تعیین روش بهینه پاکسازی خاک‌های آلوده در منطقه پالایشگاهی با استفاده از روش AHP و ماتریس TOPSIS

زهرا جعفری فروشانی*[۱]؛ عبدالرضا واعظی هیر[۲]؛ وارطان سیمونز[۳]؛امید برنای زنوزی[۴]؛ مرضیه خلخالی[۵]؛ رعنا محمدزاده[۶]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست‌محیطی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز
۲- استاد تمام آب‌زمین شناسی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز
۳- دانشیار زمین شناسی اقتصادی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز
٤- کارشناس ارشد آب‌زمین شناسی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز
٥- کارشناس ارشد آب‌زمین شناسی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز
٦- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست‌محیطی، گروه علوم زمین دانشگاه تبریز

r.vaezi@tabrizu.ac.ir

مقدمه

عوامل بسیاری از جمله مداخله انسان در محیط زیست، باعث تغییر در ترکیب و بافت خاک و به اصطلاح باعث آلودگی خاک شده است. آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی طی استخراج، فرآوری، انتقال و فروش فرآورده‌های نفتی یا دفع عمدی پسماندهای نفتی صورت می‌گیرد. در هر کدام از مراحل مذکور، مقدار زیادی آلاینده وارد محیط‌زیست و به خصوص خاک شده و با تجمع زیستی در زنجیره‌های غذایی تهدید بزرگی برای سلامت موجودات زنده‌ی اکوسیستم-های خشکی و حتی آبی محسوب می‌شوند. لذا امروزه پاکسازی خاک به دغدغه مهمی برای صاحبان صنایع، دولت‌ها و حامیان محیط‌زیست تبدیل شده است و روش‌های متعدد پاکسازی برای حذف آلودگی خاک به کارگرفته شده است، اما برخی از این روش‌ها دارای اثرات جانبی نامطلوب حین و یا پس از پاکسازی هستند و دقت در انتخاب روش بهینه پاکسازی نقش مهمی در کیفیت و کمیت پاکسازی خواهد داشت. لذا باید پاکسازی سایت آلوده با توجه به شرایط ویژه سایت مثل تخلخل، نفوذپذیری و شوری خاک و نوع، شدت، حجم و غلظت آلودگی و موجودات زنده بومی یا غیر بومی موثر بر حذف یا کاهش غلظت آلودگی، باید صورت گیرد.

روش‌های پاکسازی خاک: این روش‌ها را می‌توان به روش‌های فیزیکی- شیمیایی، زیستی و حرارتی تقسیم کرد. در دسته‌بندی دیگر، این روش‌ها بر اساس مکان پاکسازی خاک به سه دسته برجا، نابرجا و در مخزن تقسیم‌بندی می-شوند. در این پژوهش به بررسی فنی و اقتصادی ۱۴ روش پاکسازی خاک پرداخته شده است.

مزایا، معایب و آلاینده‌های هدف روش‌های احتمالی مناسب پاکسازی این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مزایا، معایب و آلاینده‌های هدف برخی از روش‌های پاکسازی آلودگی خاک

روش پاکسازی	برجا/نابرجا	محاسن	معایب	آلاینده هدف
توده زیستی (Biopile)	نابرجا	• تخریب دائمی مواد نفتی • مناسب بودن هزینه • اثر منفی کم بر محیطزیست	• احتمال تشکیل مواد سمی • مدت زمان طولانی • وابستگی فعالیت میکروبی به	• مواد آلی • VOCs غیر هالوژنه • مواد نفتی

			دما، pH، شوری، ترکیب و غلظت آلاینده و هوازدگی		
استخراج بخار خاک (Soil Vapor Extraction)	برجا	• مناسب مواد آلی فرار در خاک-های نفوذپذیر • هزینه و زمان کم پاکسازی • اثر منفی کم بر محیط‌زیست	• کاهش راندمان پاکسازی با گذشت زمان • ناکارآمد در نفوذپذیری کم و رطوبت زیاد خاک • ناکارآمد برای آلاینده سنگین و غیر فرار	• سوخت‌ها • مواد آلی با وزن مولکولی پایین • VOCs	
منفذ زیستی (Bioventing)	برجا	• مناسب پاکسازی حجم زیاد آلاینده‌های فرار	• ناکارآمد در خاک با نفوذپذیری کم • احتمال نیاز به پاکسازی گاز استخراجی در مناطق شهری	• هیدروکربن نفتی • حلال غیر کلرینه • آفت‌کش ها • مواد نگهدارنده چوب	
خاک‌شویی (Soil Washing)	در رآکتور	• مناسب برای خاک‌های دارای آلودگی کم • پاکسازی آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین	• ناکارآمد در خاک دارای رس، سیلت و مواد هیومیک • راندمان پایین پاکسازی • سمیت بالا و عدم امکان استفاده خاک در کشاورزی • افزایش هزینه	• مواد آلی آب‌گریز • فلزات سنگین • مواد رادیواکتیو • سوخت‌ها • آفت‌کش‌ها • VOC و VOCs	
عریان سازی هوا (Biosparging)	برجا	• حذف مواد آلی فرار از خاک و آب زیرزمینی • هزینه مناسب • کارایی در سطح، زیر سطح ایستابی و منطقه مویینه	• ناکارآمد برای آلاینده‌های غیر فرار • ناکارآمد برای نواحی نفوذ-ناپذیر یا دارای نفوذپذیری کم	• VOCs • مواد آلی سبک • BTEXs	
جداسازی فاز (Phase Separation)	برجا	• مناسب پاکسازی آلودگی‌نفتی از آب‌زیرزمینی • مناسب برای مواد با فاز متفاوت	• اثر خورندگی بخارات استخراجی بر تجهیزات • امکان کاهش انتشار مواد	• سوخت‌ها • VOCs	
دفع حرارتی (Adsorption thermal)	نابرجا	• سرعت و کیفیت پاکسازی مطلوب • توجیه‌پذیری اقتصادی در آلودگی وسیع و غلظت بالا	• قابل استفاده در عمق کم • نیاز به حفاری • ناکارآمد برای مواد غیرآلی، اکسنده و کاهنده	• VOCs غیرهالوژنه • سوخت‌ها • SVOCs • مواد نفتی	
استخراج با حلال (Solvent Extraction)	نابرجا	• سهولت اجرا و راندمان بالا و سریع • پاکسازی روغن‌های نفتی • مصرف کم انرژی	• ناسازگار با محیط زیست • احتمال تأثیر منفی حلال از قبیل خوردگی بر تجهیزات • هزینه بالای عملیات به دلیل مصرف مقادیر زیاد حلال	• حلال‌های هالوژنه • فلزات سنگین • PCBs • VOCs	
جذب سطحی کربن (Carbon adsorption)	برجا/ برروی بسترهای آماده	• مناسب برای آلاینده‌های آلی با وزن مولکولی بالا و غلظت کم	• احتمال خطر برای محیط زیست به دلیل خاکستر زیاد • وابسته بودن جذب به نقطه جوش و وزن مولکولی	• ترکیبات آلی فرار هالوژنه • آفت‌کش‌ها • فلزات سنگین • برخی مواد آلی با وزن مولکولی بالا	
تعویض یونی (Ion Exchange)	برجا/ برروی بسترهای آماده	• سهولت نصب و بهره برداری • عدم وجود فاضلاب آلوده برای محیط زیست	• اشباع رزین از آلاینده و توقف تعویض یونی • نیازمند سرمایه بالا و کارگر عملیاتی ماهر	• SVOCs و VOCs غیر هالوژنه • برخی آلاینده‌های فلزی	

گیاه پالایی (Phytoremediation)	نابرجا	• دوست‌دار محیط زیست • امکان استفاده آسان و وسیع	• زمان طولانی پاکسازی • مناسب برای عمق کم	• فلزات • آفت‌کش‌ها و مغذی‌ها • نفت خام
اصلاح الکتریکی (Electroscintetic)	برجا	• مناسب نفوذپذیری کم خاک • عدم اثر اندازه منافذ و توزیع ذرات خاک بر سرعت جریان	• ایجاد نقاط داغ حرارتی • تغییر pH خاک و مستلزم پایش مستمر خاک • ناکارآمد در غلظت کم	• عناصر سنگین • آنیون ها و ترکیبات آلی در خاک • لجن و فاضلاب
عدم تحرک آلاینده‌ها (Immobilization of contaminants)	برجا	• سرعت به نسبت بالای پاکسازی	• ناکارآمد در آلودگی بالا • نیاز به انرژی زیاد	• آلاینده‌های غیر آلی • آلاینده‌های فلزی
کمپوست کردن (Compusting)	نابرجا برروی بستر آماده / در تانک	• مناسب برای مواد آلی زیست تخریب‌پذیر • دفع در محیط به طور ایمن	• احتمال تشکیل محصولات سمی و تولید شیرابه ها • قابلیت کمپوست ٪۱۰ زباله • نیاز به حفاری و فضای زیاد	• TNT • RDX • PAHs

مواد و روش‌ها

با توجه به اختصاصی بودن شرایط هر سایت آلوده، گام اصلی در برنامه تعیین روش بهینه پاکسازی خاک، مشخص شدن عوامل موثر بر پاکسازی آلودگی خاک است. این مرحله شامل نمونه‌برداری و تعیین مشخصات فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیکی خاک منطقه مطالعاتی بود. بدین منظور از ۲۳ نقطه سایت مورد نظر به روش مستقیم نمونه برداری شد. نمونه‌های خاک به روش دستی از سطح و عمق ۱۰ سانتیمتری خاک برداشته و آنالیزهای مربوطه به روش کروماتوگرافی گازی GC-MASS در آزمایشگاه دانشگاه زنجان انجام شد. آلودگی عمده در سایت، نفت‌خام و در برخی نقاط سایت، BTEXs بودند. نتایج آنالیزها در جدول۲ آورده شده است. هم‌چنین در مطالعات فیزیکی برای تعیین بافت خاک، از طبقه‌بندی USDA، استفاده و بافت غالب خاک منطقه شنی- لوم تعیین شد. در این پروژه مقدار EC و pH خاک با روش گل اشباع اندازه‌گیری شد. مطابق نتایج به دست آمده از خاک منطقه، شوری خاک بیشتر از dS/m ۲/۵ و pH آن در محدوده قلیائی، pH>۷ است. همچنین کشت باکتری‌های نمونه‌های خاک به روش غنی‌سازی، ابتدا در محیط‌های مایع حاوی ترکیبات نفتی و سپس در محیط‌های جامد انجام شد. سویه‌های باکتریایی حاصل برای بررسی‌های بعدی، در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد منجمد شدند. در مرحله بعدی روش‌های پاکسازی مختلف از نظر جنبه‌های مختلف با هم مقایسه شدند.

بررسی فنی و اقتصادی روش‌های مختلف پاکسازی: ابتدا شاخص‌های مورد نظر برای مقایسه روش‌های پاکسازی تعیین شد. در بخش محاسبات اقتصادی، از فهرست بهای اعلام شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا [۱](EPA) به عنوان منابع مرجع استفاده شد. سپس ضریبی متناسب با هزینه هر روش، به آن اختصاص یافت تا در ماتریس

[۱]Environmental Protection Agency

تصمیم‌گیری استفاده شود. سپس معیارهای کیفی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[۲] به معیارهای کمی تبدیل شدند.

جدول۲: نتایج آنالیز نمونه‌های خاک به روش GC-MS

CODE	TPHs	BTEX			
		Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylenes
BRS٥	٧٠٥٣,٨	N.D	N.D	N.D	٢٢,٦
BRS٩	٥٩٤,٦	٢,٣	٢,٧	N.D	N.D
BRS١T	١٦٦١	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١	٣٣٦١	٨٤٢٤,١	١٨٤٥٨,٧	٥٥١٣	٩٥١٧,٨
BRS١٠	٥٥٦٢	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS٤	٣٨٥٦,٨	N.D	١٧٨,٧	N.D	N.D
BRS٣	٤١٠	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS٢	٧٦١	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS٨	١٢٠٦,٢	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٨	٢٠٠٩٠٠	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٦	٢٣٦٠	N.D	١٥٦,٥	N.D	N.D
BRSC٣	٤٤٣٣,٣٣	N.D	N.D	N.D	N.D
BRSC٢	٤٦١٦,٦	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١١	٣٩٩٩,٤	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٢	٤٩٢٢,٨	N.D	N.D	N.D	N.D
RSS	١١١٨٧,٣	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS٧	٧٠٠٦,٣	N.D	٢٤,٦	N.D	N.D
BRS١٤	٩٩٢٥	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٧	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٥	٢٣٥٥	N.D	N.D	N.D	N.D
BRSC١	٢٧٥٥,٩	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS١٣	٢٩٩٢٢,٧	N.D	N.D	N.D	N.D
BRS٦	٦١٠١	١١٩٢٧,٣	٢٧١٨٩,٧	٨٠٦٩,٧	١٣٥٣٠,١
ALT	٧٠٦,٠٣	N.D	N.D	N.D	N.D

N.D نشانگر عدم شناسایی ماده مورد نظر توسط دستگاه می‌باشد.

واحد تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده µg/kg می‌باشد.

[۲] Analytic Hierarchy Process

بحث

در این پژوهش برای تعیین روش بهینه پاکسازی آلودگی خاک از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. مراحل روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عبارتند از:

الف) ساختن نمودار سلسله مراتبی: ابتدا باید معیارهای موثر بر پژوهش را از منابع مختلف استخراج نمود. سپس سطوح معیار مساله را در صورت وجود، به سطوح زیرمعیار تقسیم کرد.

ب) تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه و ماتریس‌های مقایسات زوجی تشکیل می‌شوند. جهت تعیین اهمیت در مقایسات زوجی از طیف ۱ تا ۹ استفاده گردید. اختصاص عدد ۱ به معنای کاملا مطلوب و عدد ۹ به معنای کاملا نامطلوب است (اصغر پور، ۱۳۸۲).

ج) محاسبه نرخ ناسازگاری: نرخ ناسازگاری نشان دهنده ثبات و پایداری مقایسات است. نرخ کمتر از ۰/۱ نشان از سازگاری ماتریس بوده و اگر این نرخ از ۰/۱ بیشتر باشد باید در مقایسات زوجی تجدید نظر گردد.

در بخش بررسی فنی روش‌های پاکسازی، برای کمی سازی، معیارها و زیرمعیارهای مربوطه به شرح زیر تعیین شد:

انعطاف‌پذیری: ۱) توان جابجایی نقاط عملیاتی، ۲) قابلیت مانور عملیاتی.

قابلیت اطمینان و اعتماد: ۱) صحت داده‌ها، ۲) امکان تفسیر دقیق، ۳) اندازه گیری دقیق مواد آلاینده.

قابلیت استفاده مجدد: ۱) امکان تکرار پاکسازی در شرایط مشابه، ۲) استفاده مجدد از تجهیزات مربوطه.

به روز بودن روش: ۱) مقایسه با روش‌های پاکسازی داخلی، ۲) مقایسه با استانداردهای بین المللی مانند EPA و ...، ۳) استفاده از تجهیزات به روز.

سهولت در بهره‌برداری: ۱) نیروی انسانی مورد نیاز، ۲) زمان لازم، ۳) امکانات و تجهیزات لازم، ۴) سهولت حمل و نقل تجهیزات، ۵) روش پایش پاکسازی.

پیامدهای ایمنی: ۱) تعداد نیروی انسانی خارج از شرکت، ۲) خطر آسیب رساندن به تاسیسات یا تجهیزات پالایشگاه، ۳) خطر آسیب دیدگی افراد، ۴) خطر بروز حوادث غیرمترقبه.

محاسبات اقتصادی: مطابق برآورد، پرهزینه‌ترین روش، جداسازی فازی و مقرون به صرفه‌ترین، اصلاح الکتریکی بود.

محاسبات مربوط به AHP، در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت گرفت. در این گام برای هر معیار یک ضریب مقایسه‌ای تعریف شده که میزان اهمیت هر معیار را مشخص می‌کند. در گام بعدی، یک ماتریس ۷×۷ با سطر و ستون معیارها ایجاد شد. این ماتریس درجدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: ضرایب مقایسه ای برای معیارهای فنی سایت

معیار	ضریب مقایسه ای
محاسبات اقتصادی	۳
انعطاف پذیری	۵
قابلیت اطمینان و اعتماد	۳
قابلیت استفاده مجدد	۴
به روز بودن روش	۵
سهولت در بهره برداری	۶
پیامدهای ایمنی	۲

سپس ماتریس دیگری تولید شد. در این ماتریس هر درایه به مجموع درایه‌های هر ستون تقسیم شده و درنهایت با گرفتن میانگین در هر سطر، ضریب معیار در هر سطر به دست آمد.

جدول۴: ماتریس تولید شده از ضرایب مقایسه ای معیارها

ضریب معیار	پیامدهای ایمنی	سهولت در بهره برداری	به روز بودن روش	قابلیت استفاده مجدد	قابلیت اطمینان و اعتماد	انعطاف پذیری	محاسبات اقتصادی	
۰.۱۷	۰.۶۷	۲.۰۰	۱.۶۷	۱.۳۳	۱.۰۰	۱.۶۷	۱.۰۰	محاسبات اقتصادی
۰.۱	۰.۴۰	۱.۲۰	۱.۰۰	۰.۸۰	۰.۶۰	۱.۰۰	۰.۶۰	انعطاف پذیری
۰.۱۷	۰.۶۷	۲.۰۰	۱.۶۷	۱.۳۳	۱.۰۰	۱.۶۷	۱.۰۰	قابلیت اطمینان و اعتماد
۰.۱۳	۰.۵۰	۱.۵۰	۱.۲۵	۱.۰۰	۰.۷۵	۱.۲۵	۰.۷۵	قابلیت استفاده مجدد
۰.۱	۰.۴۰	۱.۲۰	۱.۰۰	۰.۸۰	۰.۶۰	۱.۰۰	۰.۶۰	به روز بودن روش
۰.۰۸	۰.۳۳	۱.۰۰	۰.۸۳	۰.۶۷	۰.۵۰	۰.۸۳	۰.۵۰	سهولت در بهره برداری
۰.۲۵	۱.۰۰	۳.۰۰	۲.۵۰	۲.۰۰	۱.۵۰	۲.۵۰	۱.۵۰	پیامدهای ایمنی
۱	۳.۹۷	۱۱.۹۰	۹.۹۲	۷.۹۳	۵.۹۵	۹.۹۲	۵.۹۵	مجموع هر ستون

پس از اطمینان از سازگاری نتایج وزنی AHP، از ماتریس تصمیم‌گیری برای تعیین روش بهینه پاکسازی استفاده شد. ماتریس تصمیم گیری: برای انتخاب گزینه بهینه روش‌های متفاوتی از جمله روش TOPSIS [۳]وجود دارد که در این پژوهش برای انتخاب بهترین گزینه، وزن معیارهای تصمیم‌گیری روش AHP در ماتریس TOPSIS که نوعی مدل غیر جبرانی است، استفاده شد. منطق اصولی TOPSIS تعریف راه حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل می‌باشد. راه حل بهینه کمترین فاصله را از راه حل ایده‌آل و بیشترین فاصله را از راه حل ضد ایده‌آل دارد. نتایج به دست آمده از ماتریس TOPSIS شده در جدول ۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵: اولویت اجرای روش پاکسازی براساس ماتریس TOPSIS

اولویت	نام روش	PI	اولویت	نام روش	PI
۱	توده زیستی	۰.۷۴	۸	استخراج بخار خاک	۰.۴۶
۲	تهویه زیستی	۰.۷۲	۹	عریان سازی با هوا	۰.۴۶
۳	جذب سطحی کربن	۰.۶۸	۱۰	عدم تحرک آلاینده	۰.۴۵
۴	تعویض یونی	۰.۶۵	۱۱	کمپوست کردن	۰.۴۴
۵	استخراج حلال	۰.۶۱	۱۲	جدا سازی فاز	۰.۴۳
۶	دفع گرمایی	۰.۶۱	۱۳	اصلاح الکتروکینتیک	۰.۴
۷	گیاه پالایی	۰.۵	۱۴	خاکشویی	۰.۳۲

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده در این پژوهش عبارتند از:

- براساس ماتریس TOPSIS، روش پاکسازی توده زیستی با ضریب PI=۰.۷۴ بهترین روش و خاکشویی با ضریب PI =۰.۳۲ بدترین گزینه پاکسازی خاک آلوده در منطقه پالایشگاهی مورد نظر می‌باشد.
- نوع آلاینده و خصوصیات خاص هر سایت در خروجی روش AHP و ماتریس TOPSIS موثر است.

[۳] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

- ضرایب اهمیت تعیین شده برای هرکدام از ۷ معیار کیفی، با توجه به نظر کارشناسان تعیین شده و قابل تجدید نظر در هرسایت است.

منابع

اصغرپور، م. (۱۳۸۲). تصمیم‌گیری گروهی و نظریه بازی‌ها با نگرش تحقیق در عملیات. تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۴۱۸.

بختیاری، ش.، واعظی‌هیر، ع.، بهرامی، م. (۱۳۹۵). پاکسازی آلاینده‌های هیدروکربنی آبخوان پالایشگاه بندرعباس در مقیاس پایلوت. پایان‌نامه، دانشگاه تبریز.

زیاد پور، ا.، واعظی‌هیر، ع.، زرینی، غ. (۱۳۹۹). زیست‌پالایی خاک‌های آلوده به مواد نفتی پالایشگاه تبریز در مقیاس پایلوت. پایان‌نامه، دانشگاه تبریز.

طاهرخانی، م. ف. (۱۳۸۶). کاربرد تکنیک TOPSIS در اولویت‌بندی مکانی استقرار صنایع تبدیلی کشاورزی در مناطق روستایی. پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)، ۷:۳، ۷۳-۵۹.

Azubuike, G. C., Blaise, C., Chijioke, O. G. (۲۰۱٦). Bioremediation techniques–classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects. World Journal of Microbiol Biotechnology, ۳۲(۱۱):۱۸۰, ۱-۱۸. doi: ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۲۷٤-۰۱٦-۲۱۳۷-x.

Eve Riser, R. (۲۰۱۹). Remediation of contaminated soils biological physical and chemical processes. Lewis publisher, ٥۲٦.

Jera, W. (۲۰۰٦). Bioremediation of Contaminated Soils: A Comparison of In-Situ and Ex-Situ Techniques . http://www.public.iastate.edu/~tge/courses/ce٥۲۱.

Paval, L. V., Gavrilescu, M. (۲۰۰۸). Overview of ex-situ decontamination techniques for soil clean up. Environmental Engineering and Management, ۷(٦): ۸۱٥-۸۳٤.

Thapa, B., Ghimire, A., Kumar, K. (۲۰۱۲). A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil. Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology, ۸:۱, ۱٦٤-۱۷۰. doi:۱۰,۳۱۲٦/kuset.v۸i.۱,٦۰٥٦.

U.S. EPA. (۱۹۸٥). Remedial Action at Waste Disposal Sites. Revised. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/٦۲٥/٦- ۸٥/۰۰٦. ۱-٦۷۰.

U.S. EPA, (۱۹۹۱). Thermal Desorption Treatment. EPA/٥٤۰/۲-۹۱/۰۰۸.

U.S. EPA, (۱۹۹۳). Innovative site Remediation Technology-Soil washing-Soil flushing. www.epa.gov/ust, EPA ٥٤۲-B-۹۳-۰۱۲.

US. EPA. (۱۹۹٥). How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites: A Guide for Corrective Action Plan Reviewers. Dual-Phase Extraction. www.epa.gov/ust, EPA ٥۱۰-B-۹٥-۰۰۷,۱-٤٤.