trap örnekleyciler kullanarak hava örnekleme</li> <li>- Giriş ve arıtılmış çıkış yeraltı suyu miktarlarının ölçümü</li> </ul>

### 3.3. Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılması

Temizleme sistemi işletim ve etkinlik izleme faaliyetleri sonucunda elde edilen tüm bilgiler ve periyodik ölçüm sonuçları Proje Yöneticisi tarafından değerlendirilerek, sahadaki hedef kirletici konsantrasyonunun Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirmesi Teknik Rehberi'nde (bkz. Bölüm 6) belirlenen Saha Temizleme Hedefi'ne kadar düşürülüp düşürülmediği belirlenir. Uzun dönem izleme sonuçlarının temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını teyit etmesi halinde temizleme işlemi sonlandırılabilir. Temizleme faaliyetini sonlandırmayı teklif etmek amacıyla, kapsam ve formatı TKKNKSDY EK-13'te verilen Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporu'nda bir alt bölüm olarak yer alan, bir *Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanı* hazırlanmalıdır. Yaklaşık 12-15 sayfadan oluşması beklenen bu doküman temel olarak yapılan temizleme faaliyetlerini, bu faaliyetlerin nasıl yürütüldüğünü ve elde edilen sonuçları özetlemeli, temizleme sonlandırma aşamasına erişildiğini açıkça gösteren teknik gerekçeleri ortaya koymalı ve nihayet, temizleme sistemi işletim ve etkinlik izleme faaliyetleri sonucunda elde edilen periyodik ölçüm sonuçlarının temizleme hedefi ile kıyaslanmasını ve temizleme işleminin hedefe ulaştığının dokümantasyonu, (diğer bir deyişle, temizleme hedeflerinin sağlandığından emin olmak üzere uygulanan örnekleme stratejisi ve ilgili istatistik veriler ile izleme sürecinde ölçülen kirletici konsantrasyonları hakkında grafik ve/veya tablo halinde detaylı bilgi) içermelidir.

Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonu'nun onayına sunulmak üzere hazırlanacak Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanı'nın formatı şu şekilde olmalıdır:

1. *Giriş*: Temizleme faaliyetinin başarılı bir şekilde icra edildiğine ve dolayısıyla temizleme faaliyetinin sonlandırılmasının talep edilmesine dair genel ifadeler yer almalıdır.
2. *Saha Koşullarının Özeti*: Önceden yapılan saha ve kirlilik karakterizasyonu çalışmaları (TKKNKSDY Ek-12 Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporu Bölüm 2.1), seçilen temizleme yöntemi (TKKNKSDY Ek-12 Temizleme Faaliyet Planlama ve Değerlendirme Raporu Bölüm 2.3) tasarım kriterleri ve icra edilen temizleme faaliyetleri (TKKNKSDY Ek-13 Temizleme Sistemi Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporu Bölüm 2) hakkında çok kısa özet bilgi yer almalıdır.
3. *Temizleme Sistemi İşletim ve İzleme Sonuçları*: İnşa edilen temizleme sisteminin belirlenen tasarım spesifikasyonlarına uygun performans gösterdiğine ve işletim süresi sonunda gelinen aşamada sistem işletim ve etkinlik izleme faaliyetleri sonucunda elde edilen periyodik ölçüm sonuçlarının temizleme hedefi ile kıyaslanması sonucunda belirlenen temizleme hedeflerine ulaşıldığını kanıtlayamaya yeterli düzeyde veri ve temizleme hedeflerinin sağlandığından emin olmak üzere uygulanan örnekleme stratejisi ve ilgili istatistik veriler ile izleme sürecinde ölçülen kirletici konsantrasyonları hakkında grafik ve/veya tablo halinde detaylı bilgi sunulmalıdır.
4. *Değerlendirmeler*: Uygulanan temizleme faaliyeti sonucu kaynak dahil kirlilik bakımından dikkate alınması gerekli tüm alanların temizlendiğine dair değerlendirmeler ile bu alanlarda ulaşılan temizleme düzeyinin tüm maruziyet yolları için çevre ve insan sağlığı açısından

koruyucu olma yeterliliğine dair izleme ölçüm verilerine dayalı yorumlar yapılmalıdır.

5. *Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılmasını Müteakip İzleme Planı Önerisi:* Temizleme faaliyetinin sonlandırılması halinde devam edilecek izleme faaliyetleri için örnekleme süresi, sıklığı, çeşidi ve lokasyonunun belirlenmesini içeren bir izleme planı önerisi sunulmalıdır.

Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanı'nın Komisyon tarafından onaylanması halinde, TKKNKSDY Ek-13 e göre hazırlanacak Temizleme Faaliyeti, Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporu hazırlanması başlatılır. Dokümanın Komisyon tarafından onaylanmaması halinde ise, temizleme sisteminin işletilmesi ve izlenmesinin, mevcut durum göz önüne alınarak belirlenen bir süre kadar daha devam ettirilmesi istenebilir. Komisyonun tüm temizleme süreci boyunca edindiği izlenimler sonucunda, temizleme sisteminin seçiminde ve işletiminde teknik anlamda herhangi bir uygunsuzluk veya ihmal olmamasına ve sistemin işletiminin makul bir süre daha uzatılmış olmasına rağmen, sahanın doğal koşulları gereği (örneğin aşırı derecedeki toprak veya akifer heterojenliği nedeniyle), kirlenmiş sahanın tümüne oranla ancak sınırlı ve dar bir bölümünde hala Saha Temizleme Hedefi'ne erişilememiş olması halinde, alınabilecek gerekli önlemlerin alınması (örneğin, sahanın temizleme sonrası durumu için Kirlenmiş Saha Risk Değerlendirmesi Teknik Rehberi Bölüm 6'da verilen esaslar çerçevesinde *bakiye risk değerlendirmesi* yapılarak ortaya çıkan duruma göre arazi kullanım kısıtlaması getirilmesi) koşuluyla, Komisyon Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporu'nun hazırlanmasına izin verebilir.

Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanının temel hedefi; kirlenmiş sahadaki kirlilik düzeyinin, kaynak dahil tüm kirlenmiş alanda, Saha Temizleme Hedefi'ne ulaştığının, uzun dönem periyodik izleme sonuçlarına ve saha verilerine dayanarak kanıtlanmasıdır. Bu amaca yönelik olarak, eğer temizleme faaliyetine tabi tutulmuş çevresel ortamda (toprakta, yeraltı suyunda) ölçülen hedef kirlenici konsantrasyonu (hedef kirlenici saha konsantrasyonu) saha için belirlenen temizleme standardından (diğer bir deyişle Saha Temizleme Hedefi'ne veya ölçülen hedef kirlenici saha konsantrasyonu değerine karşılık gelen risk düzeyi belirlenen temizleme düzeyi risk değerinden; kirlenici bazında tüm maruziyet yollarından kaynaklanan toplam risk  $10^{-6}$  dan) *istatistiksel anlamda düşük* ise temizlenen sahadaki çevre ve insan sağlığı açısından sorun kalmadığı (sahanın temizlenmiş olduğu) ve dolayısıyla saha için temizleme faaliyetinin sonlandırılmasının uygun olduğu kararı verilebilir. Burada *istatistiksel anlamda düşük olma* ifadesi ile amaca uygun örnekleme yöntemi kullanılarak yeterli sayıda örnek alınması ve bu sayede alınan örneklerin kullanılan metodoloji ve sayı itibarıyla sahayı temsil kabiliyetine sahip olması kastedilmektedir. Temizleme faaliyetine tabi tutulmuş çevresel ortamda (toprakta, yeraltı suyunda) ölçülen hedef kirlenici saha konsantrasyonunun belirlenebilmesi için Kirlenmiş Saha Etüt Teknik Rehberi Bölüm 9 da belirtildiği şekilde uygun örnekleme metodu kullanılarak yeterli sayıda numune alınması gerekmektedir. Uygun yöntemler kullanılarak yeterli sayıda alınan numunelerde ölçülen konsantrasyon değerleri arasındaki en yüksek ölçüm değeri saha için belirlenen temizleme standardı ile kıyaslanmalıdır. Belirlenen temizleme standardına ulaşıldığının kanıtlanmasında kullanılacak veri analizi ve istatistiksel metotlar konusunda ilave bilgi edinmek için U.S. EPA (1989) dokümanından yararlanılabilir.

Temizleme faaliyetinin sonlandırılması için temizleme sistemi işletim ve etkinlik izleme faaliyetleri aşağıdaki amaçlara yönelik olarak yapılmalıdır:

- Temizleme hedeflerine ulaşıldığının belirlenmesi
- Temizleme sonrası bakiye sağlık riskinin belirlenmesi
- Temizleme faaliyeti sonucu kirleticilere olan çevresel maruziyetlerin derecesindeki azalmaların ölçülmesi
- Temizleme faaliyeti sonucunda çevresel standartlara uyumun belirlenmesi
- Depolama ve bertaraf sahalarının izlenmesi
- Temizleme proje faaliyetleri sonucu oluşan hasarın ölçümü ve
- Bilgi ve veri eksikliğinin giderimi

Temizleme faaliyetinin sonlandırılmasına yönelik izleme, sistem işletim sürecinde olduğu gibi, genel olarak hafriyat sahasında, temizlenmesi gereken kirlenmiş ortamlarda, atık depolama/bertaraf sahasında, toprak yüzeyi altında (toprak, yeraltı suyu, yerinde yapılan, in-situ, temizleme sistemi giriş noktalarında) ve yerinden alınarak yapılan, ex-situ, arıtım sahasında yürütülmelidir.

### **3.3.1. Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılmasını Müteakip İzleme:**

Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanını da içeren Temizleme Faaliyeti Uygulama, İzleme ve Sonlandırma Raporunun Komisyon tarafından onaylanması ve dolayısıyla temizleme faaliyetinin sonlandırılmasına onay verilmesi halinde Temizleme Faaliyet Sonlandırma Dokümanı'nda önerilen ve onaylanan izleme planı çerçevesinde Temizleme Faaliyeti Sonlandırmayı Müteakip İzleme faaliyeti başlatılır. Bu çerçevede temizlemenin kalıcılığının değerlendirilmesine ve teyit edilmesine yönelik olarak sahada periyodik Hedef Kirlenici Konsantrasyonu ölçümleri yapılmalıdır. İzleme amaçlı bu periyodik ölçümlerin hangi sıklıkta ve nereden alınan örneklerde yapılacağı hazırlanan *Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılmasını Müteakip İzleme Planı*yla belirlenmelidir. Söz konusu bu plan temizleme faaliyetinin sonlandırılmasıyla birlikte önceden ve asgariyenin aşağıdaki hususları içerecek şekilde hazırlanmalıdır:

1. İzlemesi yapılacak kirlenmiş çevresel ortamın(lar)ın belirlenmesi ve bu ortamlardaki kirlenmenin alansal ve hacimsel dağılımının sınırlarının belirlenmesi,
2. İzlemede kullanılacak ve ölçümü yapılacak hedef kirlenici(n)in ve diğer ilgili parametrelerin her bir çevresel ortam için neler olduğunun belirlenmesi,
3. Uygulanan temizleme yöntemine göre izlemede kullanılacak parametrelerin ölçümünün hangi sıklıkta ve nerelerde yapılacağına belirlenmesi
4. Örneklemede ve laboratuvar analizlerinde hangi yöntemlerin kullanılacağına belirlenmesi
5. İzleme planının bir parçası olarak, izleme sonuçlarının güvenilirliğini sağlamaya yönelik, kalite kontrol ve kalite güvence (KK/KG) protokolünün geliştirilmesi (örneğin, KK/KG protokolü istatistiksel olarak geçerli örnek sayısı, tekerrürlü örnekleme, saha-nakliye-laboratuvar şahit örnekleri gibi unsurları içermelidir; bu konuda Kirlenmiş Saha Etüt Teknik

Rehberi Bölüm 8 de ayrıntılı bilgi veilmektedir)

Temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını müteakip izlemenin hedefi uygulanan temizleme faaliyeti sonucunda erişilen temizleme düzeyinin çevre ve insan sağlığı bakımından yeterli ve uzun dönemde kalıcı olduğunun ortaya konmasıdır. Daha somut bir ifadeyle, temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını müteakip izlemenin amacı, icra edilen temizleme faaliyetinin, her türlü mühendislik ve kurumsal kontrol uygulamaları dahil, işlevsel ve operasyonel olduğunun doğrulanması ve bu uygulama sonucunda erişilen temizleme düzeyinin önceden belirlenen temizleme standartlarına uygunluğunun uzun dönemde kalıcı olup olmadığının tespit edilmesidir.

Temizlenmiş saha sahibi, süresi Kirlenmiş Saha Değerlendirme ve İzleme Komisyonunca belirlenen izleme süresi boyunca, İzleme Planında belirlenen çerçevede ölçümler yaparak izleme sonuçlarını bir rapor halinde İl Çevre ve Şehircilik Müdürlüğüne sunar. İzleme süresi sonunda hazırlanan bu rapor Komisyonca değerlendirilerek onaylanmasıyla sahada yürütülen temizleme çalışmaları tamamen bitirilmiş olur.

Temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını takiben yapılan uzun dönem izleme, sistem işletim ve temizleme faaliyetinin sonlandırılmasına yönelik izleme süreçlerinde olduğu gibi, genel olarak hafriyat sahasında, temizlenmesi gereken kirlenmiş ortamlarda, atık depolama/bertaraf sahasında, toprak yüzeyi altında (toprak, yeraltı suyu, yerinde yapılan, in-situ, temizleme sistemi giriş noktalarında) ve yerinden alınarak yapılan, ex-situ, arıtım sahasında yürütülmelidir. Çizelge 3.2 de yukarıda bahsi geçen her bir lokasyonda yapılacak temizleme faaliyetinin sonlandırılmasını takiben yapılan uzun dönem izleme çalışmalarının amaçları, tipik örnekleme noktaları ve örnekleme metodu çeşitleri özetlenmektedir.



**Çizelge 3.2:** Temizleme Faaliyetinin Sonlandırılmasını Takiben Yapılan Uzun Dönem İzlemenin Amacı, Lokasyonu ve Çeşitleri

<b>İzleme Lokasyonu</b>	<b>İzleme Amacı</b>	<b>Tipik Örneklem Noktaları</b>	<b>Örneklem Çeşidi</b>
Hafriyat Alanı	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nihai arazi tesviyesi ve bitkilendirme çalışmalarının doğrulanması</li><li>- Biyolojik indikatörlerin izlenmesi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Genellikle sadece görsel inceleme</li><li>- Muhtemel biyota örneklemesi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nihai tesviye için eğim ve rakım ölçümleri</li><li>- Uzun dönem biyolojik izleme ve örneklemesi</li></ul>
Hafriyat malzemesi arıtma sahası	<ul style="list-style-type: none"><li>- Arıtma faaliyetinin sonlandırılmasını ve temizleme işleminin kalıcılığını doğrulama</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Görsel inceleme</li><li>- Toprak örneklemeleri (arıtma sahasındaki toprak)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Genellikle tek seferlik münferit örneklemesi</li></ul>
Atık Depolama Sahası	<ul style="list-style-type: none"><li>- Varsa deponi alanı sızıntısını belirleme</li><li>- Sızıntı toplama/arıtma tesisini izleme</li><li>- Nihai arazi tesviyesi ve bitkilendirmenin gözlemlenmesi</li><li>- Uçucu gaz emisyonlarını kontrol etme</li><li>- Üst örtü ve dolgu işlerinin kalıcılığını izleme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Sahanın yeraltı suyu akış aşağı ve akış yukarı yönündeki bölgeler</li><li>- Sızıntı suyu toplama tankları ve toplama hatları</li><li>- Deponi alanı havalandırma bacaları</li><li>- Deponi alanı üst örtüsü</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Yeraltı suyu gözlem kuyuları</li><li>- Toplanan ya da arıtılan sızıntı suyundan münferit örneklemesi</li><li>- Değişik hava örneklemesi aygıtları</li><li>- Üst-örtü ve dolgunun örneklemesi</li></ul>
Yeraltı	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bakiye kirlenmenin taşınımı ve kirlenme seviyesindeki eğilimleri izleme</li><li>- Yakındaki kuyularda içme suyunu izleme</li><li>- Havalandırma kuyularındaki emisyon gazlarını izleme</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kirlenmiş bölgenin içinden ve yeraltı suyu akış yukarı akış aşağı yönündeki bölgeler</li><li>- Saha civarındaki evlerin musluk suyu</li><li>- Havalandırma kuyuları</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Münferit örselenmiş ve örselenmemiş toprak örnekleri</li><li>- Toprak havası örnekleri</li><li>- İzleme kuyuları- boyler ve pompalar</li><li>- Yeraltı suyu boşaltım noktalarından münferit su örneklemesi (kaynak, yüzey suları)</li><li>- Değişik hava örnekleyicileri</li></ul>
Ekstrakte Edilen Yeraltı Suyu Arıtım Sahası	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kirlenme akışının belirlenmesi (kütle dengesi)</li><li>- Proses parametrelerini izlemek</li><li>- Yönetmeliklere uygunluk</li><li>- Operasyonu durdurmak için pompalanan yeraltı suyundaki kirlenme seviyesindeki düşüşü izlemek</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Arıtılacak giriş yeraltı suyu</li><li>- Arıtılmış yeraltı suyu</li><li>- Proses ara noktaları</li><li>- Emisyon gazları</li><li>- Diğer emisyonlar ve yan ürünler</li><li>- Proje öncesi ve sonrası reaktör ve boru içleri</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Münferit örneklemeler</li><li>- Kompozit örneklemeler</li><li>- Trap örnekleyiciler kullanarak hava örneklemesi</li><li>- Giriş ve arıtılmış çıkış yeraltı suyu miktarlarının ölçümü</li></ul>

#### 4. ÖNEMLİ REHBER DOKÜMANLAR

Teknik Rehber kirlenmiş saha temizleme sürecinin Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik (TKKNKSDY) kapsamında işleyişine dair, karar alma mekanizmaları ve raporlama gereklilikleri dahil, ayrıntılı bilgi sunulmakla birlikte, kapsamı dahilindeki bazı konuların tüm ayrıntıları içerecek şekilde ele alması mümkün değildir. Teknik Rehber kapsamında olan pek çok konu hakkında oldukça detaylı ve tamamen konuya hasredilmiş çeşitli kaynak dokümanlar bulunmaktadır. Bu nedenle, ihtiyaç duyulması halinde kullanılmak üzere, bazı konular hakkında Teknik Rehberin kapsadığından daha fazla detay ve ilave bilgi elde edilebilmesini sağlayacak temel rehber dokümanların bir listesi aşağıda sunulmaktadır.

U.S. EPA (2004) How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites, A guide for Corrective Action Plan reviewers. EPA 510-R-04-002.

U.S. EPA (1999) Guide to Preparing Superfund Proposed Plans, Records of Decision, and Other Remedy Selection Decision Documents. EPA 540-R-98-031.

U.S. EPA (1991) Risk Assessment Guidance for Superfund: Volume I-Human Health Evaluation Manual, Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals. EPA/540/R-92/003.

U.S. EPA (1989) Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards: Volume 1: Soils and Solid Media. EPA/540/G-89/004.

U.S. EPA (1988) Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under CERCLA. EPA 230/02-89-042.

Water Technology International Corp. (1997) Site Remediation Technologies: A Reference Manual.