اداره کل حفاظت محیط‌زیست

استان کرمان

دستورالعمل رفع آلودگی خاک

بسم الله الرحمن الرحیم

گزارش

دستورالعمل رفع آلودگی خاک

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... صفحه

فصل اول:مطالعات پایه

۱-۱-مقدمه.....۴
۱-۲ـ تعاریف پایه.....۴
۱ـ۳ـ بررسی ضرورت و اهمیت رفع آلودگی خاک.....۹
۱ـ۴ـ بررسی کارهای مشابه انجام شده در سطح کشور، منطقه و جهان.....۱۱
۱ـ۵ـ تعریف موضوع.....۱۵
۱ـ۵ـ۱ـ نوع خاک.....۱۵
۱ـ۵ـ۲ـ اقلیم ایران.....۱۶
۱ـ۵ـ۲ـ۱ـ طبقه بندی اقلیمی ایران.....۱۶
۱ـ۵ـ۳ـ آلودگی خاک.....۱۸
۱ـ۵ـ۳ـ۱ـ آلاینده‌های معدنی خاک.....۱۹
۱ـ۵ـ۳ـ۲ـ آلاینده‌های آلی خاک.....۲۱
۱ـ۵ـ۳ـ۲ـ۱ـ آلاینده‌های آلی پایدار(POPs).....۲۱
۱ـ۵ـ۴ـ بودجه.....۲۲
۱ـ۵ـ۵ـ نوع کاربری.....۲۳
۱ـ۵ـ۶ـ وسعت آلودگی.....۲۳

فصل دوم: پاک سازی وقوانین ومقررات

۲ـ۱ـ مقدمه.....۲۶
۲ـ۲ـ تعاریف و مفاهیم.....۲۶
۲ـ۳ـ قوانین و مقررات.....۳۰
۲ـ۳ـ۱ـ مبانی تدوین قانون خاک.....۳۱
۲ـ۳ـ۲ـ اصول بین المللی در تدوین قانون خاک ۳۳

۲ـ۳ـ۳ـ استانداردهای رفع آلودگی خاک کشورهای مختلف ۳۴
۲ـ۳ـ۴ـ بررسی قوانین و استانداردهای خاک در ایران ۳۴
۲ـ۳ـ۴ـ۱ـ خلاصه ای از لایحه جامع خاک ۳۵
۲ـ۳ـ۴ـ۲ـ وظایف و اختیارات ۳۶
۲ـ۳ـ۴ـ۳ـ جلوگیری از آلودگی خاک ۳۶

فصل سوم: روش شناسی

۳-۱- مقدمه ۳۹
۳ـ۲ـ شاخص های ارزیابی وضعیت خاک ۳۹
۳ـ۳ـ گروه بندی خاک های کشور ۴۰
۳ـ۴ـ گروه بندی خاک‌های ایران ۴۲
۳ـ۴ـ۱ـ مناطق سرد با تابستان کوتاه و اقلیم نسبتاً گرم و مرطوب و پتانسیل خوب برای جنگل ۴۲
۳ـ۴ـ۲ـ خاک‌های شیب دار ۴۳
۳ـ۴ـ۲ـ۱ـ خاک ها با شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد ۴۳
۳ـ۴ـ۲ـ۲ـ خاک ها با شیب متوسط ۸ تا ۱۵ درصد ۴۳
۳ـ۴ـ۲ـ۳ـ خاک‌های مسطح با شیب کمتر از ۸ درصد ۴۳
۳ـ۴ـ۳ـ مناطق مسطح واقع در دره ها ۴۳
۳ـ۴ـ۴ـ فلات‌ها و جلگه‌ها ۴۳
۳ـ۴ـ۵ ـ پایه‌های شیب (مناطق مسطح با شیب خیلی کم) ۴۴
۳ـ۴ـ۶ ـ خاک های دشتی ۴۵
۳ـ۴ـ۷ـ خاک های پفکی ۴۵
۳ـ۴ـ۸ـ خاک های متفرقه ۴۵
۳ـ۵ـ گروه بندی آلاینده های شاخص خاک های کشور ۴۶
۳ـ۵ـ۱ـ منبع پذیرنده خاک های کشاورزی ۴۶
۳ـ۵ـ۲ـ منبع پذیرنده جنگل و مرتع ۴۶
۳ـ۵ـ۳ـ منابع پذیرنده مسکونی ۴۷
۳ـ۵ـ۴ـ منابع پذیرنده صنعتی ۴۷
۳ـ ۵ ـ ۵ ـ منابع پذیرنده پارک ها،فضای سبز شهری و تفرجگاه های شهری ۴۷
۳ـ۶ـ گروه بندی واحدهای بزرگ آلوده کننده خاک های کشور ۴۷
۳ـ۷ـ طبقه‌بندی واحدهای بزرگ آلوده کننده خاک ۴۸
۳ـ۷ـ۱ـ طبقه‌بندی صنایع توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۴۸
۳ـ۷ـ۱ـ۱ـ صنایع غذایی ۴۹
۳ـ۷ـ۱ـ۲ـ صنایع نساجی ۴۹
۳ـ۷ـ۱ـ۳ـ صنایع چرم ۵۰
۳ـ۷ـ۱ـ۴ـ صنایع سلولزی ۵۰
۳ـ۷ـ۱ـ ۵ ـ صنایع فلزی ۵۰
۳ـ۷ـ۱ـ۶ـ صنایع کانی غیرفلزی ۵۰
۳ـ۷ـ۱ـ۷ـ صنایع شیمیایی و دارویی ۵۰
۳ـ۷ـ۱ـ۸ـ صنایع لاستیک و پلاستیک ۵۱
۳ـ۷ـ۱ـ۹ـ صنایع برق و الکترونیک ۵۱
۳ـ۷ـ۱ـ۱۰ـ صنایع کشاورزی ۵۱
۳ـ۷ـ۱ـ۱۱ـ صنایع ماشین سازی ۵۱
۳ـ۷ـ۲ـ طبقه بندی صنایع توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل ۵۱
۳ـ۷ـ۲ـ۱ـ کشاورزی، جنگل داری، تولید محصولات غذایی ۵۱
۳ـ۷ـ۲ـ۲ـ استخراج معدن ۵۲
۳ـ۷ـ۲ـ۳ـ انرژی ۵۲
۳ـ۷ـ۲ـ۴ـ کارخانجات فلزی ۵۲
۳ـ۷ـ۲ـ۵ـ ساخت و تهیه محصولات معدنی غیر فلزی ۵۲
۳ـ۷ـ۲ـ۶ـ مواد شیمیایی و صنایع وابسته ۵۲
۳ـ۷ـ۲ـ۷ـ محصولات فلزی، صنایع مهندسی و ماشین آلات ۵۳
۳ـ۷ـ۲ـ۸ـ صنایع نساجی، چرم، پارچه بافی، الوار و چوب ۵۳
۳ـ۷ـ۲ـ۹ـ تولید محصولات کاغذی، چاپ و نشر ۵۳
۳ـ۷ـ۲ـ۱۰ـ مراکز خدماتی پزشکی، بهسازی و سایر خدمات بهداشتی ۵۳
۳ـ۷ـ۲ـ۱۱ـ خدمات تجاری و خصوصی ۵۳

۳ـ۸ـ ارایه وضعیت موجود و پتانسیل آلودگی خاک های کشور ۵۳
۳ـ۸ـ۱ـ آلاینده موجود در فاضلاب‌های صنعتی ۵۴
۳ـ۸ـ۲ـ شناسایی و طبقه بندی منابع مختلف آلودگی خاک ۵۶
۳ـ۸ـ۳ـ تقسیم بندی آلاینده های خاک براساس ویژگی های آلاینده ها ۵۷
۳ـ۹ـ ارزیابی ریسک آلودگی های خاک های کشور ۵۸
۳ـ۱۰ـ بررسی اهمیت آلوده‌کننده‌ها ۶۲
۳ـ۱۱ـ ارزیابی خطر ۶۳
۳ـ۱۱ـ۱ـ ارزیابی خطر با استفاده از سیستم های کارشناسی ۶۴
۳ـ۱۲ ـ ارزیابی ریسک آلودگی های خاک های کشور ۶۵
۳ـ۱۲ـ۱ـ مرحله اول شناسایی سایت خاک آلوده ۶۶
۳ـ۱۲ـ۲ـ مرحله دوم ارزیابی خطر ۶۹
۳ـ۱۳ـ ارائه راهکارهای کاهش آلودگی و تصفیه آلودگی و پالایش با توجه به شرایط خاک های کشور ۷۱
۳ـ۱۳ـ۱ـ پالایش سبز ۷۵
۳ـ۱۴ـ ویژگی های خاک ۷۷
۳ـ۱۵ـ مسیرهای انتقال آلودگی از خاک به انسان ۸۸
۳ـ۱۵ـ۱ـ سفره های آب زیر زمینی ۸۹
۳ـ۱۶ـ خصوصیات آلاینده‌ها ۸۹
۳ـ۱۶ـ۱ـ خصوصیات لایه‌های خاک ۹۰
۳ـ۱۶ـ۲ـ خصوصیات هیدرولوژیک منطقه ۹۰
۳ـ۱۷ـ استانداردهای مصارف مختلف آب ۹۰
۳ـ۱۸ـ گیاه پالایی ۹۱
۳-۱۸-۱- گیاه‌تبدیلی (گیاه‌واریختی) ۹۴
۳-۱۸-۲- زیست‌پالایی محیط ریشه ۹۵
۳-۱۸-۳- گیاه‌تثبیتی ۹۷
۳-۱۸-۴- گیاه‌استخراجی ۹۸
۳-۱۸-۵- فیلتراسیون ریشه‌ای ۹۸
۳-۱۸-۶- پمپ گیاهی و کنترل تعادل آب ۹۹
۳ـ۱۹ـ پیاده سازی نرم افزار و وب سایت ۱۰۱
۳-۱۹-۱- امکان سنجی ۱۰۲
۳ـ۲۰ـ معرفی سیستم های اطلاعات مکانی GIS ۱۰۳
۳ـ۲۰ـ۱ـ بررسی ضرورت و اهمیت موضوع ۱۰۴
۳ـ۲۰ـ۲ـ مراحل اجرای GIS ۱۰۴
۳ـ۲۰ـ۳ـ تهیه لایه ها و اطلاعات مورد نیاز ۱۰۵
۳ـ۲۰ـ۴ـ داده های رقومی ۱۰۵
۳ـ۲۰ـ۴ـ۱ـ رقومی نمودن داده ها ۱۰۶
۳ـ۲۰ـ۴ـ۲ـ تجهیزات کسب داده ۱۰۶
۳ـ۲۰ـ۵ـ کنترل لایه ها و اطلاعات ۱۰۶
۳ـ۲۰ـ۵ـ۱ـ تکمیل لایه های مورد نیاز ۱۰۶
۳ـ۲۰ـ۶ـ ذخیره سازی لایه ها در پایگاه داده ها ۱۰۷
۳ـ۲۰ـ۶ـ۱ـ تهیه پایگاه داده ۱۰۷
۳ـ۲۰ـ۷ـ مدیریت سایت آلودگی خاک GIS ۱۰۷
۳ـ۲۰ـ۸ـ بخش های پایگاه اطلاعات مکانی سایت آلودگی خاک ۱۰۷
۳ـ۲۰ـ۹ـ بانک های اطلاعاتی ۱۰۸
۳ـ۲۰ـ۹ـ۱ـ گزارش ها، نمودارها و جداول ۱۱۱

فصل چهارم **ضوابط اجرایی دستورالعمل رفع آلودگی خاک**

۴ـ۱ـ مقدمه ۱۱۸
۴ـ۲ـ اصطلاحات و تعاریف ۱۱۸
۴ـ۳ـ تعیین ویژگی های خاک سایت آلوده ۱۲۰
۴ـ۳ـ۱ـ نمونه برداری و آنالیز خاک ۱۲۰
۴ـ۳ـ۲ـ تعیین ویژگی های مواد آلاینده ۱۲۱
۴ـ۴ـ عملیات میدانی و اندازه گیری پارامترهای آزمایشگاهی ۱۲۵
۴ـ۵ـ مدیریت خاک آلوده ۱۳۱
۴ـ۶ـ روش های پاک سازی و رفع آلودگی خاک ۱۳۶

۴ـ۶ـ۱ـ انتخاب روش پاک سازی و رفع آلودگی..... ۱۳۷
۴ـ۷ـ تشریح گیاه‌پالایی و روش‌های عملی آن با بالاترین بازده..... ۱۴۳
۴-۷-۱. سازوکار گیاه‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی..... ۱۴۷
۴-۷-۲- اثر فاکتورهای محیطی بر گیاه‌پالایی..... ۱۴۹
۴-۷-۳ فناوری هایی برای افزایش راندمان گیاه‌پالایی..... ۱۵۲
۴ـ۸ـ نمونه برداری از نقاط آلوده و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمی و کیفی آلاینده آلی و معدنی..... ۱۵۵
۴ـ۹ـ روش‌های تجزیه آزمایشگاهی..... ۱۵۹
۴ـ۹ـ۱ـ تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده..... ۱۶۰
منابع..... ۱۶۲

فهرست جدول

۱ـ۱ـطبقه بندی و اهمیت خاک ها بر اساس حساسیت نسبت به آلاینده‌ها..... ۱۴
۱-۲- پنج گروه اقلیمی کوپن..... ۱۵
۱ـ۳ـ استان‌های اقلیمی ایران..... ۱۶
۲-۱ـ برخی از مهمترین قوانین خاک کشورها، مناطق و سازمان‌های مختلف..... ۲۹
۳-۱- شاخص های کیفیت خاک و ارتباط آن ها را با سلامت خاک..... ۳۸
۳-۲-طبقه بندی عمق خاک‌ها..... ۳۹
۳-۳- کلاس‌های نفوذپذیری خاک‌ها..... ۳۹
۳-۴- کلاس‌های زه کشی خاک‌ها..... ۳۹
۳-۵- کلاس‌های سطح آب زیر زمینی اراضی..... ۴۰
۳-۶- کلاس‌های فرسایش خاک‌ها..... ۴۰
۳-۷- کلاس‌های شوری خاک‌ها..... ۴۰
۳-۸- گروه های مختلف صنایع بر اساس طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط زیست..... ۴۷
۳ـ۹ـ تعیین نوع خطر یک آلوده کننده..... ۶۲
۳ـ۱۰ـ پروژه های گیاه پالایی منتخب برای آب زیر زمینی و خاک..... ۹۱
۳-۱۱ : مکانیزم‌های گیاه‌پالایی به همراه موادی که قابل تصفیه به وسیله این مکانیزم‌ها..... ۹۷
۳-۱۲ : گونه‌های گیاهی مورد استفاده در گیاه‌پالایی ترکیبات آلی..... ۹۸
۳ـ۱۳ـ : آنزیم‌های گیاهی که نقش تبدیل ترکیبات آلی را دارند..... ۹۸
۳ـ۱۴ـ انواع گیاهان، واسط ها(خاک، آب زمینی و رسوب) و آلاینده ها..... ۹۹
۴ـ۱ حد اکثر غلظت مجاز آلاینده های معدنی در سایت آلوده (mg/kg) برای کاربری‌های مختلف خاک..... ۱۲۲
۴ـ۲:. حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های آلی در سایت (mg/kg) برای کاربری‌های مختلف خاک..... ۱۲۲
۴ـ۳:. محدودیت های مکانی سایت های کشاورزی..... ۱۲۳
۴ـ۴:. محدویت مکانی زمین‌های غیرکشاورزی..... ۱۲۴
۴ـ۵ـ غلظت مواد معدنی و مواد آلی در سایت آلوده..... ۱۳۰
۴ـ۶:. ویژگی های خاک سایت. آلوده..... ۱۳۰
۴ـ۷:- مکانیزم‌های گیاه‌پالایی به همراه موادی که قابل تصفیه به وسیله این مکانیزم‌ها..... ۱۳۹
۴ـ۸:- گونه‌های گیاهی مورد استفاده در گیاه‌پالایی ترکیبات آلی..... ۱۳۹
۴ـ۹ : انواع گیاهان، واسط ها(خاک، آب زیرزمینی و رسوب) و آلاینده ها..... ۱۴۰
۴ـ۱۰- برخی از گیاهان مقاوم به هیدروکربن‌های نفتی..... ۱۴۶
۴ـ۱۱ مقایسه گیاه‌پالایی با روش‌های دیگر قابل کاربرد در پالایش سایت‌های آلوده به ترکیبات آلی..... ۱۵۴

فهرست شکل

۲ـ۱ـ سرنوشت آلاینده ها در خاک..... ۲۴
۳-۱- تقسیم بندی آلاینده های خاک بر اساس خصوصیات آلاینده ها..... ۵۶
۳-۲- نحوه ارزیابی خطر آلاینده ها در خاک با توجه به غلظت آلاینده در خاک..... ۵۸
۳ـ۳ـ فلوچارت ارزیابی یک آلاینده..... ۶۱
۳ـ۴ : فلوچارت فاز اول شناسایی ارزیابی خطر..... ۶۵
۳ـ۵ : فاز دوم شناسایی(ارزیابی ریسک) در مرحله شناسایی..... ۶۶
۳ـ۶ : فلوچارت برای مرحله دوم ارزیابی خطر..... ۶۸
۳-۷ ارتباط بین غلظت آلاینده در خاک و سطح خطر موجود..... ۸۶
۳ـ۸ـ اجزای سیستم GIS برای بانک اطلاعات سایت آلودگی خاک..... ۱۰۲
۳ـ۹ـ جمع آوری لایه های سایت آلودگی خاک(برحسب پروژه متغییر است)..... ۱۰۳
۳ـ۱۰ـ لایه های وکتوری و رستری سایت آلودگی..... ۱۰۳
۳ـ۱۱ـ بخش های مختلف پایگاه اطلاعات مکانی سایت آلودگی خاک..... ۱۰۶
۴ـ۱ـ فرم تعیین مشخصات عمومی سایت آلوده..... ۱۲۶
۴ـ۲ـ موقعیت فاصله ای سایت آلوده از کاربری های حساس..... ۱۲۷
۴ـ۳: فلوچارت فاز اول شناسایی ارزیابی خطر..... ۱۳۳
۴ـ۴: فاز دوم شناسایی(ارزیابی ریسک) در مرحله شناسایی..... ۱۳۴
۴ـ۵:فلوچارت برای مرحله دوم ارزیابی خطر..... ۱۳۵
۴ـ۶ـ مکانیزم‌های گیاه‌پالایی ترکیبات نفتی..... ۱۴۸
۴ـ۷ـ دستگاه سوکسله و مسیر حرکت حلال نفتی در آن..... ۱۶۱

پیوست.

جداول خلاصه کاربردی استاندارد و پاک سازی آلودگی خاک..... ۱۶۵
جداول روش پاک سازی آلودگی خاک و برآورد هزینه ۱۸۱
جداول حاکثر بار مجاز اعم از مایع و جامد..... ۱۸۶

چکیده

کلمات کلیدی:

فصل اول

مطالعات پایه

۱ـ۱ـ مقدمه

خاک به دلیل اهمیت فزاینده در مسایل توسعه جهانی نظیر امنیت غذایی، تخریب زمین و ارائه خدمات اکوسیستمی اهمیت دارد. خاک علاوه بر این‌که تأمین کننده مواد غذایی است ، خاصیت تصفیه کنندگی نیز دارد و به همین دلیل به عنوان یکی از پالاینده‌های مهم طبیعت محسوب می‌شود. این خاصیت خاک در اثر خواص فیزیکی ، شیمیایی و زیستی آن حاصل می‌گردد(۴).

با توجه به وجود چرخه مواد بین اکوسیستم‌های موجود در طبیعت و بستر بودن خاک برای حیات در زیست کره، هرگونه آلودگی در این محیط به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر دیگر موجودات زنده اثر می‌گذارد. متاسفانه بحث آلودگی خاک نسبت به سایر آلودگی‌های زیست محیطی همچون آب و هوا، به دلیل ملموس نبودن آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ولی باید توجه نمود که خاک به عنوان یک عنصر میانی بین آب و هوا نقش بسیار مهمی در انتقال و نگهداشت آلودگی دارد. بخصوص به دلیل ماهیت جامد بودن آن مسئله نگهداشت و انتقال آلودگی از این محیط به سایر محیط‌ها و جانداران قابل تامل می‌باشد(۴).

برنامه ریزی برای حفاظت از خاک لازمه بقای نسل بشر است و برخورداری از زمین پاک حق همه آنهایی است که روی این کره خاکی زندگی می‌کنندو برای حفظ زمین نیز، حفظ و صیانت از خاک الزامی‌است. صیانت از خاک در واقع صیانت از همه منابع طبیعی است و موضوعی است که کمتر به آن پرداخته شده است. یکی از دلایل مهم اهمیت توجه به خاک و جلوگیری از آلودگی و از بین رفتن آن ، مدت زمان طولانی لازم جهت تجدید منابع آن است به گونه ای که برای تشکیل یک سانتی متر خاک حاصلخیز ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ سال وقت لازم است(۴).

جهت تدوین این گزارش، مطالعات رفع آلودگی خاک بسیاری از کشورهایی که دارای استانداردها و قوانین معتبر در این خصوص می‌باشند همچون: آمریکا ، هلند ، استرالیا ، انگلستان ، کانادا و نیوزلند مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت دستورالعمل رفع آلودگی منابع خاک کشور تدوین شده است. مرجع استاندارد حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA) از آنجا که از نظر بین المللی و علمی‌دارای اعتبار بیشتری بوده و در تدوین استاندارد خاک سایر کشورها به عنوان یک مرجع معتبر و اصلی مورد استفاده قرار گرفته است، در تدوین این گزارش نیز به عنوان مرجع اصلی استفاده شده است(۴).

۱ـ۲ـ تعاریف پایه

تعریف سرزمین

منطقه‌ای از سطح زمین که همه ویژگی‌های نسبتاً پایدار یا قابل پیش‌بینی زیست‌کره به صورت عمودی در بالا و پایین آن قرار گرفته باشد، سرزمین نامیده می‌شود. سرزمین دارای یک گسترش جغرافیایی است و بر اساس همه خصوصیاتی که بر کاربری زمین تاثیر گذارند، تشریح می‌شود. با این تعریف به خوبی می‌توان دریافت که خاک تنها بخشی از سرزمین است(۳)

خاک[1]

خاک مخلوط پیچیده ای از مواد معدنی، آلی و موجودات زنده است که از تجزیه و تخریب سنگ‌ها در نتیجه هوازدگی بوجود می‌آید. خاک به آهستگی در مناطق خشک و سریع در مناطق مرطوب، همیشه و در همه حال توسعه می‌یابد. در سال های دور تصور می‌شد خاک بخش بی ارزش پوسته زمین است تا این‌که در سال ۱۸۸۰ میلادی توسط دانشمندی روسی به نام "داکوچائف" به عنوان بخشی زنده و دارای ارزش مورد مطالعه قرار گرفت (۱و۲و۴)

به تعریفی دیگر خاک واژه‌ای عمومی است که برای توده‌های طبیعی تشکیل شده از مواد معدنی و آلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مرزهای افقی خاک تا جایی است که به آب‌های عمیق یا به مناطق لم‌یزرع سنگی یا یخی می‌رسد (۴و۳)

بنابراین، حد پایینی خاک به طور طبیعی همان حد پایینی فعالیت بیولوژیکی است که این حد نیز معمولاً با عمق توسعه‌ی ریشه‌ی گیاهان چند ساله‌ی بومی منطبق می‌باشد (۳و۱۰)

عوامل تشکیل دهنده خاک و پراکنش آن‌ها

براساس فرمول ینی پنج عامل اصلی در تشکیل و پراکنش خاک‌ها موثر است که عبارتند از: اقلیم (cl)، موجودات زنده(o)، زمان(t)، مواد مادری(p) و پستی و بلندی(r) و یا به طور اختصار (۳)

$$Soil = f(cl, o, t, p, r)$$

اهمیت نسبت این عوامل همیشه یکسان نیست و باتوجه به منطقه متفاوت است. با توجه به وضعیت جغرافیایی ایران در تشکیل و پراکنش خاک‌ها هر پنج عامل گفته شده تاثیر قابل توجهی دارند و از نقطه نظر تشکیل و پراکنش خاک‌ها تقریبا اهمیت یکسانی دارند، ولیکن باتوجه به دامنه‌ی تاثیرگذاری هر عامل و یا به عبارت دیگر با توجه به مساحتی که هر عامل اهمیت بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد می‌توان این عامل‌ها را به ترتیب زیر مورد بررسی قرار داد(۳و۱۲)

مواد مادری

این عامل مهم‌ترین تاثیر را در ایجاد خاک‌های هر منطقه بویژه در مراحل نخست هوادیدگی و خاک سازی دارد و به تدریج هنگام با افزایش فرآیندهای خاک ساز از اهمیت آن کاسته می‌شود، لیکن درمناطق خشک و گرم این عامل اهمیت بسیار زیادی را در تشکیل و تکامل خاک‌ها دارد.(۳)

از نظر ویژگی‌های شیمیایی مواد مادری، مهم‌ترین عامل ترکیب شیمیایی سنگ مادر مقدار عناصر قلیائی و قلیائی خاکی است. سنگ‌های فاقد عناصر قلیایی مثل سنگ‌های رس کائولن می‌تواند فقط محصول هوادیدگی کائولینیتی یا لاتریتی باشند. مگر اینکه حرکت آب‌های زیرزمینی باعث انتقال عناصر قلیایی و قلیایی خاکی به محیط هوادیدگی باشد. هوادیدگی سنگ‌های آذرین شیل‌ها، سلیت‌ها، شیست‌ها و

[1] - Soil 2-Soil Pollution 3- pollutant

کربنات‌های رسی می‌تواند حداقل در مراحل اولیه هوادیدگی بدلیل وجود مقداری عناصر قلیایی و قلیایی خاکی به اضافه مقداری آلومینیوم و سیلیسیم مواد مختلفی را تولید نماید (۳و۴)

با توجه به تنوع زمین‌شناختی ایران سنگ‌ها تحت تاثیر عوامل آب و هوایی هوادیدگی حاصل نموده تجزیه و تخریب می‌یابند و توسط آب یا نیروی ثقل منتقل شده و سپس تحت تاثیر عوامل مکانیکی شیمیایی و بیولوژیکی قرار گرفته و خاک‌های ایران را بوجود آورده است. (۳)

خاک‌های حاصله بسته به سرعت انتقال و شیب بتدریج بر جا گذاشته شده که نتیجه آن تشکیل خاک‌هایی با بافت سبک و خیلی سبک و سنگریزه دارد و در مجاورت ارتفاعات و مخروط افکنه‌ها و خاک‌هایی با بافت سنگین و خیلی سنگین در انتهای دشت دامنه‌ای و بالاخره خاک‌هایی با بافت متوسط در حد فاصل این دو است.

آب و هوا

درجه حرارت و بارندگی بویژه انتشار فصلی آن از عوامل مشخص آب و هوائی هستند. تجزیه و تخریب کانی‌های سنگ مادر در آب و هوای گرم و مرطوب سریع‌تر است. جهت حرکت آب بروی منطقه هوادیده و خاک‌ها و شستشوی نمک‌های محلول از آن، به مقدار بارندگی و توزیع فصلی آن مربوط می‌شود. بنابراین در یک آب و هوای همیشه مرطوب که حرکت آب از بالا به پایین است به انتقال عناصر آزاد شده توسط تجزیه و تخریب کانی‌های سنگ مادر به طرف پایین منجر می‌شود(۳)

در یک آب و هوای پیوسته خشک یا دارای یک فصل طولانی پیوسته خشک اغلب حرکت آب از پایین به بالاست و مواد تخریب یافته از منطقه تخریب انتقال نخواهند یافت. (۳و۱۲)

درآب و هوای دارای فصول متناوب خشک و مرطوب اکسیدها و هیدروکسیدهای حاصل از هوادیدگی، مثلا اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، ممکن است در فواصل زمانی خشک تثبیت شده و در خلال فصول مرطوب انتقال یابند (۳و۱۲)

آب و هوا داری سه عامل بسیار مهم می‌باشد که شامل بارندگی، درجه حرارت و باد است و هر یک از این عوامل تاثیر بسزایی در تشکیل خاک دارند. بارندگی و اثر آن در شستشو از عوامل بسیار مهم در تشکیل خاک است. انحلال، حرکت و رسوب نتیجه عمل آب در خاک می‌باشد و ایجاد افق‌های تجمع رس، آهک و گچ بدون حرکت آب کافی امکان پذیر نمی‌باشد(۱۲)

پستی و بلندی (توپوگرافی)

عامل توپوگرافی معین می‌کند که آیا حرکت عمودی آب بر روی مواد هوادیده وجود دارد یا خیر. این عامل بویژه در نواحی دارای مقدار نسبتا زیادی بارندگی که در آن‌ها مناطق پست سطح ممکن است تقریبا تا سطح زمین از آب اشباع باشند اهمیت دارند . غالب بودن شرایط اکسیداسیون و احیاء و عمقی که شرایط اکسیداسیون فعال تا آنجا نفوذ می‌کند تا اندازه‌ای به اشباع بودن خاک‌ها از آب مربوط می‌شود (۳و۱۰)

مناطق دارای زه کشی ضعیف و دوره‌های طولانی اشباع خاک از آب، بطور کلی دارای شرایط احیاء یا شرایط اکسیداسیون ناچیز می‌باشند؛ یا حداکثر دارای یک منطقه سطحی اکسیدشده نازک می‌باشد. (۳)

توپوگرافی

پستی و بلندی و یا شکل منظر اراضی(Landscape) تشکیل خاک را در طی فرآیند زه کشی تحت تاثیر قرار می‌دهد. آبدوی سطحی فرسایش پوشش گیاهی و درجه حرارت خاک نیز تحت تاثیر پستی و بلندی قرار گرفته است. خاک‌های تشکیل شده بر روی اراضی شیب‌دار دارای آبدوی سطحی متوسط تا سریع، رنگ خاک تحتانی روشن و فاقد لکه‌های رنگی است. خاک‌های تشکیل شده بر روی شیب‌های متوسط دارای آبدوی سطحی آهسته‌تری هستند و به این دلیل این خاک‌ها برای دروه کوتاهی خیس بوده و گاه دارای لکه‌های رنگی می‌باشند. خاک‌های تشکیل شده بر روی اراضی نسبتا مسطح مرطوب بوده و در قسمتی از پروفیل دارای لکه‌های رنگی هستند (۳و۱۰)

این عامل بر روی نفوذپذیری، وضعیت زهکشی، میزان نگهداری آب در خاک، عمق خاک، فرسایش، ایجاد میکروکلیما و میزان آبدوی تاثیردارد. میزان پستی و بلندی با توجه به وضعیت ظاهری اراضی که شامل فلات‌های مرتفع است بسیار زیاد می‌باشد، بنابراین خاک‌هایی که در قسمت مرتفع فلات‌ها قرار دارند بدلیل وجود عوامل فرسایشی، کم‌عمق و اینکه مستقیما افق سطحی خاک بر روی مواد مادری تشکیل دهنده آن قرار دارد؛ و خاک‌هایی که بر روی شیب‌های زیاد تشکیل شده‌اند دارای ظرفیت نگهداری کم بوده و در نتیجه خشک‌تر و قابلیت فرسایش‌پذیری آن‌ها زیادتر می‌باشد. بخش‌های موجود در قسمت پست فلات‌ها دارای خاکی عمیق بوده که نشان دهنده فعالیت شدید عوامل فرسایشی و افزایش مواد حمل شده در قسمت‌های پست است. (۳)

پوشش گیاهی و موجودات زنده

گیاهان، جانوران، حشرات، باکتری‌ها و قارچها در تشیکل خاک اهمیت دارند. این موجودات مقدار مواد آلی و ازت در خاک و اثرات آن بر روی ساختمان و حفرات را تعیین می‌کنند. از عوامل مهم بحث پوشش گیاهی مقدار و نوع مواد حاصل از تجزیه و فساد آن‌ها است. در مناطق خشک که در آن‌ها پوشش گیاهی به سرعت اکسیده می‌شود فاقد اسیدهای آلی بوده یا اسیدهای آلی ناچیز تولید می‌شوند که می‌توانند در هوادیدگی مواد شرکت نمایند همچنین در مناطقی که دارای درختان بی‌خزان بیشتری نسبت به درختان خزان‌دار می‌باشند تجمع ناچیزی از یک ورقه کوچک و مقدار ناچیزی مواد حاصل از تجزیه مواد آلی وجود خواهد داشت(۳و۱۲)

پوشش گیاهی بومی بخصوص جنگلی (جنگل‌های طبیعی) تاثیر بیشتری بر روی تشکیل خاک دارد در این مناطق پوشش گیاهی جنگلی پهن برگ خاک‌هائی با زه کش مناسب مواد آلی بیشتر و تهویه مطلوب را بوجود می‌آورد است و تحول خاک‌ها در مقایسه با اراضی غیر جنگلی بیشتر است ولی در برخی مناطق با

پوشش مرتعی اراضی لخت و زراعت دیم خاک‌ها دارای تحول مواد آلی و عمق کمتر بوده و تجمع آهک بیشتری دارند (۳و۱۰)

انسان بوسیله کشت و کار و تغییر کاربری خاک‌ها، تولید انواع جدیدی از گیاهان و افزایش کودهای معدنی و شیمیایی به خاک جهت و مقدار تحول خاک‌ها را تغییر می‌دهد. مقدار مواد آلی و ازت در خاک‌ها پس از چند ماه کشت و کار بطور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند. در اغلب اراضی شیبدار تحت کشت و کار بعضی اوقات خاک سطحی در طی فرسایش تشدید شونده از بین می‌رود(۳)

زمان

چون فرآیندهای هوادیدگی نسبتا کند هستند، زمان یک عامل مهم در تکامل مواد حاصل از هوادیدگی است. در مراحل اولیه هوادیدگی بعضی ازسنگ‌ها ممکن است در منطقه هوادیده عناصر قلیایی و قلیایی خاکی وجود داشته باشند و در نتیجه یک نوع معینی از مواد حاصل از هوادیدگی تشکیل می‌شود (۳و۱۲)

یکی از عوامل خیلی مهم در تشکیل و تکامل خاک‌ها عامل زمان است. بطوری‌که در صورت فراهم بودن تمامی شرایط مناسب تکامل خاک تابعی از زمان می‌گردد. طول زمان برای تحول پروفیل خاک به درجه سایر فاکتورهایی که تشکیل خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بستگی دارد. برای تحول پروفیل خاک در اقلیم گرم و مرطوب نسبت به اقلیم سرد زمان کمتری لازم است؛ زیرا رطوبت سرعت واکنش‌های شیمیایی و فعالیت بیولوژیکی مواد خاکی را افزایش می‌دهد. برای تشکیل پروفیل مشخص در مواد مادری با نفوذپذیری متوسط، غالباً زمان کمتری لازم است. اگر زمان کافی باشد خاک تغییر نموده و افق های ژنتیکی A، B و C در یک ردیف (سکانس) تشکیل می‌شوند(۳و۱۰)

آلودگی خاک

به معنی وجود مواد آلاینده در خاک به میزانی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر انسان و سایر موجودات زنده شده و یا هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی در خاک به طوری که خاصیت اصلی آن را تغییر دهد، اطلاق می‌گردد. آلودگی خاک موجب می‌شود حیات انسان و گیاه و حتی ماندگاری تاسیسات و ابنیه تحت الشعاع قرار گیرد.(۲و۴)

آلاینده

وجود یک ماده در جایی غیر از محیط طبیعی خود و یا غلظتی بیش از غلظت طبیعی به نحوی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر روی موجودات زنده و یا کاهش کیفیت محیط شود(۳). در مسئله آلودگی خاک آلاینده‌هایی با خواص زیر مد نظر می‌باشند:

دارای خواص سمی بوده (مثل برخی فلزات سنگین، PCBs، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای)

دارای پتانسیل تحرک در خاک و آسیب به کیفیت آب های زیرزمینی باشند (مثل منوکلروآمین ها، آمین ها و برخی نمک ها)

دارای اثرات نامطلوب بر خواص خاک باشند (مثل نمک های سدیم، میزان بالایی از هیدروکربن های دارای سمیت پایین و سولفور) (۴).

پایش خاک[1]

به معنی حفاظت از خاک در قبال تخلیه آلاینده‌ها به سطح آن می‌باشد البته در شرایطی که نحوه بهره برداری از خاک مناسب بوده و یا کنترل‌های مهندسی در مکان های‌تخلیه آلاینده‌ها انجام گیرد سطح آلودگی خاک حداقل می‌باشد.

مهمترین موضوع در پایش خاک، جلوگیری و یا کاهش تخلیه آلاینده‌ها با توجه به پتانسیل خطر آنها برای ایجاد اثرات سوء بر خاک، هوا، آب و یا ارگانیسم‌هایی است که در تماس با خاک می‌باشند. (۱و۴).

استاندارد خاک[1]**:**

مقادیر استاندارد خاک، استانداردهای عمومی‌کیفیت هستند که در کشورهای مختلف برای قانونمند کردن مدیریت خاک های آلوده به تصویب رسیده اند. این مقادیر معمولاً به شکل مقادیر غلظت آلاینده‌ها در خاک (mg/kg وزن خشک خاک) می‌باشند.(۵)

اصطلاح "مقادیر استاندارد آلاینده‌ها در خاک" (SVSPs[2]) ، به طور خاص نشان دهنده غلظتی از آلاینده‌های خاک است که در صورتی که مقدار آنها افزایش یابد، ممکن است باعث ایجاد اثرات سوء بر سلامتی انسان و یا سایر موجودات گردد و در صورتی که غلظت واقعی این آلاینده‌ها کمتر و یا معادل مقدار استاندارد پیشنهادی باشد، این مقدار قابل قبول است چرا که دارای کمترین اثرات سوء می‌باشد.(۴و۵)

ارزیابی خطر[2]

فرایندی است که احتمال وجود خطر در یک زمینه را مورد بررسی قرار می‌دهد. ارزیابی خطر زیست محیطی مشخص می‌کند که برای تعیین احتمال خطرات زیست محیطی که باعث ایجاد آسیب به فرد یا اکوسیستم شود، چه اطلاعاتی باید بررسی شوند. در این گزارش، خطر زیست محیطی شامل آلوده شدن خاک می‌باشد. فرایند ارزیابی خطر یک فرایند چند مرحله ای است که شامل

مدل مفهومی

مجموعه مشخصات در معرض قرارگیری انسان، سرنوشت آلاینده‌ها و اطلاعات مربوط به انتقال آلاینده در خاک.

مقایسه مقدار در معرض قرارگیری انسان (مقدار آلودگی موجود) با مقادیر مرجع استاندارد سلامتی.

ارزیابی خطر برای سلامتی انسان در جایی که میزان دریافت آلودگی، معادل و یا بیش از مقادیر مرجع استاندارد سلامتی است.(۶و۴و۷و۸و۹)

۱ـ۳ـ بررسی ضرورت و اهمیت رفع آلودگی خاک

1-Standard Value Pollutants in Soil
2-Risk Assessment

امروزه افزایش و توسعه بی‌رویه شهرها، روند سریع صنعتی شدن جوامع و نیاز به تامین غذای انسان به عنوان عوامل اصلی و مهم آلودگی خاک شناخته شده‌اند. با توجه به ارتباط بین اکوسیستم‌های خاک، آب و هوا و انتقال مستقیم و غیر مستقیم آلودگی از این محیط‌ها به انسان، در سال‌ها و دهه‌های اخیر با توجه به رشد چشمگیر صنایع و جوامع شهری در سراسر جهان، آلودگی آب ،خاک و هوا گریبانگیر انسان گردیده است.(۴)

استفاده صحیح ازخاک جهت بهره‌وری درست نیاز به شناسایی دقیق این منبع دارد به صورتی که قدرت و توانایی آن‌ها از نظر قابلیت‌ها و محدودیت‌ها مشخص گردد و از استفاده بی‌رویه و غیر اصولی که در نهایت منجر به تخریب و انهدام آن می‌شود، جلوگیری بعمل آید.بنابراین مطالعات خاک شناسی یکی از مطالعات زیربنایی در طرح‌های توسعه، برنامه‌ریزی‌ها، مدیریت سرزمین و محیط زیست می‌باشد. به طور کلی هر گونه فعالیت انسان که روی خاک انجام می‌گیرد، برای بهینه و پایدار بودن نیازمند مطالعات خاک شناسی است. (۱و۱۰)

بی‌توجهی به مسئله آلودگی خاک در طولانی مدت علاوه بر ایجاد اثرات سوء و نامطلوب بر اکوسیستم خاک ،سلامت انسان و سایر موجودات و یا کاهش کیفیت و آلودگی منابع آب، باعث افت کیفیت خاک و غیر قابل استفاده شدن آن می‌شود. این مسئله بخصوص در کاربری کشاورزی مساحت قابل توجه ای ازخاک را نیز در بر می‌گیرد. غیرقابل استفاده بودن خاک و یا هزینه‌های مورد نیاز جهت پاک سازی خاک های آلوده از نظر اقتصادی نیز مسئله مهم روز است. توجه به استفاده و تخلیه موادآلاینده در خاک در محدوده استاندارد تعیین شده و ظرفیت پالایش خاک، علاوه بر این‌که جلوگیری از ایجاد اثرات نامطلوب بر خاک، آب، انسان، هوا و سایر موجودات زنده می‌نماید، هزینه‌های پاک سازی آلودگی نیز کاهش می‌یابند.(۴)

با توجه به این‌که خاک از مهمترین ارکان محیط زیست است و هر نوع آلودگی در نهایت وارد خاک شده و بدون داشتن خاک سالم حیات و زندگی روی زمین امکان‌پذیر نیست و ۹۵درصد غذای انسان از زمین حاصل می‌شود، برنامه‌ریزی برای داشتن خاکی سالم و تولید کننده، لازمه بقای انسان است(۱و۳۱)

خاک از دو بخش زنده و مرده تشکیل شده است. بخش مرده خاک شامل سنگ‌های هوازده و مواد معدنی حاصل از پوسیدگی گیاهان و جانوران (مواد آلی یا هوموس) می‌باشد که هوا و آب نیز در این بخش قرار می‌گیرند. زمانی که خاک ازحالت طبیعی خود بر اثر فعالیت‌های مختلف انسانی خارج شود، دچار آلودگی می شود. به طور کلی هرگونه تغییر در ویژگی اجزای تشکیل دهنده خاک در اثر تولید ناپایدار محصولات کشاورزی، کاربری شهری و صنعتی به وجود آید، آلودگی خاک نامیده می‌شود. آلودگی خاک باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و کاهش رشد و نمو گیاهان و در نهایت منجربه فرسایش خاک و بیابان‌زایی می‌شود. از طرف دیگر عامل کاهش کیفیت خاک در محل زندگی انسان و دیگر موجودات می‌شود(۱و۲۲)

برخی کشورهای پیشرفته از چند دهه قبل متوجه اهمیت حفظ خاک و جلوگیری از آلودگی آن شده و قوانینی را در همین راستا وضع نموده اند. در حال حاضر نیز بسیاری از کشورها به منظور حفاظت از خاک و جلوگیری از آلودگی آن قوانین و دستورالعمل‌های مشخصی را تدوین نموده‌اند. در کشور ما نیز لایحه جامع خاک در سال ۱۳۸۹ از سوی دولت به مجلس شورای اسلامی‌جهت بررسی و تصویب ارائه شد. (۴)

قوانین خاک وضع شده جهت اجرا و کاربردی شدن نیاز به شاخص‌های عددی به منظور تعیین کیفیت خاک دارند. استانداردهای خاک به عنوان شاخص‌هایی برای تعیین آلودگی و یا عدم آلودگی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. وضع قوانین خاک بدون تهیه استانداردهای مربوطه، کاربردی و اجرایی نمی‌باشد چرا که می‌بایست معیاری برای تعیین آلودگی خاک مشخص و سپس بر اساس این شاخص‌ها، قوانین اجرا شوند. (۴)

در ایران امروزه با افزایش روز افزون آلودگی خاک، کاهش مساحت جنگل‌ها، نابودی تالاب‌ها، تشدید آلودگی هوا و کاهش ذخایر دریایی و منابع آبی مواجه هستیم که سال‌ها پیش از این، در ارتباط با نابودی آنان هشدار داده شده است. (۱)

ایران از نظر شاخص‌های پایداری محیط زیست با کسب رتبه ۱۳۲در بین ۱۴۶کشور جهان، در انتهای جدول جهانی قرار گرفته، در این جدول که ۱۴۶ کشور جهان از نظر وضعیت زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. فنلاند، نروژ، اروگوئه، سوئد، ایسلند و کانادا به ترتیب در جایگاه اول تا ششم جهان قرار گرفتند و کشور ایران با کسب ۸/۳۹ امتیاز بعد از کشورهایی همچون آنگولا، بورکینافاسو، ویتنام، لیبی، چاد و غیره در مقام ۱۳۲ جهان قرار گرفته است.(۱)

۱ـ۴ـ بررسی کارهای مشابه انجام شده در سطح کشور، منطقه و جهان

یکی از مهم ترین موضوعاتی که در علم امروز مورد توجه قرار می گیرد موضوع سلامتی انسان و محیط زیست است که همواره در تمامی دنیا جز اولویت ها قرار دارد. آلودگی خاک ها به عناصر سنگین یکی از مشکلات بخش کشاورزی بوده است(۱۴) اسمیت و همکاران ۱۹۹۸ گزارش دادند: از جدی ترین مسائلی است که سلامتی انسان و سایر موجودات زنده را تهدید می کند. استفاده بیش از حد از کودهای با کیفیت پایین، حشره کش ها و لجن فاضلاب از مهم ترین منابع آلودگی خاک شناخته می شود.(۶۱)

آلودگی محیط زیست، از دریچه علمی و تخصصی و نیز حقوقی مورد بحث قرار گرفته و هر یک به ارائه تعریفی از آن پرداخته اند. از نظر علمی آلودگی محیط زیست عبارت است از هرگونه تغییر در ویژگی های اجزای محیط زیست به طوری که استفاده پیشین از آن ها ناممکن گردد و به طور مستقیم و یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد .

یکی از پیامدهای افزایش روز افزون جمعیت جهان، نیاز بشر به تامین غذای بیش تر است که به طور مستقیم با تولیدات کشاورزی ارتباط پیدا می کند. امروزه در بخش کشاورزی علاوه بر مسئله افزایش

راندمان تولید، کیفیت تولیدات از نظر سلامت نیز حائز اهمیت بوده و مسئله کیفیت غذا [3] و سلامت انسان[4] بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است و از مهم ترین مسائلی که سلامت منابع طبیعی و در نتیجه امنیت غذایی جوامع را تهدید می کند آلودگی محیط زیست است (۶۲)

خاک منبع بزرگی برای دریافت انواع آلاینده ها و مواد مضر حاصل از ضایعات و مواد شیمیایی مورد استفاده در جامعه امروزی می باشد به طوری که هر ساله میلیون ها تن ضایعات آلاینده حاصل از فعالیت های مختلف صنعتی، کشاورزی و خانگی به خاک های جهان افزوده می گردد و امروزه چالش بزرگ بشر در این زمینه، چگونگی مدیریت این ضایعات و به حداقل رساندن صدماتی است که حیات جانوری و گیاهی و به ویژه سلامت انسان را تهدید می کند (۸)

مطالعات رفع آلودگی خاک در ایران انجام شده است ولی اطلاعات قابل دسترس برای اشاره به آن و یا استناد به آنها تدوین نشده است و به صورت پراکنده ممکن است منتشر شده باشد. محقق در طی سال های گذشته چند مطالعه به روش رفع آلودگی با گیاه پالایی بر روی ترکیبات نفتی و فلزات سنگین انجام داده است که به صورت مختصر به برخی از آنها اشاره می شود.

رفع آلودگی خاک ناشی از لجن حاصل از فرآیندهای می باشد. لجن تولید شده در پالایشگاه‌ها از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست خاک می‌باشد. روش دفن کردن و سوزاندن لجن‌ها آثار خطرناکی بر محیط زیست و سلامت انسان می‌گذارد. بنابراین باید از روش‌هایی که سبب کاهش آثار سمی لجن حاوی مواد هیدروکربنی می‌شوند، استفاده نمود. به همین منظور در این پژوهش با استفاده از گیاهان، پالایش ترکیبات آلی لجن در خاک جهت کاهش یا رفع هیدروکربن‌های نفتی خاک مورد آزمون قرار گرفت. لجن آبگیری شده واحد بازیافت آب پالایشگاه اصفهان ابتدا در هوا خشک شد. سپس به نسبت‌های ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد وزنی با دو خاک آهکی مخلوط شدند. به منظور آزمایش گیاه‌پالایی ۱۰۰ عدد بذر تال‌فسکیو(Festuca arundinacea) و اگروپایرون (Agropyron Smithii) هر یک جداگانه در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی حاوی تیمارهای مختلف خاک‌های آلوده به لجن در سه تکرار به مدت ۵ ماه کشت شد. آبیاری به طور مرتب هر سه روز یک بار با اندازه‌گیری رطوبت به صورت وزنی، در حد ظرفیت مزرعه انجام شد. در پایان دوره کشت، عملکرد گیاهان و درصد کاهش کل هیدروکربن‌های نفتی ریزوسفر گیاهان تعیین شد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد لجن تا سطح ۴۰ درصد، میزان هیدروکربن‌های نفتی در ریزوسفر گیاه تال‌فسکیو ۶۵ درصد کاهش یافت. در حالی‌که در ریزوسفر گیاه اگروپایرون با افزایش درصد لجن و در سطح ۳۰ درصد میزان ترکیبات نفتی ۵۵ درصد کاهش یافت. در مجموع سطح ۴۰ درصد لجن، عملکرد ریشه و اندام‌هوایی کمتری نسبت به سایر سطوح لجن در اگروپایرون و تال‌فسکیو داشت. تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در ریزوسفر تال‌فسکیو و در سطح ۴۰ درصد لجن مخلوط با خاک باغ پرندگان بیشتر از سایر سطوح بود، اما عملکرد به دست آمده در این سطح بسیار پایین بوده و به دست آوردن سطح پوشش مناسبی از گیاه

[3] Food Quality
[4] Human Health

مشکل است. اما در کل عملکرد این گیاه در سطح ۲۰ درصد لجن مخلوط با خاک محمودآباد کاهش بسیار زیادی نسبت به شاهد نداشت و تجزیه هیدروکربن‌های نفتی نیز در این سطح نسبتا قابل قبول بود. بنابراین گیاه‌پالایی به وسیله این گیاه و در خاک محمود آباد در سطح ۲۰ درصد لجن و درخاک باغ‌پرندگان در سطح ۳۰ درصد لجن توصیه می‌شود. بیشترین مقدار تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در ریزوسفر اگروپایرون، در سطح ۳۰ درصد لجن مخلوط با خاک باغ‌پرندگان مشاهده شد. اما بیشترین عملکرد گیاه در سطح ۲۰ درصد لجن دیده شد. بنابراین گیاه‌پالایی به وسیله این گیاه در سطح ۲۰ و ۳۰ درصد لجن و ترجیحا مخلوط با خاک با بافت سبک‌تر توصیه می‌شود. این مطالعه نشان داد که ریزوسفر گیاه تال فسکیو در رفع آلودگی ترکیبات نفتی بیشترین اثر را داشته است و به نظر می‌رسد که گیاه‌پالایی در خاک‌های با بافت ریزتر می‌تواند با جذب و تثبیت ترکیبات سمی در سطوح بالاتری از ترکیبات آلاینده گیاه را در خود رشد و توسعه دهد (مللی و همکاران ۱۳۹۰) وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک، می‌تواند سبب بروز سمیت برای انسان‌ها و سایر موجودات زنده شده و موجبات آلودگی آب‌های زیرزمینی را نیز فراهم آورد مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات اولیه به منظور انتخاب گیاه مناسب در روش گیاه‌پالایی جهت دست‌یابی به حداکثر کاهش غلظت این آلاینده‌ها در خاک، الزامی است. در این پژوهش، قابلیت جوانه‌زنی و رشد هفت گونه گیاهی مختلف در دو خاک آلوده به هیدروکربن‌های نفتی ناشی از رهاسازی ترکیبات و ضایعات نفتی پالایشگاه تهران به ترتیب تیمار(C_1 وC_2) در مقایسه با خاک غیر آلوده (تیمار C_o)، جهت شناسایی گیاهان با درصد جوانه‌زنی بالا، رشد و عملکرد مناسب‌تر، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر هر گیاه طی یک دوره ۱۴ روزه، چگونگی رشد با ثبت تغییرات ارتفاعی هر یک از گیاهان طی دوره ۸ هفته و نهایتاً عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای این دوره تعیین گردید. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از طرح آماری کرت های خرد شده در قالب طرح پایه‌ای کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک بر جوانه‌زنی بذر گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، اگروپایرون و شبدر بی‌اثر بود اما موجب تأخیر۲ و۳ روزه به ترتیب در تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_o در شروع جوانه‌زنی بذر گیاه کلزا و هم‌چنین تأخیر ۴ روزه و کاهش ۵۲ درصدی جوانه‌زنی بذر گیاه فسکیو و کاهش ۳۲ و ۵۶ درصدی جوانه‌زنی بذر گیاه پوکسنلیا به ترتیب برای تیمارهای C_1 و C_2 نسبت به تیمار C_o گردید. گیاهان شبدر و کلزا، نسبت به وجود این آلاینده‌ها در خاک پایداری کمتری داشته، خشک گردیده و در نتیجه فاقد عملکرد ماده خشک گیاهی در انتهای دوره آزمایشی بودند. میزان کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی برای گیاهان گلرنگ و آفتابگردان در تیمار C_2 بیشتر از تیمار C_1 بود ولی این کاهش رشد برای فسکیو و اگروپایرون، فقط در تیمار C_2 نسبت به تیمار C_o مشاهده شد و برای تیمار C_1 نسبتاً ناچیز بود. برای گیاه پوکسنلیا نیز اختلاف معنی‌داری مبنی بر کاهش رشد و عملکرد ماده خشک گیاهی در هیچ یک از سطوح آلودگی C_1 و C_2 دیده نشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که اگرچه وجود هیدروکربن‌های نفتی در خاک نتوانسته بر جوانه‌زنی بذر گیاهان آفتابگردان، گلرنگ، شبدر و کلزا اثر گذار باشد ولی این گیاهان فاقد رشد و عملکرد

مناسب بوده و لذا جهت استفاده در مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت منطقه مورد مطالعه قابل توجه نیستند. این در حالی‌است که گیاهان فسکیو، اگروپایرون و پوکسنلیا به‌سبب دوام و عملکرد ماده خشک گیاهی نسبتاً مناسب، جهت مطالعات بعدی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده منطقه پیشنهاد می‌گردند (بسالت پور و همکاران ۱۳۸۷).

ـ با توجه به اثرات زیست محیطی فلز سنگین سرب، روی و کادمیم به روش گیاه پالایی مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور از گیاهان آفتابگردان و سورگوم جهت گیاه پالایی در خاک های آلوده به سرب، روی و کادمیم در تیمارهایی با غلظت هایی به ترتیب ۹۰۰، ۹۳۰ و ۵ میلی گرم در کیلو گرم خاک استفاده شد. نتایج نشان داد هر دو گیاه آفتابگردان و سورگوم گیاهان مناسبی جهت استفاده بر پاک سازی خاک های آلوده به فلزات سرب، روی و کادمیم می باشند. غلظت سرب در آفتابگردان و سورگوم به ترتیب ۲۲۰ و ۱۹۰ میلی گرم در کیلوگرم بود. غلظت کادمیم در آفتابگردان و سورگوم به ترتیب ۱۳ و ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم بود. غلظت سرب در آفتابگردان و سورگوم به ترتیب ۱۳۵۰ و ۹۱۰ میلی گرم در کیلوگرم بود .(Lotfolahi et al).

یکی از جدیدترین راه کارهای پیشنهاد شده برای افزایش کارایی گیاه پالایی استفاده از روابط همزیستی میکروارگانیسم های مفید خاک زی با گیاهان است. قارچ اندوفایت Pirimospora indica دارای خاصیت شدید تحریک‌کنندگی رشد گیاه و افزایش مقاومت آن به تنش های محیطی از جمله شوری، خشکی، بیماری و آلودگی خاک می باشد. در این پژوهش توان قارچ اندوفایت P. indica در افزایش جذب روی (۱۵۰ میلی گرم در کیلو گرم)، سرب (۶۰۰ میلی گرم در کیلو گرم) و کادمیم (۶ میلی گرم در کیلو گرم) توسط دو گونه گیاه خاکشیر بررسی شد. همزیستی گیاه با قارچ اندوفایت باعث افزایش ۸۵، ۴۵ و ۷۸ درصدی جذب کادمیم، روی و سرب شد. به طور کلی نتایج نشان داد که می توان از گیاه خاکشیر تلخ به عنوان بیش انباشتگر کادمیم برای پاک سازی خاک های آلوده به این عنصر استفاده کرد و از گیاه خاکشیر شیرین برای پاک سازی مناطق آلوده به روی وسرب (مر آتی و همکاران ۱۳۹۲)

کادمیم و سرب از جمله مهمترین آلاینده های خاک می باشند. پاک سازی خاک و آب های آلوده به این عناصر از مهمترین سیاست های زیست محیطی کشورهای مختلف است. از روش های پاک سازی خاک و آب های آلوده استفاده از کانی های زئولیت و بنتونیت است. در ایران به دلیل وجود ذخایر عظیم کانی های زئولیت و بنتونیت امکان استفاده از آنها در تثبیت فلزات سنگین در خاک و تصفیه آب های آلوده میسر است. استفاده از کانی های زئولیت و بنتونیت در خاک های آلوده به سرب و کادمیم به غلظت ۷۵۰ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر باعث کاهش معنی دار حرکت و جذب این فلز در خاک و گیاه شد (. Hamidpour et al).

سازمان حفاظت محیط زیست امریکا برای حمایت از سلامت انسان و آثار غیرقابل پیش‌بینی آلاینده‌ها در خاک‌های کشاورزی و جنگلی و مکان‌های عمومی تماس روش‌های ارزیابی خطر را توسعه داد. سازمان حفاظت از محیط زیست امریکا در ۱۹ فوریه ۱۹۹۳ قوانین استفاده از پسماند را منتشر کرد و این قوانین بر

اساس نتایج ارزیابی خطر تدوین شدند. قوانین برای استفاده از پسماند در زمین‌های کشاورزی و غیرکشاورزی تدوین شده است(۱)

. در کانادا هر ایالت مسئول مسائل عمومی‌از جمله آلودگی خاک و مسائل مربوط پسماند ایالت خود می‌باشد و هر ایالت قانون خاص خود را در زمینه مقدار آلاینده دارد و در این خصوص دو ایالت Quebec و British Columbia نسبت به سایر ایالات فعال‌تر می‌باشند. در این کشور هر ایالت یک سری معیارها بر اساس نوع کاربری خاک داشته که این مقادیر برای کاربری‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. (۱)

ایالات بزرگتر، سیاست‌ها و رهنمودهای خاص خود را دارد که ممکن است منطبق با رهنمود ملی تدوین شده توسط انجمن وزرای محیط زیست کانادا (CCME[5]) باشد. CCME به عنوان یک ارگان مشترک بین همه ایالات کانادا، دستورالعمل‌هایی را تدوین نموده که در سراسر این کشور قابل کاربرد می‌باشند. لیکن رهنمودهای این انجمن گاهی توسط ایالات پذیرفته شده و اجرا می‌گردد، گاهی به شکلی دیگر تغییر یافته و گاهی مواقع نیز مورد بی‌توجهی قرار می‌گیرد، چرا که هر ایالت برای تدوین دستورالعمل‌ها، سیاست‌ها و اولویت‌های خود مستقل از سایر ایالات و دولت فدرال می‌باشد. (۱)

۱ـ۵ـ تعریف موضوع

طبق تعریف ارائه شده برای آلودگی خاک، ایجاد اثرات نامطلوب بر سلامت انسان، گیاهان، حیوانات و سایر موجودات و همچنین تغییر کیفیت خاک و منابع آب زیرزمینی می‌باشد. کلیه اقداماتی که برای پاک سازی خاک از مواد آلاینده انجام می شود را رفع آلودگی خاک می نامند. در این راستا روش های متعددی در دنیا به کار گرفته شده است که در ادامه به آن اشاره می شود.

براساس آمار، درصد کمی از فاضلاب‌های صنعتی و خانگی در کشور تصفیه شده و بخش عمده فاضلاب‌های خانگی و صنعتی کشور بدون تصفیه و به‌صورت خام وارد محیط‌زیست می‌شود که این روند، آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی را در پی دارد که نمونه بارز آن افزایش میزان نیترات در آب چاه‌هاست. یکی از موارد آلودگی خاک که خوشبختانه در کشور ما کمتر دیده می‌شود، باران‌های اسیدی است.

۱ـ۵ـ۱ـ نوع خاک

از نظر موضوع رفع آلودگی خاک، خاک به عنوان بخش طبیعی تشکیل دهنده محیط زیست نگریسته می شود. چهار نوع اصلی خاک وجود دارد: شنی، سیلتی (لای)، رسی و لومی. این که انواع خاک ها چگونه مخلوط می شوند بافت خاک آن را تعیین می کند. خاک شنی، در واقع ذرات کوچک سنگ فرسایش یافته است. شن نسبتاً درشت و سست است به طوری که آلودگی و آب حاوی آلاینده می تواند به راحتی از میان آن گذر کند و آلودگی خاک را از سطح به عمق ببرد. نوع دیگر خاک، سیلت است. سیلت را می توان به صورت شن نرم در نظر آورد. سیلت آب را بهتر از شن نگه می دارد. در نتیجه این دسته از خاک ها می توانند به عنوان کانون انتشار آلاینده های غباری شوند.خاک رس بسیار ریز دانه است. ذرات خاک رس حتی

5-Canadian Council of Ministers of the Environment

از سیلت کوچک ترند، بنابراین فضای بسیار کمی بین دانه های ریز آن برای گردش هوا یا آب وجود دارد. درنتیجه، آب خیلی خوب از خاک رس عبور نمی کند و یا فضا برای رشد ریشه های گیاهان فراهم نمی شود. این نوع خاک از نظر نگهداشت(عایق بندی لاگون ها و استخرهای ذخیره) بسیاری از آلاینده ها مورد استفاده قرار می گیرد.

خاک لومی ترکیبی از شن، سیلت و خاک رس است. خاک های لوم بسته به این که چه مقدار از هر نوع از ذرات خاک در آنها موجود باشد با هم متفاوتند. به طور کلی خاک لوم خاک دلخواه باغبان ها است. خاک لوم نوعی خاک است که رطوبت را در خود نگه می دارد و همچنین برای زهکشی خوب است. این خاک در صورت داشتن رس بیشتر می تواند برای جمع آوری برخی از آلاینده استفاده شود.خاک های شنی سبک گرما را بهتراز خاک های رسی سنگین انتقال می دهند. در اراضی که خاک هوموسی و شنی و اصولا بافت سبک دارند خطر آبشویی آلاینده ها بسیار بالا است.خاک های سنگین با رنگ سیاه نسبت به خاک های سبک با رنگ روشن تر مشخص می شوند.

جدول۱-۱- طبقه بندی و اهمیت خاک ها بر اساس حساسیت نسبت به آلاینده‌ها

طبقه	توضیحات
۱	اراضی حاصلخیز بعضاً با سطح سفره آب زیرزمینی بالا، استراتژیک و بسیار حساس در برابر تغییرات خارجی
۲	اراضی مشکوک از نظر خصوصیات و مدیریت آلاینده‌ها
۳	اراضی بایر و غیرقابل استفاده و در برخی موارد مناسب برای دفع آلاینده‌ها با مدیریت‌های ویژه

۱ـ۵ـ۲ـ اقلیم ایران

ایران در منطقه‌ی معتدله‌ی خشک شمالی و در عرض متوسط روی کره زمین در ناحیه‌ی جنب استوایی و استوایی قرار دارد. همین موقعیت جغرافیایی و دوری از دریاهای بزرگ، به ویژه جریانات هوایی موجب شده است تا آب و هوای ایران خشک باشد، اما به دلیل وسعت زیاد و وجود عوارض گوناگون طبیعی از قبیل ارتفاعات بلند در شمال و غرب و پستی‌های وسیع، همچون دشت‌های مرکزی در داخل فلات، و از طرف دیگر به دلیل در مجاورت بودن دریای مازندران، خلیج فارس و اقیانوس هند(که هریک از این‌ها، اقلیمی جداگانه می‌سازند)، باعث شده ایران از اقلیم‌های مختلف و آب و هوای متنوع برخوردار باشد(۲و۶و۷).

۱ـ۵ـ۲ـ۱ـ طبقه بندی اقلیمی ایران

ارتفاع کوه‌های ایران به قدری بلند است که از تأثیر بادهای مرطوب دریای مازندران، دریای مدیترانه و خلیج فارس به نواحی داخلی ایران جلوگیری می‌کند. به همین دلیل، دامنه‌های خارجی این کوه‌ها دارای آب و هوای مرطوب بوده و دامنه‌های داخلی آن خشک است. در کرانه‌های جنوبی دریای مازندران، آب و هوا معتدل و میزان بارندگی آن به ویژه در سواحل غربی گیلان بیشتر از دیگر نقاط است. آب و هوای قسمت غربی کشور مدیترانه‌ای است و در نواحی جنوبی آن، آب و هوای نیمه صحرایی گرم نیز بر آن تأثیر

می‌گذارد. در این نواحی، تابستان‌ها با گرمای سختی در دره‌ها و هوای معتدل در ارتفاعات همراه بوده و در زمستان‌ها هوای معتدل در دره‌ها و سرمای سخت در ارتفاعات حکمفرماست. در نواحی جنوبی، با وجود هوای مرطوبی که در سرتاسر این منطقه حاکم است، میزان حرارت بالاست، به طوری که حداکثر گرما در خوزستان به ۵۴ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. از ویژگی‌های این ناحیه تابستان‌های گرم و زمستان‌های معتدل است و اختلاف درجه حرارت در فصول مختلف و شب و روز زیاد نیست. به دلیل وجود کوه‌های البرز در شمال و رشته کوه‌های زاگرس در غرب کشور، نواحی داخلی فلات ایران دارای آب و هوای خشک و بیابانی است.

از پنج اقلیم کوپن (جدول ۱-۲) آب و هوای نوع A که مخصوص مناطق گرمسیری است در ایران وجود ندارد، ولی سایر اقلیم‌ها از سایر اقلیم‌ها کم و بیش ناحیه‌هایی که بعضی بسیار وسیع و بعضی کوچک و محدود است در ایران دیده می‌شود.

جدول ۱-۲- پنج گروه اقلیمی کوپن

اقلیم	شرح
A	حاره‌ای
B	خشک
C	معتدل گرم
D	جنگلی سرد برفی
E	قطبی

با توجه به مطالب بالا، سه نوع آب و هوا به طور کلی در ایران دیده می‌شود.(۱)

الف) آب و هوای بیابانی و نیمه بیابانی: بخش های وسیعی از سرزمین های داخلی و کناره‌های جنوبی ایران دارای این نوع آب و هواست. از ویژگی های این نوع آب و هوا وجود دوره گرمای خشک و طولانی است که گاه بیش از هفت ماه از سال را در بر می‌گیرد. میزان بارش سالیانه در این نواحی بین ۳۰-۲۵ میلی متر متغیر است.(۱)

ب) آب و هوای کوهستانی: که خود به دو نوع آب و هوای سرد کوهستانی و آب و هوای معتدل کوهستانی تقسیم می‌شود:

آب و هوای سردکوهستانی: که حدود ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع از خاک ایران را به خود اختصاص می‌دهد. میزان بارش سالیانه در این نواحی بیش از ۵۰۰ میلی متر است.

آب و هوای معتدل کوهستانی: که حدود ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع از خاک ایران را به خود اختصاص داده و میزان بارش سالیانه آن از ۲۵۰ میلی متر تا ۶۰۰ میلی متر متغیر است.

ج) آب و هوای خزری: که ناحیه باریک و کم وسعتی است میان دریای خزر و رشته کوه البرز، با میزان بارش سالیانه بین ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی متر.

تنوع اقلیم‌های ایران معلول عوامل متداخلی است که از مهمترین آنها، گسترش عرض جغرافیایی، امتداد کوهستان‌ها و تغییرات فاحش ارتفاعات در گستره پهناور کشور و بالاخره موقعیت سرزمین نسبت به دریاها و گستره های آبی مجاور و دور را می توان نام برد. در یک تقسیم‌بندی دیگر، ایران را به ۸ استان اقلیمی (جدول ۱-۳) تقسیم بندی می‌شود.

جدول ۱ـ۳ـ استان‌های اقلیمی ایران

اقلیم	تابستان	زمستان
۱	معتدل	شدیداً سرد
۲	معتدل نیمه گرم و خشک	سرد نسبتا سرد
۳	مرطوب گرم و مرطوب	بسیار سرد و خشک
۴	گرم و مرطوب	بسیار سرد سرد
۵	نیمه گرم وخشک گرم ومرطوب	نسبتا سرد سرد
۶	نیمه گرم بسیار گرم وخشک	نسبتا سرد و خشک
۷	نسبتا گرم ومرطوب نسبتا گرم وخشک	خنک
۸	بسیار گرم ومرطوب	خنک مناسب

آلودگی محیط زیست حدومرزی نمی‌شناسد و اگر در نقطه‌ای به وجود آید به سایر نقاط نیز گسترش خواهد یافت محیط شناسان مسئله آلودگی محیط زیست را به عنوان اصلی ترین مسئله ای که حیات و آینده بشری را تهدید می کند مطرح کرده و این مشکل را عمده ترین معضل عصر جدید قلمداد می کنند. فرآیندهای صنعتی شدن و شهر نشینی در طی چند دهه گذشته آلودگی محیط زیست را به وسیله گستره ای از مواد شیمیایی در پی داشته و سلامت انسان و موجودات زنده را با خطر مواجه ساخته است(۲۲و۱)

۱ـ۵ـ۳ـ آلودگی خاک

پس از آب و هوا، خاک سومین جزء عمده محیط زیست است. آلودگی خاک معمولاً در نتیجه عادات غیربهداشتی، فعالیت های صنعتی و کشاورزی و روش های نادرست دفع مواد زائد، جامد، مایع و نزولات جوی می‌باشد.

خاک به عنوان یکی از اجزاء اصلی محیط زیست در توسعه پایدار دارای اهمیت ویژه است. حفظ کیفیت خاک و جلوگیری از آلودگی آن به منظور توسعه پایدار در سیاست های یک کشور باید دارای اهمیت باشد اما بر خلاف آب و هوا، آلودگی خاک به دلیل پیچیدگی و زیاد در ترکیب خاک، با توجه به ترکیب شیمیایی به آسانی قابل اندازه گیری نیست(۲۶و۱)

متاسفانه در سال های زیاد به دلیل عدم توجه به موضوع خاک در کشور خاک های کشور در مناطق مختلف تحت تخریب و آلودگی زیادی قرار داشته اند. تدوین اصول ، مقررات و قوانین اساسی در مورد نحوه

استفاده صحیح از خاک می تواند قدمی بلند در جلوگیری از تخریب هر چه بیشتر خاک در کشور و نیز بهبود شرایط خاک های کشور که در مراحل مختلف تخریب می باشند، باشد.

آلاینده ها از راه های مختلفی تولید و وارد طبیعت می شوند. لذا بر این اساس تقسیم بندی های مختلفی وجود دارد. در یک تقسیم بندی برای آلاینده ها می توان بر اساس منبع و منشاء ایجاد به دو دسته آلاینده هایی طبیعی که در ساختار کانی های خاک وجود دارند و آلاینده هایی صنعتی که منشاء انسانی دارند تقسیم نمود.

در تقسیم بندی دیگر می توان منابع آلایند ها را به دو دسته نقطه‌ای و غیر نقطه ای تقسیم نمود که تفاوت آنها تنها در گسترش مکانی و نیر منشاء تولید آنها می باشد. آلودگی نقطه ای در یک نقطه متمرکز بوده و معمولاً غلظت آلاینده ها در آن نقطه بالاست و ممکن است بسیار سمی باشد. آلایند های نقطه ای ممکن است منشاء بسیار متتفاوتی را از جمله منشاء طبیعی و یا منشاء انسانی را شامل شوند. از گذشته دور این نوع آلاینده‌ها به دلیل مشهود بود اثرشان بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند. آلاینده ای غیر نقطه ای منشاء مشخصی ندارند در بیشتر موارد متأثر از فعالیت های انسانی هستند و به طور مستقیم و یا غیر مستقیم از به کارگیری تکنولوژی توسط بشر حاصل می شوند. این نوع آلاینده ها دارای غلظت کمتر و دامنه انشتار وسیع تر هستند.

آلاینده های غیرنقطه ای یک مشکل جهانی هستند زیرا به سادگی قادر به کنترل کردن این آلودگی ها به وسیله حدو و مرزهای بین کشور نمی باشیم. در حال حاضر منابع آلاینده های غیر نقطه ای به عنوان مهمترین عوامل آلوده کننده آب و خاک در مقیاس جهانی به شمار می روند و کشاورزی و حمل و نقل بیشترین سهم را در ایجاد آلاینده ها دارند(۲۶). ولی به طور کلی در این طرح آلاینده ها را به دو دسته کلی غیرآلی (معدنی) و آلی تقسیم بندی شده است. که در بخش اول آلاینده های غیرآلی مورد بررسی قرار می گیرد و در بخش بعدی آلاینده های آلی توضیح داده شده است.

۱ـ۵ـ۳ـ۱ـ آلاینده‌های معدنی خاک

مهمترین آلاینده های معدنی خاک فلزات سنگین می باشند که تحت تاثیر فرایندهای مختلف وارد خاک می شوند. اصطلاح فلزات سنگین به طور کلی عناصر (فلزات و شبه فلزات) با چگالی اتمی بیش از ۵ گرم در سانتی‌متر مکعب را در بر می‌گیرد. طبق مطالعات انجام شده توسط میلر (۱۹۹۶)، دو گروه اصلی از عناصر سنگین اهمیت ویژه‌ای برای سلامتی و بهداشت انسان دارند، گروه اول عناصری هستند که برای جانداران حیاتی به شمار می‌روند که این عناصر شامل آهن، منگنز، نیکل، کبالت، کروم، مس، وانادیم، مولیبدن، سلنیوم، ید و فلورین می‌باشند. گروه دوم عناصری هستند که حتی مقادیر بسیار کم آنها نیز اثرات فیزیولوژیک زیان‌آوری دارند، این گروه شامل آرسنیک، کادمیم، سرب، جیوه و بعضی از محصولات گروه اورانیوم می‌باشند.

در میان این عناصر آنهایی که بیشترین نگرانی را در ارتباط با سمیت اکولوژیکی و سلامتی انسان ایجاد نموده‌اند شامل سرب، جیوه، کادمیم، اورانیوم و شبه فلز آرسنیک می‌باشند. ورود عناصر سنگین به خاک می‌تواند از طریق منابع متعددی صورت گیرد. آزادسازی فلزات سنگین از مواد مادری در طی فرآیندهای هوادیدگی یکی از راه‌های حضور فلزات سنگین در خاک می‌باشد. اما زمانی بحث آلودگی خاک با این عناصر مطرح می‌گردد بایستی به منابعی که با فعالیت‌های بشری مرتبط هستند، توجه بیشتری نمود. لجن فاضلاب منبع اصلی ورود فلزات به خاک، در اروپا و آمریکای شمالی است، در حالی که کودهای فسفاته منبع اصلی مورد توجه برای ورود فلزات به ویژه کادمیم در استرالیا و نیوزلند و حتی ایران است. بهره‌برداری از معادن و صنایع فلزی نیز از دیگر منابع فلزات سنگین در خاک می‌باشند(۲۶).

بعضی از مهم ترین منابعی که منجر به ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک می شوند را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

آلودگی اتمسفری از وسایل موتوری: استفاده از سوخت های دارای سرب در این وسایل باعث توزیع و پخشیدگی سرب (Pb) در هوای خاک می شود.

احتراق سوخت های فسیلی: این مسئله باعث پخشیدگی وسیع بسیاری از عناصر در هوا می شود. رهاسازی خاکستر حاصله در سطح خاک نیز منبع آلودگی مضاعفی محسوب می شود.

کودهای شیمیایی و حشره کش ها: بسیاری از کودهای شیمیایی و سموم از جمله کودهای فسفره، زواید کارخانه های آهن، حشره کش ها و علف کش ها دارای ترکیبات متفاوتی از فلزات سنگین، خواه به صورت ناخالصی، خواه به عنوان جزء اصلی و فعال می باشند.

کودهای آلی: شامل انواع کودهای حیوانی که ممکن است دارای غلظت های بالایی از Cu یا As باشند. لجن های فاضلاب و کمپوست زباله نیز جزء کودهای آلی هستند و معمولاً دارای غلظت های نسبتاً بالایی از تعدادی فلزات سنگین می باشند، غلظت این فلزات بویژه در لجن های فاضلاب صنعتی بیشتر است.

رهاسازی زباله های شهری و صنعتی در سطح خاک و سوزاندن آن ها نیز می تواند از دیگر منابع آلاینده خاک به فلزات سنگین باشد، به این صورت که سوزاندن مواد حاوی فلزات سنگین که ممکن است در زباله ها موجود باشند باعث متصاعد شدن ذراتی در هوا می شود و رسوب این ذرات معلق در هوا، در سطح خاک آلودگی خاک به این فلزات را ایجاد می نماید. بی احتیاطی در دفن (یا در سطح خاک رها کردن) موادی که حاوی فلزات هستند، از باطری های خشک کوچک (حاوی Hg, Cd, Ni) گرفته تا اتومبیل های فرسوده رها شده و قطعات آن ها (از جمله باطری های اسید - Pb)، می توانند آلودگی شدید فلزات سنگین را باعث شوند.

صنایع استخراج و ذوب فلزات به طرق مختلف می توانند باعث آلودگی خاک گردند:

الف) با متصاعد کردن بخارات و ذرات گرد و غبار حاوی فلزات به هوا، این ذرات متعاقباً روی سطح خاک و پوشش گیاهی رسوب می کنند

ب) جاری شدن فاضلاب های خروجی روی سطح خاک یا ورود آن ها به رودخانه ها

ج) از طریق ایجاد گودال های دفن زباله های کارخانه، فلزات ممکن است از انتهای این گودال ها شسته شوده و موجب آلودگی خاک های زیرین و اطراف را فراهم آورند(۲۶).

۱ـ۵ـ۳ـ۲ـ آلاینده‌های آلی خاک

یکی از گروه های بزرگ آلاینده ها که با ورود به بافت خاک و اکوسیستم های آبی، تاثیرات نا بهنجار بسیاری را بر روی زیست بوم‌ها، کلیه موجودات از جمله انسان بجا می گذارد. آلاینده های آلی کم مقدار(Trace Organic Pollutants) می باشد.

درکنار دیگر آلاینده ها، عناصرکم مقدار (فلزات سنگین، ترکیبات آلی فلزی)، عناصررادیواکتیو، آلاینده های معدنی(آزبست، موادمغذی، به مانند نیترات، نیتریت، آمونیوم، فسفات، سیلیس) باعث تغییرات نابهنجار در پارامترهای فیزیکی وشیمیایی (مانند اسیدیته، قلیائیت، شوری) و ویژگی های فیزیکی خاک شده و از تهدید کننده های بزرگ سلامت محیط زیست به ویژه محیط زیست خاک به شمار می آیند.

آلاینده های آلی کم مقدار، شمار بزرگی از آلاینده های گوناگون را در بر می گیرد و بسیاری از آلاینده های آلی که دراین گروه قرارمی گیرند، درشمار آلاینده های آلی پایدار[۶] (POPs) می باشند و زمان بسیاری را دراکوسیستم های خاک به تخریب وتهدید زیست بوم می پردازند. آفت‌کش‌ها(به ویژه آفت‌کش‌های کلره) ونیز پلی کلرید بی فنیل ها درکناربخشی از هیدروکربون های نفتی درشمارمواد آلی پایدار قرار گرفته و اثرات زیانبار زیست محیطی بسیاری را برجای می گذارند(۵۶).

۱ـ۵ـ۳ـ۲ـ۱ـ آلاینده‌های آلی پایدار(POPs)

ترکیبات آلی پایدار از سموم بسیار خطرناک می باشد و در چند دهه گذشته باعث نگرانی های جدی در زمینه اثرات نامطلوب سلامت و محیط زیست شده است. با توجه به اثرات نامطلوب ترکیبات یاد شده بخش حفاظت محیط زیست سازمان ملل متحد تلاش های سازمان یافته ای را با همکاری کشورهای عضو در قالب یک سلسله برنامه های مدون (کنواسیون POP_s) برای کنترل آنها ارائه نمودند(۴۵و۶۰)

ایران یکی از امضاء کنندگان کنواسیون یاد شده در سال ۲۰۰۱ بوده و همانند سایر کشورها متعهد به شناسایی، ارزشیابی و کنترل آلاینده های POPs می باشد.

آلاینده‌های آلی پایدار ترکیباتی هستند که دارای خاصیت سمی پایدار بوده وخاصیت تجمعی دربافت های زنده واستعداد ذخیره وانتقال درازمدت را دارند. همچنین دارای حلالیت کم درآب وحلالیت بالا دربرخی ازحلال های آلی مانند چربی‌ها بوده و می توانند باعث بروز اثرات زیانبار برمحیط زیست وسلامت بشر در محل های دور یا نزدیک از این منابع شوند. (۵۹و۴۳)

6- Persistent Organic Pollutants

این مواد، نیمه عمر زیست محیطی طولانی دارند. بنابراین رها سازی متوالی آنها در طول زمان منجر به ذخیره دائم وحضورآنها در همه جای محیط زیست جهانی می شود.

گروه های اصلی این آلاینده ها را می توان چنین دسته بندی کرد:

-آفت کش های کلرینه(pestisides)حشره کش ها ، قارچ کش ها،علف کش هاو....

- پلی کلریدبی فنیل ها (PCBs)

-هیدروکربورهای نفتی (PHCS)(بویژه هیدروکربورهای آروماتیک پلی سیکلیک)

- ترکیبات آلی سمی پایدار (PTCs)

از معروفترین آلاینده های آلی پایدار می توان به آفت کش های کلره ی آلدرین، دی آلدرین، ددت، دیوکسین، آندرین، نورانز، هپتاکلر، هگزاکلروبنزن، توکسافن، پلی کلرید بی فنیل ها(PCBs)، هیدروکربورهای نفتی (PHCS) (بویژه هیدروکربورهای آروماتیک پلی سیکلیک) اشاره نمود.

لازم به توضیح است که کنوانسیون POPs در استکهلم سوئد، یک توافق بین المللی قانونی در خصوص آلاینده های آلی پایدار (POPs) می باشد و انگیزه پیدایش آن از اجلاس زمین در سال ۱۹۹۲ آغاز گردید. در ۱۹۹۵ شورای حکام برنامه محیط زیست سازمان ملل(UNEP) برای عملکرد جهانی راجع به POPs که به عنوان مواد شیمیایی پایدار در محیط زیست ، تجمع پذیر در زنجیره غذایی و دارای اثرات مضر بر سلامتی انسان و محیط زیست تعریف می شوند، فراخوانی را اعلام نمود. در پی این فراخوان، نشست بین الدولی راجع به ایمنی مواد شیمیایی(IFCs) وبرنامه بین المللی برای ایمنی مواد شیمیایی (IPCs) با حضور۱۱۶ کشور جهان در سال ۲۰۰۱ میلادی برگزار گردید و در پی آن یک برنامه ارزیابی متشکل از ۱۲ ماده خطرناک که به عنوان دوجین کثیف(Dozen Dirty) معروف شدند تدارک دیده شد. که از این میان استفاده از هشت ماده هپتا کلورین، آلدرین، دآلدرین، کلوردان، ایندرین، هگزا کلوروبنزین، مایرکس و توکسافن به دلیل خطرات شدید برای محیط زیست به موجب این کنوانسیون بایستی بی‌درنگ متوقف شود(۱).

۱ـ۵ـ۴ـ بودجه

یکی از جنبه‌های مهم در موضوع رفع آلودگی خاک تأمین بودجه برای پاک سازی، اصلاح و احیا خاک می باشد در ماده ۴۵ قانون وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین مصوب ۱۳۷۳/۱۲/۲۸ مجلس شورای اسلامی (با آخرین اصلاحات)به موضوع آلودگی اشاره شده است و تا کنون دست اندر کاران بودجه ریزی سازمان حفاظت محیط زیست و دولت به دقت و حساسیت ویژه به آن نپرداختنه اند. در این قانون در تبصره به صورت اجمالی به آن اشاره شده است: متن تبصره **"د"**به شرح زیر است.

د - به منظور فراهم نمودن امکانات و تجهیزات لازم جهت پیشگیری و جلوگیری از آلودگی ناشی از صنایع آلوده‌کننده، کارخانه‌ها و کارگاه‌ها وموظفند یک در هزار از فروش تولیدات خود را با تشخیص و تحت

نظر سازمان حفاظت محیط زیست صرف کنترل آلودگی‌ها و جبران زیان ناشی ازآلودگی‌ها و ایجاد فضای سبز نمایند وجوه هزینه شده از این محل جزو هزینه‌های قابل قبول مؤسسه مربوط محاسبه خواهد شد.

در این تبصره اولویت نخست کنترل آلودگی است و اولویت بعدی جبران خسارت است که می توان به موضوع هزینه ناشی از رفع آلودگی را در آن پیش بینی و پس از تایید شورای عالی محیط زیست به تصویب هیات دولت و مجلس شورای اسلامی رساند. این قانون می تواند به عنوان ابزار قوی برای کنترل و رفع آلودگی خاک در دست سازمان محیط زیست قرار گیرد.

۱ـ۵ـ۵ـ نوع کاربری

کاربری های خاک برای تخلیه پسماندها به طور کلی به دو گروه کاربری کشاورزی و غیرکشاورزی تقسیم شده است. بنابراین تقسیم‌بندی کاربری خاک‌ها در این طرح به صورت زیر می‌باشد:

- ✓ زمین های کشاورزی (کاربری کشاورزی)
- ✓ زمین های جنگلی (کاربری غیرکشاورزی)
- ✓ زمین های قابل احیا (کاربری غیرکشاورزی)
- ✓ مکان های عمومی تماس (کاربری غیرکشاورزی)
- ✓ صنعتی (کاربری غیرکشاورزی)

۱ـ۵ـ۶ـ وسعت آلودگی

آلاینده هایی که از طرق مختلف تولید شده و از راه های مختلفی نیز وارد اکوسیستم خاک می شوند، دارای سرنوشت مختلفی نیز در خاک می باشند زیرا ویژگی های هر کدام از آنها با یکدیگر متفاوت است و این باعث شده که هر کدام از آنها در خاک به مسیرهای مختلفی انتشار یابند. لذا می توان از این معیار نیز آلاینده های خاک را تقسیم بندی نمود.

بر این اساس آلاینده ها به ۲ گروه تقسیم می شوند:

- ✓ آلاینده های شعاعی
- ✓ آلاینده های عمقی

آلاینده های شعاعی به آلاینده هایی گفته می شوند که به علت خصوصیات خاص خود از جمله حلالیت کم، فراریت بالا، دمای تبخیر کم، نیمه عمر کم، جرم حجمی کم و ....در جهت عمق خاک حرکت نمی کنند و در اثر عوامل گوناگون مثل فرسایش آبی و بادی در سطح(شعاع) جابجا می شوند و یا در اثر نور خورشید تجزیه و با تبخیر خواهند شد و در عمق خاک فرونشست نخواهند کرد.(مثل:آلاینده های نفتی)

آلاینده های عمقی نیز به آلاینده هایی اطلاق می شوند که به علت ویژگی های خاص خود از جمله حلالیت زیاد، فراریت کم، نیمه عمر زیاد، فراریت کم،.... همراه با آب موجود در خاک به سمت عمق خاک حرکت کرده و انتشار عمقی در خاک می یابند. علاوه بر خصوصیات آلاینده، ویژگی های خاک نیز در این نوع انتشار تاثیر زیادی خواهد داشت از آنجا که هر چه بافت خاک شنی بوده و دارای pH اسیدی و درصد

کلسیم کم، تبادل کاتیونی کم و نفوذ عمقی تر آب باشد، انتشار عمقی آلاینده افزیش خواهد یافت. به علت وجود آهک در خاک های ایران و رسوب آلاینده با کلسیم موجود در آن، میزان انتشار عمقی در خاک های آن کم است. (مثل:فلزات سنگین) (۵)

۱ـ۵ـ۷ـ تقسیم بندی آلاینده های خاک براساس اثرگذری(سمیت)

آلاینده های خاک رامی توان بر اساس میزان سمیت آنها برای انسان نیز تقسیم بندی نمود. که میزان سمیت آلاینده ها بر اساس حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند، تعیین می گردد که بر اساس آن می توان آلاینده ها را به ۳ گروه تقسیم بندی نمود.:

- ✓ آلاینده های با سمیت زیاد
- ✓ آلاینده های با سمیت متوسط
- ✓ آلاینده های با سمیت کم

بدیهی است که هر چه میزان حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند بالاتر باشد، سمیت آلاینده مربوطه برای انسان کمتر بوده و جزء دسته آلاینده های با سمیت کم می باشد و بر عکس هر چه میزان حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند، پایین تر باشد، سمیت آلاینده مربوطه برای انسان بیشتر است و آن آلاینده جزء دسته آلاینده های با سمیت زیاد قرار خواهد گرفت.

فصل دوم

پاک سازی خاک

قوانین و مقررات

۲ـ۱ـ مقدمه

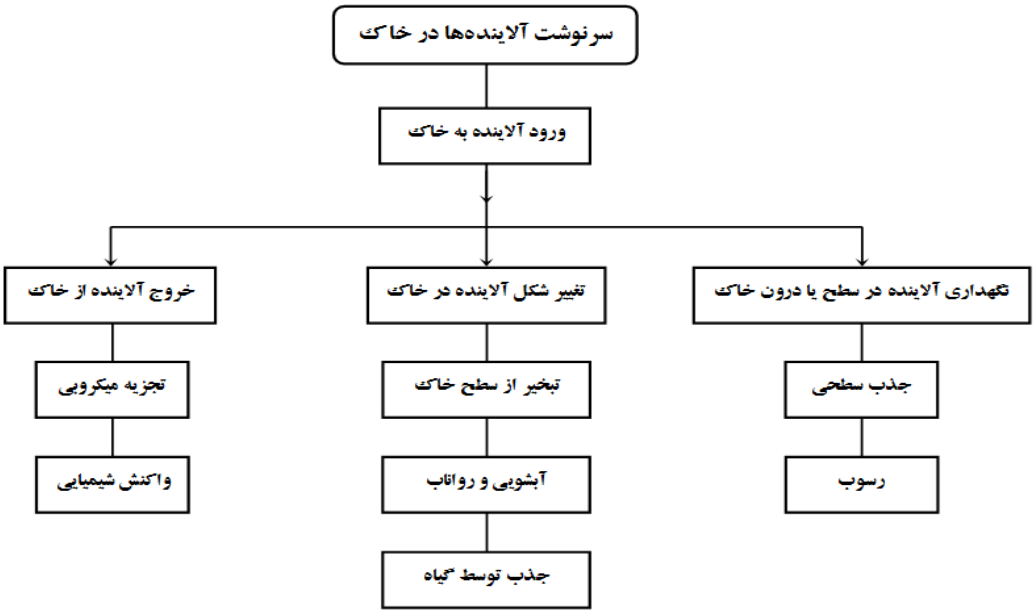
رفتار و بر هم‌کنش‌های آلاینده ها با خاک شامل فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که در سه جزء خاک (جامد، مایع و گاز) رخ می‌دهند. فرایندها شامل سه گروه اصلی هستند که عبارتند از:

- ✓ نگهداری آلاینده در سطح یا درون خاک
- ✓ خروج آلاینده از خاک
- ✓ تغییر شکل آلاینده در خاک

دو گروه اول عمدتاً شامل فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی هستند که به واسطه آنها آلاینده‌ها در خاک پخش و توزیع می‌شوند و گروه سوم تنها شامل فرایندهای فیزیکی است که به وسیله آن آلاینده‌ها در خاک تغییر شکل داده و ذخیره می‌شوند. شکل۲-۱ شمای کلی از هر سه گروه فرآیندها را نشان می‌دهد.

فرایندهای فیزیکی برهم‌کنش آلاینده و خاک شامل انتقال و نگهداری آلاینده در خاک عمدتاً به پارامترهای فیزیکی خاک (دما، اندازه ذرات، بارالکتریکی و...) وابسته هستند در حالی که فرایندهای شیمیایی و زیستی اکثراً به نوع وطبیعت شیمیایی آلاینده‌ها و شرایط زیستی خاک مربوط است.

بعنوان مثال برای کنترل بیولوژیکی آلودگی خاک، شامل همه فرآیندهای تغییر و تبدیل بیولوژیک بوده که هریک به اکولوژی میکروبی، عمق، و دسترسی به اکسیژن در محل آلودگی بستگی دارد.



شکل۲ـ۱ـ سرنوشت آلاینده ها در خاک

۲ـ۲ـ تعاریف و مفاهیم

ـ آلودگی خاک:

به معنی وجود مواد آلاینده در خاک به میزانی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر انسان و سایر موجودات زنده شده و یا هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی در خاک به طوری که خاصیت اصلی آن را تغییر

دهد، اطلاق می‌گردد. آلودگی خاک موجب می‌شود حیات انسان و گیاه ودیگر موجودات و حتی ماندگاری تأسیسات و ابنیه تحت الشعاع قرار گیرد.

-آلاینده

وجود یک ماده در جایی غیر از محیط طبیعی خود و یا در غلظتی بیش از غلظت استاندارد به نحوی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر موجودات زنده و یا کاهش کیفیت محیط شود. در مسئله آلودگی خاک آلاینده‌هایی با خواص زیر مد نظر می‌باشند:

- دارای خواص سمی بوده (مثل برخی فلزات سنگین، PCBs، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای)
- دارای پتانسیل تحرک در خاک و آسیب به کیفیت آب های زیرزمینی باشند (مثل منوکلروآمین ها، آمین ها و برخی نمک ها)
- دارای اثرات نامطلوب بر خواص خاک باشند (مثل نمک های سدیم، مقادیر زیادی از هیدروکربن های دارای سمیت پایین و سولفور)

- پایش خاک:

به معنی حفاظت از خاک در قبال تخلیه آلاینده‌ها به سطح آن می‌باشد البته در شرایطی که نحوه بهره برداری از خاک مناسب بوده و یا کنترل‌های مهندسی در سایت‌های تخلیه آلاینده‌ها انجام گیرد سطح آلودگی خاک حداقل می‌باشد.

مهمترین موضوع در پایش خاک، جلوگیری و یا کاهش تخلیه آلاینده‌ها با توجه به پتانسیل خطر آنها برای ایجاد اثرات سوء بر خاک، هوا، آب و یا ارگانیسم‌هایی است که در تماس با خاک می‌باشند.

تقسیم بندی مقادیر آلاینده‌ها در خاک

مقدار یک ماده آلاینده در خاک در سه سطح قابل تقسیم بندی می‌باشد که این مقادیر متناسب با تغییرات غلظت یک آلاینده در خاک نیز می‌باشند:

مقدار استاندارد (**Standard value**)

مقدار هشدار(**Trigger value**)

مقدار پاک سازی (**Cleanup value**)

ـ مقادیر استاندارد آلاینده‌ها در خاک

مقدار استاندارد یک آلاینده مشخص در خاک، غلظتی از آن آلاینده می باشد که هیچ اثر سوئی بر سلامتی انسان، محیط زیست و موجودات زنده نداشته باشد و همچنین باعث تغییر کیفیت خاک نگردد. این تعریف معادل تعریف مقادیر پژوهشی ارائه شده از سوی برخی کشورها است. در صورتی که غلظت یک آلاینده در خاک کمتر از مقدار استاندارد تعیین شده برای آن باشد، نیاز به انجام هیچ عملیات خاصی در منطقه نمی‌باشد.

ـ مقادیر هشدار آلاینده‌ها در خاک

مقادیر هشدار یک نوع آلاینده در خاک، به آستانه غلظتی از آن آلاینده گفته می شود که در طولانی مدت اثرات غیر قابل قبولی بر سلامتی انسان یا محیط زیست داشته باشد.

با توجه به این که در غلظت‌های هشدار احتمال وجود خطر برای سلامت انسان و یا محیط زیست زیاد می‌باشد، انجام بررسی‌ها و تحقیقات بیشتر و دقیق‌تر برای اطمینان از وقوع این خطرات الزامی می‌باشد. در این غلظت‌ها نیاز به انجام عملیات پاک سازی در منطقه نیست ولی می‌بایست از ورود آلودگی بیشتر جلوگیری نمود.

ـ مقادیر پاک سازی آلاینده‌ها در خاک

در صورتی که غلظت آلاینده در خاک به میزانی باشد که در کوتاه مدت منجر به ایجاد خطرات غیر قابل قبول برای سلامت انسان، محیط زیست و سایر موجودات زنده گردد، انجام عملیات پاک سازی به منظور کاهش غلظت آلودگی در خاک الزامی می‌باشد. استانداردهای پاک سازی کشور نیز تدوین شده است و در این طرح استفاده شده اند.

- هزینه های اجتماعی(۵۶)

مبنای تصمیم گیری های اقتصادی کلاسیک عمدتاً مقایسه هزینه ها در مقابل منافع است. اقتصادی بودن یک فعالیت تا آنجاست که منافع آن از هزینه های آن بیشتر باشد و هنگامی که هزینه های یک فعالیت از منافع آن کمتر شود، فعالیت اقتصادی نیز متوقف خواهد شد. در اقتصاد هزینه هایی که در انجام یک فعالیت به دیگران تحمیل شده و معمولاً توسط مجری فعالیت در نظر گرفته نمی شود، هزینه های اجتماعی گفته می شود و در مقابل هزینه های خصوصی قرار می گیرد.

- پیامدهای خارجی

هزینه های اجتماعی به دلیل وجود پیامدهای خارجی منفی است که در فعالیت های اقتصادی وجود دارد. پیامدهای خارجی همان اثرات بیرونی هستند که یک فعالیت اقتصادی بر دیگران (جامعه ای که فعالیت در آن انجام می شود) تحمیل می کند و از یک فعالیت به فعالیت دیگر متفاوت است.

- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک

خاک یک سیستم سه فازی است که از فاز جامد و دو فاز مایع و گاز تشکیل شده است. عناصر سنگین مطابق شرایط فیزیکی و شکل‌های شیمیایی یا ترکیباتشان ممکن است در هریک از این سه فاز وجود داشته باشند. برهم‌کنش عناصر و آلاینده های آلی با فاز جامد از فاز مایع جدا اتفاق نمی‌افتد. فرایندهای طبیعی تعادلی را بین فازهای جامد، مایع و گاز در خاک ایجاد نموده و ترکیب فاز مایع را کنترل می کنند. ترکیب شیمیایی فاز مایع خاک (محلول خاک) در یک زمان مشخص، محصول نهایی همه واکنش هایی است که در حضور آب مایع در خاک صورت گرفته‌اند.

- سرنوشت آلاینده ها

نوع خاک، میکرو اقلیم ، نوع آلاینده، مقدار آلودگی و کاربری می تواند بر سرنوشت، رفتار و فعل و انفعالات آلاینده ها با خاک و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در سه جزء خاک (جامد، مایع و گاز) موثر باشد. فرآیندها شامل سه گروه اصلی زیر هستند :

ـ نگهداری آلاینده در سطح یا درون خاک

ـ خروج آلاینده از خاک

ـ تغییر شکل آلاینده در خاک

دو گروه اول عمدتاً شامل پروسه‌های فیزیکی هستند که به واسطه آنها آلاینده‌ها در خاک پخش و توزیع می‌شوند و گروه سوم تنها شامل پروسه‌های شیمیایی و بیولوژیکی است که به وسیله آن آلاینده‌ها در خاک تغییر شکل و ذخیره می‌شوند. پروسه‌های فیزیکی برهم‌کنش آلاینده و خاک شامل انتقال و نگهداری آلاینده در خاک عمدتاً به پارامترهای فیزیکی خاک (دما، اندازه ذرات، بارالکتریکی و غیره) وابسته هستند در حالی که پروسه‌های شیمیایی اکثراً به نوع وطبیعت شیمیایی آلاینده‌ها مربوط است. به عنوان مثال برای کنترل بیولوژیکی آلودگی خاک، شامل همه فرآیندهای تغییر و تبدیل بیولوژیک که هریک به اکولوژی میکروبی، عمق، و دسترسی به اکسیژن در محل آلودگی بستگی دارد

- شدت و سمیت آلودگی در محیط(۴۶)

به طورکلی از آنجا که هر اندازه شدت (غلظت) آلودگی منتشر شده در محیط بیشتر باشد زمان پاک سازی و ملزومات مورد نیاز برای پاک سازی بیشتر خواهد بود، طبیعتاً هزینه های پاک سازی افزایش خواهد یافت. در شرایط خاص شدت آلودگی می تواند در قالب غلظت ماده آلاینده در نظر گرفته شود و یا در قالب عمق نفوذ آلاینده مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد. در هر دو جنبه از شدت آلودگی، هزینه های پاک سازی به شدت آلودگی موجود در محیط وابسته بوده و این عامل در تعیین جرائم نقش اساسی و کلیدی خواهد داشت.

آلاینده های خاک را می توان بر اساس میزان سمیت آنها برای انسان نیز تقسیم بندی نمود، که میزان سمیت آلاینده ها بر اساس حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند، تعیین می گردد که بر اساس آن می توان آلاینده ها را به ۳ گروه تقسیم بندی نمود.:

*آلاینده های با سمیت زیاد

*آلاینده های با سمیت متوسط

*آلاینده های با سمیت کم

بدیهی است که هر چه میزان حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند بالاتر باشد، سمیت آلاینده مربوطه برای انسان کمتر بوده و جزء دسته آلاینده های با سمیت کم می باشد و بر عکس هر چه میزان حداقل غلظتی که برای انسان ایجاد مسمومیت می کند، پایین تر باشد، سمیت آلاینده مربوطه برای انسان بیشتر است و آن آلاینده جزء دسته آلاینده های با سمیت زیاد قرار خواهد گرفت.

- ترکیب انواع آلاینده ها

هنگامی که هزینه های پاک سازی مرتبط با یک آلاینده مورد محاسبه قرار می گیرد، هدف از بین بردن و یا تقلیل دادن سطح آلاینده مورد نظر به سطح استاندارد است. حال اگر آلودگی در یک منطقه جغرافیایی به صورت ترکیبی از دو یا چند آلاینده وجود داشته باشد ممکن است این آلاینده ها
نیازمند صرف هزینه کمتر و یا بیشتر از مجموع هزینه پاک سازی هر یک از آلاینده ها باشد.

وجود آلاینده های ترکیبی می تواند باعث دشواری در پاک سازی شود که در این صورت هزینه های پاک سازی به شدت افزایش خواهد یافت و در مقابل در صورتی که با پاک سازی یک آلاینده، آلاینده دیگر نیز تصفیه و پاک سازی شود، هزینه های پاک سازی از مجموع هزینه پاک سازی تک تک آلاینده ها کمتر خواهد بود.

۲ـ۳ـ قوانین و مقررات

با توجه به اهمیت خاک در بقاء انسان و تاثیر مهم آن در انتقال آلودگی به سایر موجودات زنده و مهمتر از همه توجه به خاک و جلوگیری از آلودگی و از بین رفتن آن به عنوان محیط زندگی بشر و بسیاری از موجودات زنده، برخی از کشورها بخصوص کشورهای پیشرفته جهان قوانینی را در جهت حفظ سلامت و جلوگیری از آلودگی خاک و همچنین پاک سازی خاک های آلوده تدوین نموده‌اند که از جمله این کشورها می‌توان به: امریکا ، هلند ، استرالیا ، انگلستان ، کانادا ، نیوزلند و ... اشاره نمود. [4]

در جدول ۲-۱ برخی از مهمترین قوانین کشورها، مناطق و سازمان‌های مختلف در خصوص خاک ارائه شده است. [4]

جدول ۲-۱ـ برخی از مهمترین قوانین خاک کشورها، مناطق و سازمان‌های مختلف

ردیف	قانون	تاریخ انتشار	کشور یا مرجع
۱	چارچوب قانونی و سازمانی برای پایداری خاک	۲۰۰۱	IUCN[۷]
۲	مجموعه قوانین دوایر حفاظت خاک	۲۰۰۳	آمریکا
۳	قانون حفاظت خاک و بهره برداری از زمین	۲۰۰۱	استرالیا
۴	مجموعه قوانین خاک	۱۹۹۸	انگلستان
۵	قانون حفاظت خاک	۲۰۰۰	کوئینزلند (استرالیا)
۶	قانون خاکهای آلوده شده	۲۰۰۱	دانمارک
۷	برنامه بانک خاک (مجموعه قوانین ایالات متحده)	۱۹۵۶	آمریکا
۸	قانون فدرال حفاظت خاک	۱۹۹۸	آلمان
۹	قانون حفاظت خاک	۲۰۰۰	آلبرتا (کانادا)
۱۰	حفاظت خاک برای قرن بیست و یکم	۱۹۸۰	ایلینویز (آمریکا)
۱۱	قانون اصلاح آلودگی خاک و آبهای زیرزمینی	۲۰۰۰	تایوان
۱۲	قانون حفاظت خاک	۱۹۹۸	هلند
۱۳	قانون جلوگیری ازآلودگی خاک در اراضی کشاورزی	۱۹۹۹	ژاپن

۲ـ۳ـ۱ـ مبانی تدوین قانون خاک

در تدوین قوانین خاک اصول و پارامترهایی دارای اولویت و اهمیت می باشند که باید مد نظر قرار گیرند. این موارد را می توان به طور خلاصه به شکل زیر بیان نمود: (۱۱و۱۲) [4]

۱) آموزش، ترویج و حمایت.

* ترویج استفاده پایدار و سازگار از خاک.
* ارائه آموزش‌های لازم در سطح جامعه در خصوص استفاده پایدار و سازگار از خاک.
* حمایت از فعالیت‌های حفاظت خاک.
* توجه به دانش بومیو ارتقاء آن در پایداری خاک. [4]

۲) فراگیر بودن.

* عمومیت داشتن قانون برای اراضی بطور عام: کشاورزی، منابع طبیعی، شهری و صنعتی. [4]

۳) مبارزه با تخریب (فرسایش، آلودگی، کاهش حاصلخیزی و...).

* انجام بررسی‌های علمیبه منظور تعیین علل و عوامل تخریب خاک.

7-International Union for Conservation of Nature

* توسعه روش‌های مناسب برای تشخیص فرایند تخریب.
* تهیه فهرستی از فرایندهای بالقوه و بالفعل تخریب خاک در حوزه‌های مختلف.
* الویت بخشیدن به پیشگیری از تخریب.
* انجام اقدامات اصلاحی و احیایی جهت جبران تخریب خاک.
* گسترش روش‌های دوستدار محیط زیست برای کاهش آلودگی و ارتقاء حاصلخیزی خاک [4]

۴) اکولوژی وحفظ تنوع زیستی خاک.

* تعیین اصول حفاظت از تنوع زیستی خاک.
* حفظ کارکردهای اکولوژیکی خاک به سبب ارزش آن برای تنوع زیستی و زندگی انسان.

۵) مدیریت و بهره برداری مناسب خاک به منظور حفاظت محیط زیست. [4]

۶) نظارت،مدیریت و پایش.

* ارزیابی و نظارت طرح‌های اجرائی با هدف تعیین آثار آنها بر روی خاک.
* تهیه و تدوین ضوابط اجرائی و نظارت و پایش مدیریت خاک‌ها. [4]

۷) توسعه پایدار، پایداری و بهره برداری.

* تعیین عوامل بازدارنده در استفاده پایدار و سازگار از خاک.
* تدوین استانداردهای لازم جهت استفاده پایدار و سازگار از خاک و الزام در رعایت آنها.
* ارائه استانداردهای کمّی روشن و شفاف و تعییت دقیق مفهوم پایداری برای خاک های مناطق مختلف. [4]

۸) آماده سازی سیاست‌ها و برنامه‌های شفاف تشویق، تنبیه و شیوه‌های اخذ مجوزهای قانونی. [4]

۹)تعیین و تامین اعتبارات و تشکیلات مورد نیاز [4]

* تشکیل و یا معرفی یک سازمان دست اندرکار امور مربوط به خاک و اتخاذ تدابیر و تمهیدات لازم جهت تضمین استفاده پایدار.
* شرح شفاف وظایف و روش قانونی مسئولانی که حوزه مسئولیت آنها به امور خاک مرتبط است.
* توانمندسازی مدیران، سازمان‌های اجرائی جهت انجام وظایف و مسئولیت‌ها.
* تأمین بودجه برای پیشگیری از تخریب، اصلاح و احیا خاک.
* اختصاص مراجع خاصی از تشکیلات قضائی جهت رسیدگی سریع به موضوعات مربوط به خاک. [4]

۱۰) برنامه ریزی.

* تهیه و تدوین سیاست ، برنامه و راهبرد مدیریت خاک.
* تفکیک کشور به مناطق اکولوژیک همسان جهت ارائه روش‌های مدیریتی.
* تهیه و اجرای طرح‌های مدیریت خاک. [4]

۲ـ۳ـ۲ـ اصول بین المللی در تدوین قانون خاک (۱۲)

اصول قانونی زیست محیطی بین المللی در دو مقوله اصول عمومیو اصول ویژه دسته بندی می‌گردند. در ادامه اصول مرتبط با این مبحث به صورت کلی ارائه می‌شود و به علت طولانی بودن مطالب از ذکر توضیحات خودداری می‌گردد. جهت مطالعه مطالب بیشتر در مورد شرح قوانین بین المللی و قانون جامع خاک می‌توان به مرجع (۱۲) مراجعه نمود.

اصول عمومی: این اصول همگانی و فراگیر می‌باشند و پیام رسان یک مسئولیت اخلاقی بنیادی برای حفظ و مدیریت خاک هستند.

- اصل ۱- مسئولیت کلی جهانی نسبت به خاک
- اصل ۲- استحقاق برای داشتن یک خاک سالم و پایدار اکولوژیکی
- اصل ۳- رویکرد اکوسیستمی
- اصل ۴- استقلال و مسئولیت
- اصل ۵- همکاری بین المللی
- اصل ۶- پایش و کنترل شرایط و سلامت خاک جهانی [4]

اصول ویژه: این اصول موضوعات و نگرانی‌های ویژه خاک را در بر می‌گیرد:

- اصل ۷- اقدامات احتیاطی
- اصل ۸- حفظ تنوع زیستی
- اصل ۹- اصل تقبل هزینه‌ها توسط آلوده کننده‌ها
- اصل ۱۰- پیشگیری
- اصل ۱۱- اطلاعات و مشارکت
- اصل ۲- همکاری با دولت ها
- اصل ۱۲- جهانی شدن
- اصل ۱۳- موضوعات فرامرزی
- اصل ۱۴- تعهد به اعلام خطر به دولت ها
- اصل ۱۵- اقدامات قانونی در برابر دولت دیگر
- اصل ۱۶- حفظ خاک در زمان درگیری‌های نظامیو جنگ ها
- اصل ۱۷- نقش زنان در استفاده پایدار از خاک
- اصل ۱۸- نقش جوانان در استفاده پایدار از خاک

- اصل ۱۹- نقش جوامع بومیو محلی در استفاده پایدار از خاک
- اصل ۲۰- حفظ ابعاد فرهنگی خاک [4]

۲ـ۳ـ۳ـ استانداردهای رفع آلودگی خاک کشورهای مختلف

به طور کلی عوامل مهم تفاوت در تدوین دستورالعمل رفع آلودگی خاک را می‌توان به شکل زیر برشمرد:

جغرافیایی و بیولوژیکی:

که وابسته به تفاوت‌های زیست محیطی کشورهای مختلف می‌باشد.[4]

فرهنگی- اجتماعی:

وابسته به تفاوت رفتارهای اجتماعی و کاربری زمین در کشورهای مختلف می‌باشد.[4]

قانونی:

مرتبط با الزامات قانونی مثل قانون اساسی و یا دیگر قوانین موجود کشورها می‌باشد.[4]

سیاسی:

بستگی به ارزش‌های زیست محیطی و اقتصادی دارد که توسط قانون گذاران و سیاست مداران کشورها وضع شده و یا توسط دیدگاه‌های اجتماعی تحمیل می‌گردد.[4]

علمی:

مرتبط با دیدگاه‌های مختلف علمی

چارچوب علمی تدوین دستورالعمل رفع آلودگی خاک به شکل مجزا در قوانین کشورها ی یاد شده به چشم نمی خورد. پارامترهای مورد استفاده به نوعی، خاص کشورها و مطابق با شرایط آنها می‌باشند و تعمیم دادن آنها به سایر کشورها می‌بایست تحت بررسی‌ها و شرایط خاص و همچنین مشابه بودن وضعیت کشورها از نظر آن پارامتر باشد (۴)

در تدوین دستورالعمل رفع آلودگی خاک نکته مهم در نظر گرفتن استاندارد پاک سازی خاک و اینکه مقادیر استاندارد در نظر گرفته شده تنها برای حفاظت از سلامت انسان و اکوسیستم آن می‌باشد و یا انسان و سایر گیرنده‌ها در محیط زیست.[4]

۲ـ۳ـ۴ـ بررسی قوانین و استانداردهای خاک در ایران (۱۲و۲۸و۲۹)

با وجود این که سال‌ها از تأسیس بخش حفاظت آب و خاک در وزارت کشاورزی ایران می‌گذرد، تاکنون قانون جامعی در مورد خاک تصویب نهایی نشده است. حال آن که یکی از تعهدات دولت در برنامه سوم تهیه و پیگیری تصویب قانون خاک بوده است. با تدوین و تصویب قانون خاک می‌توان اصل ۳و ۴۳ قانون اساسی که بر تأمین خودکفایی و افزایش تولیدات کشاورزی و اصل ۵۰ قانون اساسی که بر حفاظت محیط زیست تاکید دارد را تا حد زیادی محقق نمود. در حال حاضر سه نهاد پیگیر امر تهیه و تدوین قانون

خاک در ایران می‌باشند که به ترتیب سازمان جنگل‌ها و مراتع مسئول قانون جامع حفاظت خاک وآبخیزداری،سازمان حفاظت محیط زیست مسئول قانون جلوگیری از آلودگی خاک و معاونت آب و خاک وزارت کشاورزی مسئول قانون جامع خاک می‌باشند. پیش نویس لایحه قانون جامع خاک ایران در بهار ۱۳۸۷ تدوین شد که این پیش نویس مشتمل بر ۳۵ ماده می‌باشد و اهداف اصلی آن عبارتند از:

*تدوین بنیان‌های حقوقی ناظر بر نحوه استفاده، مدیریت و بهره برداری پایدار از منابع خاک.

*ارتقاء بهره برداری، حفاظت، احیا و بهره وری بهینه از منابع خاک.

*تدوین مبانی حقوقی جلوگیری از تغییرات نامناسب کاربری خاک.

*بستر سازی به منظور جلوگیری از استفاده نامناسب از منابع خاک و اراضی.[4]

در دیماه سال ۱۳۸۹ نیز **"لایحه جامع خاک"** پیشنهادی وزارت جهاد کشاورزی، مصوب هیئت وزیران دولت دهم ، جهت تصویب تقدیم مجلس شورای اسلامی‌گردیده و در تابستان ۱۳۹۰ در مرحله بررسی در کمسیون کشاورزی مجلس شورای اسلامی می‌باشد.[4]

این قانون با توجه به شرایط اقلیمی‌و موقعیت طبیعی کشور و در راستای تحقق توسعه پایدار، حفاظت، اصلاح و بهسازی منابع خاک تدوین گردیده است. [4]

۲ـ۳ـ۴ـ۱ـ خلاصه ای از لایحه جامع خاک (۲۸)

ماده ۱: به منظور حفاظت کمی‌و کیفی، کاربری و بهره برداری و جلوگیری از آلودگی خاک، تمامی وزارتخانه‌ها ، موسسات و شرکت‌های دولتی ، موسسات و نهادهای عمومی‌غیر دولتی موظف به رعایت این قانون می‌باشند.[4]

ماده ۲: واژه‌ها و اصطلاحات مندرج در این قانون در معانی زیر به کار می‌روند:

خاک: پیکره‌های طبیعی و پویا که بر اثر فرایندها و عوامل خاک‌ساز تشکیل شده و در برگیرنده مواد مورد نیاز گیاه است که پوسته خارجی زمین را می‌پوشاند و گیاهان قادر به روئیدن در آن می‌باشند.

منابع خاک: تمامی‌اراضی که توان تولید محصولات کشاورزی ، مرتعی ، جنگلی و صنعتی را دارا می‌باشند و امور زیر بنایی در گستره آن انجام می‌گیرد.[4]

آلودگی خاک: وجود ، پخش یا آمیختن یک یا چند ماده خارجی به خاک به مقدار و مدتی که کیفیت فیزیکی ، شیمیایی یا بیولوژیک آن را به طوری که برای انسان یا سایر موجودات زنده یا گیاهان و یا ابنیه زیان آور باشد، تغییر دهد.[4]

آلوده کننده: تمامی‌اشخاص حقیقی و حقوقی که به هر نحوی باعث آلودگی خاک شوند.[4]

منابع آلوده کننده خاک: هرگونه فعالیت صنعتی و معدنی ، شهری و روستایی و کشاورزی و صنایع وابسته به آنها می‌باشند که موجب آلودگی خاک شوند. [4]

کاربری خاک: استفاده از خاک به عنوان بستری مناسب برای کلیه فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، خدماتی و امور زیر بنایی

حفاظت خاک: مجموعه مطالعات و اقدامات اجرایی که به منظور پیشگیری و کنترل تخریب ، فرسایش خاک و تبعات آن اجرا می‌گردد.[4]

۲ـ۳ـ۴ـ۲ـ وظایف و اختیارات

ماده ۳: وزارت جهاد کشاورزی موظف است راهبردها، سیاست‌ها و خط مشی‌های مدیریت ، حفاظت و بهره برداری پایدار از منایع خاک و اراضی کشور را تدوین و به منظور ارتقای کیفی این منابع زمینه تحقق اهداف برشمرده شده را فراهم نماید.[4]

ماده ۴: وزارت جهاد کشاورزی موظف است با همکاری ارگان‌های ذیربط شاخص‌ها ومعیارهای پایداری خاک و نیز شدت و درجه تخریب خاک و موارد تاثیر گذار در کاهش توان تولید خاک و فرسایش آن بر حسب کاربری‌های مختلف اراضی و نیز چگونگی محاسبه ارزش اقتصادی و نحوه محاسبه خسارت‌های ناشی از عدم رعایت شاخص‌ها را ارائه نماید.[4]

ماده ۵: به منظور حفظ پایداری خاک‌های کشور ، هرگونه برداشت ، جابجایی ، خاکریزی خارج از حدود و ضوابط ممنوع می‌باشد. [4]

۲ـ۳ـ۴ـ۳ـ جلوگیری از آلودگی خاک

ماده ۱۰: اقدام به هر عملی که موجب آلودگی خاک گردد، ممنوع می‌باشد.[4]

ماده ۱۱: سازمان حفاظت محیط زیست موظف است با همکاری موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد آلاینده‌های ورودی به خاک برای کاربری‌های مختلف و استاندارد آلاینده‌های موجود در خاک برای پاک سازی محل‌های آلوده را ظرف شش ماه پس از ابلاغ این قانون تهیه و اعلام نماید.[4]

ماده ۱۲: سازمان حفاظت محیط زیست موظف است با همکاری وزارتخانه‌های صنایع و معادن ، نفت، نیرو ، جهاد کشاورزی و سایر دستگاه‌های اجرایی مناطق آلوده را به تفکیک نوع آلودگی و منابع آلاینده شناسایی و اقدامات لازم را به عمل آورد. [4]

ماده ۱۳: سازمان حفاظت محیط زیست موظف است با همکاری دستگاه‌های اجرایی ذیربط فهرست منابع آلاینده خاک را تهیه و ابلاغ نماید.[4]

ماده ۱۴: تمامی‌آلوده کنندگان موظند در صورت بروز آلودگی خاک ، مراتب را در اسرع وقت به نزدیکترین اداره حفاظت محیط زیست گزارش نمایند و اقدامات لازم را بر اساس مفاد این قانون و آیین نامه‌های اجرایی و دستورالعمل‌های اجرایی آن بعمل آورند.[4]

ماده ۱۵: در صورت عدم گزارش آلوده کننده در مواردی که شواهدی مبنی بر آلودگی خاک وجود دارد سازمان حفاظت محیط زیست باید سریعا تحقیق و بررسی‌های لازم را انجام داده و در صورت تخلیه ، نشت یا انتشار هر گونه آلاینده می‌بایست به آلوده کننده اخطار نماید که ظرف مدت مشخصی نسبت به رفع موجبات آلودگی مبادرت یا از کار و فعالیت خودداری نماید.[4]

ماده ۱۶: در صورتی که آلوده کننده ظرف مدت زمان مشخص شده نسبت به رفع آلودگی یا ممانعت از کار و فعالیت اقدام ننماید ، در پایان مهلت مقرر بنا به درخواست سازمان حفاظت محیط زیست و دستور مرجع قضایی از کار و فعالیت آلوده کننده جلوگیری بعمل خواهد امد.[4]

ماده ۱۷: سازمان حفاظت محیط زیست موظف است ماموران خود را جهت ورود به مناطق دارای احتمال آلودگی اعزام نماید تا نسبت به انجام تحقیقات لازم و نمونه برداری اقدام نمایند.[4]

ماده ۲۱: سازمان حفاظت محیط زیست مجاز است در مواقعی که ضرورت ایجاد نماید راسا نسبت به رفع آلودگی خاک ناشی از حوادث غیر مترقبه طبیعی و انسان ساخت اقدام نماید.[4]

فصل سوم

روش شناسی

۳ـ۱ـ مقدمه

به منظور بررسی وضعیت خاک ها می بایست ارزیابی کمی و کیفی شاخص های کیفیت خاک را انجام داد. ارزیابی کیفی مشخص کننده طبیعت و ماهیت آن شاخص و ارزیابی کمی مشخص کننده مقدار دقیق آن شاخص می باشد. برای مثال اگر فرسایش خاک به عنوان یک شاخص در ارزیابی وضعیت خاک مورد بررسی قرار گیرد، بررسی و وجود یا عدم وجود علائم ایجاد شده توسط فرسایش مانند شیارها، گالی ها و غیره یک بررسی کیفی از وضعیت خاک موجود در یک منطقه را به ما می دهد. حال آنکه اگر مقدار فرسایش به روش های مستقیم و یا غیرمستقیم در یک منطقه تعیین شود بیانگر بررسی وضعیت خاک به صورت کمی می باشد. باید توجه داشت که برآورد کیفی شاخص ها مبتنی بر تجربه افراد است و بنابراین افراد متفاوت می توانند استنباط های متفاوتی از وضعیت یک خاک داشته باشند. در مقابل ارزیابی کمی شاخص ها نسبتاً دقیق و عددی بوده و افراد متفاوت می توانند به منظور ارزیابی وضعیت آلودگی خاک مورد استفاده قرار گیرند و نتایج مشابهی بدست آورند (۱۴۱).

۳ـ۲ـ شاخص های ارزیابی وضعیت خاک

در ارزیابی وضعیت خاک ویژگی های زیادی را می توان مورد استفاده قرار داد اما به طور کلی شاخص‌های کیفیت خاک باید دارای شاخص های زیر باشند (۱۴۲):

- ✓ این شاخص ها باید همبستگی مناسبی با فرایندهای اکوسیستم داشته و گویای وضعیت کلی سیستم خاک باشند.
- ✓ در برگیرنده ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بوده و اندازه گیری آنها آسان باشد و برای تخمین ویژگی یا وظایفی که اندازه گیری آن مشکل می باشند، استفاده شود.
- ✓ به تغییرات مدیریتی حساس باشند و با تغییر نوع مدیریت، در کوتاه مدت تغییر نمایند.
- ✓ به تغییرات بلند مدت اقلیم حساس بوده، اما تحت تأثیر تغییرات کوتاه مدت اقلیم قرار نگیرند.

بنابراین شاخص های ارزیابی وضعیت کیفیت خاک ضمن این که باید شاهدی برای نشان دادن وضعیت خاک باشند، اندازه گیری آنها باید آسان باشد و نشان دهنده وضعیتی از خاک باشند که اندازه گیری آن مشکل است. بنابراین در انتخاب شاخص های ارائه شده در این، موارد فوق مد نظر بوده و هدف ارائه بهترین، مناسب ترین و متداول ترین ویژگی های خاک به عنوان شاخصی برای ارزیابی وضعیت خاک بوده است.

بنابراین، همانطور که تخریب خاک را می توان از سه جنبه اساسی تخریب فیزیکی، شیمیایی و زیستی مورد بررسی قرار داد، کیفیت خاک را نیز باید از این سه جنبه مطالعه کرد. با توجه به این که کیفیت خاک نشان دهنده وضعیت خاک در شرایط مشخص بوده که بسته به هدف و وضعیت مطالعه متفاوت خواهد بود، باید شاخص هایی از خاک را مورد مطالعه قرار داد که بتوانند عملکرد و نوع مدیریت را در آن شرایط به خوبی منعکس نمایند. جدول ۳-۱ برخی از مهم‌ترین شاخص های کیفیت خاک و ارتباط آن ها را با سلامت خاک نشان می دهد (۸۵).

در این رابطه شاخص هایی جدیدی نیز در سال های اخیر، مانند عکس شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (شاخص S)، برای ارزیابی وضعیت خاک ارائه شده است اما به دلیل دشواری اندازه گیری در ارزیابی های خاک به صورت کاربردی کمتر مورد توجه می باشند.

جدول ۳-۱- شاخص های کیفیت خاک و ارتباط آن ها را با سلامت خاک

	شاخص ها	ارتباط با سلامتی خاک
شاخص های شیمیایی	مقدار ماده آلی خاک	حاصل‌خیزی، پایداری ساختمان خاک، چرخه عناصر، فرسایش پذیری، ظرفیت نگهداری آب
	نیتروژن، فسفر و پتاسیم	در دسترس بودن نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای گیاه (حاصل‌خیزی خاک)
	اسیدیته (pH)	فعالیت بیولوژیکی و در دسترس بودن (حلالیت) عناصر در خاک
	هدایت الکتریکی (EC)	رشد گیاه، فعالیت میکروبی، پایداری ساختمان خاک و وضعیت آب قابل استفاده برای گیاه
شاخص های فیزیکی	بافت خاک	انتقال و چرخه آب و عناصر غذایی و در دسترس بودن عناصر (به ویژه کاتیون ها)
	ساختمان خاک	انتقال و چرخه آب و عناصر غذایی و فعالیت و تنفس میکروبی خاک
	عمق خاک	پتانسیل تولید محصول و عمق توسعه ریشه در خاک
	نفوذپذیری و جرم مخصوص ظاهری	حرکت آب در خاک، تراکم، تخلخل و سختی کشت و کار
	ظرفیت نگهداری آب	در دسترس بودن آب و مقدار ذخیره آن
شاخص های زیستی	زی توده کربن و ازت میکروبی	مقدار ذخیره سازی کربن و نیتروژن
	پتانسیل معدنی شدن نیتروژن	حاصل‌خیزی خاک و پتانسیل در دسترس بودن نیتروژن
	تنفس میکروبی	فعالیت میکروبی در خاک
	فعالیت های آنزیمی	فعالیت میکروبی و چرخه عناصر در خاک

۳ـ۳ـ گروه بندی خاک های کشور

برای تعیین پراکنش و بررسی خصوصیات انواع خاک‌های ایران، نقشه منابع و قابلیت استعداد خاک‌های ایران مورد تفسیر قرار گرفت. به همین منظور با انطباق مدارک موجود از قبیل نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های ایران (با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰۰)، نقشه زمین‌شناسی ایران(با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰)، نقشه ژئومورفولوژی ایران(با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰۰)، نقشه کاربری اراضی ایران (با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰۰) و برخی مدارک دیگر از قبیل برخی گزارشات خاکشناسی سازمان تحقیقات کشاورزی با نقشه منابع و قابلیت استعداد خاک‌های ایران (با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰) با هدف زیست‌محیطی و حساسیت اراضی در برابر آلاینده‌ها مورد تفسیر قرار گرفت

برخی خصوصیات خاک‌ها به صورت کیفی گزارش شده‌اند که بیانگر قرار گرفتن آن دسته از خصوصیات در محدوده‌ای بوده که با اهداف کشاورزی و منابع طبیعی، طبقه‌بندی شده‌اند. این خصوصیات و اصطلاحات کیفی آن‌ها در جداول۳-۲ تا ۳-۷ خلاصه شده‌اند. توجه شود که بیان این خصوصیات به صورت کیفی در گزارش حاضر بر اساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته با توجه به

اسامی خاک‌ها و انطباق آن‌ها با USDA-Soil Taxonomy 2006، برخی گزارشات خاک شناسی موجود تهیه شده توسط سازمان تحقیقات کشاورزی و تجربیات نویسندگان می‌باشد.

جدول ۳-۲-طبقه بندی عمق خاک‌ها

عمق	طبقه
بیش از ۱/۲ متر	عمیق و خیلی عمیق
۱۲۰-۵۰ سانتی‌متر	نسبتاً عمیق
۵۰- ۲۵ سانتی‌متر	کم‌عمق
کمتر از ۲۵ سانتی‌متر	خیلی کم‌عمق

جدول ۳-۳- کلاس‌های نفوذپذیری خاک‌ها

کلاس	شرح	شدت نفوذپذیری(Cm/hr)
کمتر از ۰/۱۵	خاک‌های دارای لایه غیر قابل نفوذدر نزدیک سطح خاک و غالبا دارای بافت رسی و ساختمان ضعیف	خیلی کند
۰/۱۵ تا ۰/۵	خاک‌های با بافت رسی و رسی ـ سیلتی یا رسی- شنی و با ساختمان متوسط	کند
۰/۵ تا ۵	خاک‌های با بافت لوم و لوم- رسی و ساختمان متوسط تا خوب	متوسط
۵ تا ۶	خاک‌های با بافت لومی- شنی	سریع
بیش از ۱۵	خاک‌های شنی و سنگریزه‌دار	خیلی سریع

جدول ۳-۴- کلاس‌های زه کشی خاک‌ها

کلاس	شرح
زه کشی خیلی ضعیف و ضعیف	در بیشتر اوقات آب در نزدیکی سطح زمین قرار دارد و هدایت هیدرولیکی خاک، خیلی پایین است و یا شرایط اشباع به دلیل بارندگی و روانآب وارد شده به منطقه می‌باشد.
زه کشی نسبتاً ضعیف	سطح آب در عمق کم و هدایت هیدرولیکی پایین یا خیلی پایین است.
زه کشی متوسط تا نسبتاً خوب	سطح آب در خاک نسبتاً عمیق می‌باشد و آب‌های وارده به صورت نسبتاً آهسته از خاک خارج می‌شوند در این خاک‌ها هدایت هیدرولیکی اشباع تا عمق یک متری نسبتاً آهسته است یا میزان بارندگی زیاد می‌باشد.
زه کشی خوب	آب به آسانی، اما نه به سرعت از خاک خارج می‌شود و معمولا سطح آب زیر زمینی عمیق تا نسبتاً عمیق می‌باشد
زه کشی خیلی خوب	آب از خاک سریع خارج شده و معمولا خاک‌ها بافت درشت دارند و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بالا می‌باشد.

جدول۳-۵- کلاس‌های سطح آب زیر زمینی اراضی

کلاس	شرح
خیلی کم عمق و سطحی	کمتر از ۷۵ سانتی‌متر
کم عمق	۷۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر
نسبتا عمیق	۱/۵ تا ۵ متر
عمیق و خیلی عمیق	بیش از ۵ متر

جدول ۳-۶- کلاس‌های فرسایش خاک‌ها

کلاس	شرح
بدون فرسایش	میزان تخریب افق A صفر درصد
فرسایش کم	میزان تخریب افق A صفر تا ۲۵ درصد
فرسایش متوسط	میزان تخریب افق A ۲۵ تا ۷۵ درصد
فرسایش شدید	میزان تخریب افق A ۷۵ تا ۱۰۰ درصد
فرسایش گالی و بد لند	میزان تخریب افق A بیش از ۱۰۰ درصد و قسمتی از افق زیرین نیز تخریب شده است.

جدول ۳-۷- کلاس‌های شوری خاک‌ها

هدایت الکتریکی dS/m	کلاس
کمتر از ۴	غیر شور
۴ تا ۸	کمی شور
۸ تا ۱۶	نسبتاً شور
۱۶ تا ۳۲	شور و زیاد شور
بیش از ۳۲	خیلی زیاد شور

۳ـ۴ـ گروه بندی خاک‌های ایران

۳ـ۴ـ۱ـ مناطق سرد با تابستان کوتاه و اقلیم نسبتاً گرم و مرطوب و پتانسیل خوب برای جنگل

الف) Typic Hapludalfs

ب) Typic Hapludalfs

ج) Typic Dystrudepts

د) Lithic Argiudolts

هـ) Typic Argiudolls

و) Typic Hapludalfs

مناطق سرد با تابستان‌های کوتاه و کاربری جنگل و مرتع که بایستی حفاظت شوند (خاک‌های با محدودیت زیاد شیب و پستی و بلندی برای هر نوع استفاده به جز جنگل و مرتع که بایستی حفاظت شوند ولی خاک دره ها مناسب برای درختکاری است).

مناطق سرد با تابستان کوتاه خشک و نسبتاً گرم، کاربری جنگل و مرتع که بایستی حفاظت شوند

مناطق سرد با تابستان کوتاه و اقلیم نسبتاً گرم و پتانسیل نسبتاً خوب جنگل

۳ـ۴ـ۲ـ خاک‌های شیب دار

۳ـ۴ـ۲ـ۱ـ خاک ها با شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد

الف) مناطق سرد با تابستان کوتاه و نسبتاً گرم و مرطوب و با پتانسیل نسبتاً خوب برای جنگل

ب) مناطق با زمستان سرد و تابستان کوتاه گرم و خشک، اقلیم نسبتاً گرم و مرطوب و پتانسیل خیلی خوب برای مراتع

Lithic Calcixerepts

Typic Haploxerepts، Lithic Haploxerepts

Lithic Xerorthents، Lithic Haploxerepts،

Typic Haploxerepts با رخنمون سنگی زیاد

Typic Calcixerepts

ج) مناطق سرد و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل متوسط برای مرتع

د) مناطق گرم و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل متوسط برای مراتع

۳ـ۴ـ۲ـ۲ـ خاک ها با شیب متوسط ۸ تا ۱۵ درصد

الف) مناطق سرد با تابستان‌های خشک کوتاه و اقلیم نسبتا مرطوب با پتانسیل خوب برای مرتع

Lithic Haploxerepts

Lithic Calcixerepts

۳ـ۴ـ۲ـ۳ـ خاک‌های مسطح با شیب کمتر از ۸ درصد

۳ـ۴ـ۳ـ مناطق مسطح واقع در دره ها

الف) مناطق گرم و سرد، تابستان کوتاه خشک، اقلیم نیمه‌مرطوب و پتانسیل زیاد تا متوسط برای کشت و زرع

Typic Xerorthents

Typic Calcixerepts

Typic Calcixerepts

Typic Calcixerepts همراه با Chromic Calcixererts

Typic Calcixerepts و Saline (شور)

ب) مناطق گرم و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل متوسط برای کشاورزی آبی

Typic Calciustepts

۳ـ۴ـ۴ـ فلات‌ها و جلگه‌ها

الف) مناطق با تابستان گرم، اقلیم مرطوب تا نیمه مرطوب و پتانسیل بالا برای دیم کاری

Typic Hapludalfs

Typic Calcixerepts
Lithic Haploxerepts و Lithic Calcixerepts
Lithic Calcixerepts
Lithic Haploxerepts
Lithic Xerorthents

ج) مناطق سرد و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل متوسط مرتع

Lithic Xeric Haplocalcids
Xeric Torriorthents و Lithic Xeric Torriorthents

د) مناطق گرم و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل متوسط برای مرتع

Lithic Ustiorthents

هـ) مناطق گرم و خشک با اقلیم بیابانی و پتانسیل کم برای مرتع

Lithic Ustic Torriorthents
Lithic Torriorthents
Typic Petrogypsids

۳ـ۴ـ۵ ـ پایه‌های شیب (مناطق مسطح با شیب خیلی کم)

الف) مناطق سرد با تابستان خشک کوتاه و اقلیم نسبتاً مرطوب تا نیمه مرطوب، پتانسیل بسیار خوبی برای کشاورزی آبی

Typic Calcixerepts

ب) مناطق سرد و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل بالا برای کشاورزی آبی

Xeric Haplocalcids
Xeric Haplocalcids

ج) مناطق سرد و خشک و اقلیم استپی با پتانسیل متوسط برای مرتع

Xeric Calcigypsids و Xeric Haplocalcids

د) مناطق سرد و خشک با اقلیم بیابانی و پتانسیل کم برای مرتع، زمین های بایر

Typic Haplogypsids و Typic Haplocalcids
Typic Haplogypsids
Typic Haplogypsids به همراه Dune Land (تپه‌های شنی)
Typic Torriorthents

هـ) مناطق سرد و خشک و اقلیم بیابانی با پتانسیل متوسط تا کم برای کشاورزی آبی

Typic Haplocalcids و Typic Torrifluvents
Typic Torrifluvents

و) مناطق گرم و خشک و اقلیم بیابانی و فاقد پتانسیل کاربری

Petrogypsic Haplosalids
Typic Haplosalids

۳ـ۴ـ۶ ـ خاک های دشتی

الف) مناطق با تابستان گرم و مرطوب و اقلیم نیمه گرم و پتانسیل زیاد تا متوسط برای زراعت

Typic Endoequepts و Mollic Endoequalts

Typic Argiudolls
Calcic Argixerolls
Fluventic Haploxerolls

ب) مناطق سرد و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل زیاد برای کشاورزی آبی

Xeric Haplocalcids

ج) مناطق گرم و خشک با اقلیم استپی و پتانسیل زیاد تا متوسط برای کشاورزی آبی

Typic Calciustepts و Fluventic Haplustepts

Ustic Torrifluvents
Ustic Torriorthents
Aquic Torrifluvents
Ustic Torrifluvents

۳ـ۴ـ۷ـ خاک های پفکی

الف) مناطق سرد و گرم و خشک با اقلیم بیابانی و اراضی بایر

Typic Aquisalids

خاک‌های واقع در لندفرم‌های مرکب

دره ها و دشت‌های میان کوه

الف) مناطق سرد با تابستان خشک کوتاه، افلیم نیمه گرم و مرطوب با پتانسیل زیاد تا متوسط برای زراعت

Typic Calcixerepts

ب) مناطق گرم و خشک با اقلیم بیابانی و پتانسیل کم برای مرتع

Typic Torrifluvents

۳ـ۴ـ۸ـ خاک های متفرقه

این خاک ها معمولاً فاقد هر گونه کاربری بوده که معمولاً خاک به حساب نمی‌آیند و هر کدام نیاز به مدیریت‌های خاص دارند. این اراضی عبارتند از:

ـ شن‌های ساحلی

ـ هزار دره‌ها یا بدلندها

ـ کلوت‌ها

ـ تپه‌های روان و تلماسه‌ها (بادنهشت‌ها)

ـ اراضی سنگلاخی یا ماسه‌سنگی

ـ پلایا
ـ گنبدهای نمکی
ـ کفه‌های نمکی
ـ باتلاق‌ها، لاگون‌ها و دریاچه‌ها

۳ـ۵ـ گروه بندی آلاینده های شاخص خاک های کشور

آلاینده های حاصل از کارخانه ها، صنایع تولیدی، معادن و دیگر منابع تولیدی آلودگی، از جمله منابع آلودگی شهری و کشاورزی، هر کدام به منابع خاک مختلفی وارد شده و موجبات آلودگی آنها را فراهم می کنند که اصطلاحا به آنها منابع پذیرنده آلودگی گفته می شود که می توان بر اساس آنها نیز آلاینده های خاک را به ۵ گروه تقسیم بندی کرد.(۵)[4]

منبع پذیرنده خاک های کشاورزی
منبع پذیرنده جنگل و مرتع
منابع پذیرنده مسکونی
منابع پذیرنده صنعتی
منابع پذیرنده پارک ها[4]

۳ـ۵ـ۱ـ منبع پذیرنده خاک های کشاورزی

زمین های کشاورزی یکی از منابع پذیرنده آلودگی و تجمع آلاینده های مختلف خاک در آنها می باشند. از جمله ورود آلاینده های نفتی در اثر حوادث به این اراضی و همچنین ورود پساب های مربوط به کارخانجات، در اثر شکست لاگن های ذخیره پساب. برای مثال می توان به نشت آلاینده های نفتی از چاه های نفت در رودخانه های فصلی در مناطق نفت خیز مانند مسجد سلیمان و آبیاری خاک های کشاورزی در دورآهک استان بوشهر به وسیله آن و آلوده شدن خاک ۱۵۰ هکتار از زمین های کشاورزی در این استان و ورود پساب کارخانه کاوه سودا به اراضی کشاورزی در اثر شکست لاگن ها و آلوده شدن خاک در این اراضی در شهرستان مراغه اشاره کرد که این عامل، باعث آلوده شدن خاک زمین های کشاورزی این منطقه به مواد اسیدی شده است.(۴) [4]

۳ـ۵ـ۲ـ منبع پذیرنده جنگل و مرتع

زمین های جنگل و مرتع نیز از دیگر منابعی است که آلاینده های مختلف بدان وارد شده و موجب آلودگی خاک در این اراضی می شوند. آلودگی محیط به ویژه در جوامع صنعتی پیشرفته به صورت یک مسئله عمومی درآمده است و صاحبان سرمایه‌های کلان بدون توجه به پیامدهای ناگوار (و در کشورهای عقب‌مانده بدون پرداخت مالیات واقعی) از علوم و فنون و اکتشافات جدید حداکثر بهره را برده‌اند و عوامل اصلی حیات را پلید و ناپاک گردانده‌اند. به عنوان مثال آلودگی آب به وسیله فاضلاب ها و هرز دادن فضولات کارخانه‌ها به رودها، دریاچه‌ها و دریاها که نمونه قابل توجه آن در نواحی کم جزر و مد سواحل مدیترانه

بیشتر به چشم می‌خورد، سبب آلودگی خاک در اراضی جنگلی در این حوزه و ضایع شدن بیشتر گیاهان و حیوانات موجود در آن در مجاور شهرهای صنعتی و پر تراکم شده و جان و تندرستی مردم را به خطر افکنده است.[4]

۳ـ۵ـ۳ـ منابع پذیرنده مسکونی

خاک مناطق مسکونی یکی دیگر از منابع خاک پذیرنده آلودگی می باشد که در اثر ورود آلاینده‌ها از راه های مختلف در معرض آلودگی خاک قرار دارد که به دنبال یجاد آلودگی خاک در این اراضی، انتقال آلودگی به انسان اجتناب ناپذیر خواهد بود.آلاینده ها از طرق مختلفی مثل حمل و نقل و ترافیک، در سطح مناطق مسکونی تولید شده و از طریق باران اسیدی و یا جذب و ته نشست در خاک ، باعث آلودگی در سطح خاک مناطق مسکونی می شوند همچنین آلاینده ها می توانند از طریق ورود به آب های زیر زمینی و آب های سطحی موجب آلوده ساختن خاک این مناطق شوند. [4]

۳ـ۵ـ۴ـ منابع پذیرنده صنعتی

خاک زمین های صنعتی از جمله منابع پذیرنده ای است که بیش از همه در معرض آلودگی می‌باشد. زیرا آلودگی حاصل از کارخانجات و معادن و صنایع تولیدی که در این مناطق وجود دارد به راحتی می توانند از طریق پساب، پسماندها، دود و گرد و غبار وارد خاک این اراضی شده و موجبات آلودگی آن را فراهم آورند. [4]

۳ـ ۵ ـ ۵ ـ منابع پذیرنده پارک ها،فضای سبز شهری و تفرجگاه های شهری

یکی دیگر از زمین های پذیرنده آلودگی خاک، پارک ها و مراکز تفریحی می باشند که آلودگی خاک در آن از نقطه نظر این که مکانی برای بازی کودکان نوپا و خردسالان است بسیارحائز اهمیت می‌باشد همچنین مناطق حفاظت شده و منابع طبیعی مثل اراضی تالابی و کوهستانی نیز جزء این گروه از منابع پذیرنده قرار می گیرند.[4]

۳ـ۶ـ گروه بندی واحدهای بزرگ آلوده کننده خاک های کشور

همان طور که ذکر شد، بر اثر فعالیت های مختلف انسانی، خاک دچار آلودگی می شود. اکثر این آلودگی ها بر اثر تصادف وسایل نقلیه ای که مواد آلوده کننده جا به جا می کنند، اتفاق می افتد. [4]

آلوده کننده های دیگری که سبب آلودگی خاک می شوند شامل اتومبیل ها، کامیون ها و هواپیماهایی هستند که زباله جا به جا نمی کنند ولی موادی از قبیل سوخت حمل می کنند، که بر اثر ریخته شدن و خارج شدن آنها از وسیله نقلیه آلودگی خاک رخ می دهد. عواملی مانند فعالیت های انسانی نیز باعث آلودگی خاک می شوند. ریختن مواد سمی مانند انواع حلال ها، مواد رنگی و شوینده ها آلودگی زمین و خاک را گسترش می دهند.[4]

منابع متعددی برای آلاینده های متنوع خاک موجود می باشدکه از میان منابع آلاینده موارد زیر مهم‌ترین عوامل آلودگی خاک محسوب می‌شوند لذا آلاینده های خاک بر اساس منبع تولید به ۴ گروه تقسیم بندی می‌شوند: (۴)[4]

آلودگی کشاورزی

- کودها و سموم کشاورزی(Chemical fertilizer& Agricultural pestiside)
- پسماندهای کشاورزی(Agricultural wastes)
- پساب های کشاورزی(Agricultural wastewater) شامل زه آب های کشاورزی ناشی از آب شویی

آلودگی صنعتی

- تخلیه پسماندها و پساب های صنعتی در خاک(Discharge of industrial waste in to the soil)
- لجن فاضلاب صنعتی(Sewage sludge)
- معادن فعال(Active mine)

آلودگی‌های نفتی(برداشت نفت سیاه) (Fuel oil dumping)

آلودگی های شهری

- پسماندهای جامد خانگی(Domestic solid wastes)
- آلودگی ناشی از فعالیت های شهری(Pollution due to urban activites)
- زباله های بیمارستانی(Haspital wastes)
- تحقیقات آزمایشگاهی(Research labratory)
- آلودگی ناشی از عملیات احتراق مثل احتراق سوخت های فسیلی و احتراق در خودروها[4]

۳ـ۷ـ طبقه‌بندی واحدهای بزرگ آلوده کننده خاک

۳ـ۷ـ۱ـ طبقه‌بندی صنایع توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران

سازمان حفاظت محیط زیست ایران صنایع مختلف را بر اساس نوع محصول تولیدی خود به یازده گروه اصلی مطابق جدول ۳-۸ تقسیم می کند. به منظور طبقه بندی واحدهای بزرگ آلودگی خاک از طبقه بندی سازمان حفاظت محیط زیست استفاده شد و گروه یا زیر گروه های مهم به شرح ذیل به منظور کنترل، پایش و رفع آلودگی خاک پیشنهاد گریده است.

جدول۳-۸- گروه های مختلف صنایع بر اساس طبقه‌بندی سازمان حفاظت محیط زیست

ردیف	گروه صنعتی
۱	صنایع غذایی
۲	صنایع نساجی
۳	صنایع چرم
۴	صنایع سلولزی و چوب
۵	صنایع فلزی
۶	صنایع کانی های غیرفلزی
۷	صنایع شیمیایی و دارویی
۸	صنایع لاستیک و پلاستیک
۹	صنایع برق و الکترونیک
۱۰	صنایع کشاورزی
۱۱	صنایع ماشین سازی
۱۲	صنایع بازیافت
۱۳	سایر خدمات

با توجه به موضوع رفع آلودگی خاک برای هر یک از گروه های صنعتی ذکر شده می‌توان طیف وسیعی از فعالیت‌ها را متصور شد، لذا در این مطالعه به منظور امکان بررسی دقیق تر موضوع، سعی شده تا از هر یک از گروه های سیزده‌گانه صنایع به ترتیب زیر استفاده شود.

۳ـ۷ـ۱ـ۱ـ صنایع غذایی

این گروه از صنایع به چند زیر گروه دسته بندی می‌شوند:

الف- صنایع تولیدی درجه اول:در این گروه، مواد غذایی طی یک خط تولید ساده تهیه شده و با بسته‌بندی مناسب به بازار عرضه می‌گردند که از آن جمله می‌توان به واحدهای تولید شکلات، بیسکوئیت، تولید سرکه و واحدهای تولید آب میوه اشاره نمود.

ب- صنایع تولیدی درجه دوم:در این گروه از صنایع، مواد غذایی طی یک فرآیند و خط تولید پیچیده و با ظرفیت بالا تهیه و به بازار عرضه می‌گردد. واحدهای کشتار دام و طیور، کارخانجات تولید روغن نباتی، کارخانجات تولید قند در این گروه از صنایع دسته بندی می‌گردند.

ت- صنایع تولیدی درجه سوم:این گروه صنایع، از کنار هم قرار گرفتن چند صنعت در کنار هم به عنوان یک مجتمع تشکیل می‌شوند که می‌توان به مجتمع‌های کشت و صنعت اشاره نمود. زائدات تولیدی این گونه صنایع، ترکیبی از زائدات گروه های فوق‌الذکر می‌باشد.

۳ـ۷ـ۱ـ۲ـ صنایع نساجی

الف- صنایع با ظرفیت تولید بالا و خط رنگرزی وآهار زنی:در این گروه، صنایعی که دارای ظرفیت تولید بالا و همچنین خط رنگرزی و آهار زنی می باشند جای می‌گیرند. (مانند واحدهای ریسندگی و بافندگی، پتو بافی با رنگرزی).

۳ـ۷ـ۱ـ۳ـ صنایع چرم:

الف- ساخت چرم:شامل واحدهایی می‌شود که به ساخت چرم (تولید سالامبور، چرم و رنگرزی آن) مشغول می‌باشند که از آن جمله می‌توان به واحدهای دباغی و چرمسازی اشاره نمود.

۳ـ۷ـ۱ـ۴ـ صنایع سلولزی:

الف- تهیه و ساخت کاغذ یا چوب: در این گروه از صنایع واحدهای تولید به تهیه و ساخت کاغذ یا چوب از مواد اولیه می پردازند که واحدهای ساخت و بازیافت کاغذ جزو این گروه از صنایع می باشند.

۳ـ۷ـ۱ـ ۵ ـ صنایع فلزی

الف- ریخته گری: این گروه از صنایع دارای عملیات هایی نظیر ریخته گری، آبکاری و غیره نیز می باشند که معمولا با ظرفیت های بالا کار می کنند. واحدهایی از قبیل ساخت پمپ های بزرگ، ذوب و نورد فلزات و واحدهای ریخته گری در این گروه جای دارند.

۳ـ۷ـ۱ـ۶ـ صنایع کانی غیرفلزی

الف- واحدهای کوچک: واحدهای کوچک که عمدتا به تولید مصنوعات سنگی، گچی، شیشه‌ای یا سیمانی از قبیل موزائیک، تیرچه و بلوک، انواع شیشه یا قالب های گچی می‌پردازند.زائدات این گروه از صنایع بیشتر از نوع مصالح ساختمانی مورد استفاده می‌باشد.

ب- صنایع بزرگ: این گروه شامل صنایع بزرگی مانند کارخانجات سیمان، گچ و آهک یا آسفالت می‌باشند.

۳ـ۷ـ۱ـ۷ـ صنایع شیمیایی و دارویی

این صنایع به چند گروه زیر دسته‌بندی می‌شوند:

الف- استفاده کنندگان ماده اولیه: این گروه از صنایع از مواد شیمیایی آماده به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کنند و بصورت فرمولاسیون عمل می‌کنند که بعنوان مثال می‌توان به واحدهای تولید واکس و شمع، تولید مصنوعات پلاستیکی و تولید محصولات فایبر گلاس اشاره نمود.

ب- تولید کننده مواد شیمیایی: این واحدها خود تولید کننده مواد شیمیایی به عنوان ماده اولیه خود یا دیگر واحدها می باشند مانند واحدهای تولید نفتالین، مایع ظرفشویی، قیرهای صنعتی و تولید کود شیمیایی.

ج- واحدهای تولید کننده دارو یا مواد اولیه بهداشتی و آرایشی: این گروه شامل واحدهای تولید کننده

دارو یا مواد اولیه بهداشتی و آرایشی می‌باشند مانند واحد تولید الکل از طریق تخمیر و تقطیر و تولید انواع داروهای گیاهی.

۳ـ۷ـ۱ـ۸ـ صنایع لاستیک و پلاستیک

این صنایع با توجه به نوع ماده اولیه مصرفی آماده، با استفاده از دما باعث تغییر حالت ماده اولیه شده محصولات خود را تولید می‌کنند. بنابراین تولیدات آنها به دو دسته، سخت (پلاستیک) و نرم (لاستیک با خاصیت کشسانی) دسته بندی می‌شوند:

الف- واحدهای تولید لوازم و وسایل پلاستیک

ب- واحدهای تولید وسایل لاستیکی

۳ـ۷ـ۱ـ۹ـ صنایع برق و الکترونیک

این صنایع به چند گروه زیر دسته بندی می‌شوند:

الف- واحدهای تولید لوازم برقی کوچک و مونتاژ لوازم الکتریکی

ب-تولیدات خاص: تولیدات این واحدهادر طی فرآیندهای مختلف تولید می‌گردد مانند واحدهای تولید سیم و کابل، واحدهای تولید لامپ و واحدهای تولید باطری اتومبیل.

۳ـ۷ـ۱ـ۱۰ـ صنایع کشاورزی

این صنایع در یک گروه طبقه بندی می‌گردند که در آن واحدها به تولید مواد مورد نیاز برای پرورش گیاهان و جانوران مشغولند. زائدات این گروه بیشتر شامل پسماندهای مواد شیمیایی،گونی و پلاستیک می‌باشد که بفروش رسیده، دفن و یا سوزانده می‌شوند.

۳ـ۷ـ۱ـ۱۱ـ صنایع ماشین سازی

این صنایع به دو گروه زیر دسته بندی می‌شوند:

الف- مونتاژ ماشین آلات: این گروه تنها به مونتاژ ماشین آلات پرداخته و فاقد فرآیندهایی مانند آبکاری می‌باشند مانند ساخت پمپ و کمپرسور.

ب- گروه دارای عملیات فرایندی: این گروه دارای عملیات های فرآیندی مانند آبکاری، ریخته گری و غیره می‌باشند.

۳ـ۷ـ۲ـ طبقه بندی صنایع توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل UNEP[۸]

۳ـ۷ـ۲ـ۱ـ کشاورزی، جنگل داری، تولید محصولات غذایی:

کشاورزی، جنگل داری، شیلات

محصولات گیاهی و حیوانی ناشی از بخش های مواد غذایی

صنایع تهیه نوشابه

[۸]. United Nations Environment Program

کارخانجات تهیه خوراک حیوانات

۳ـ۷ـ۲ـ۲ـ استخراج معدن (به غیر از هیدروکربورها)

استخراج و حفاری معادن غیر فلزی

استخراج و حفاری معادن فلزی

۳ـ۷ـ۲ـ۳ـ انرژی

صنایع زغال سنگ، شامل استخراج معدن و فراورش گاز و کک سازی

صنایع گاز و نفت شامل استخراج نفت و گاز، محصولات پالایش شده

تولید جریان الکتریسیته

تأمین آب

توزیع یا انتقال انرژی

۳ـ۷ـ۲ـ۴ـ کارخانجات فلزی

متالوژی فلزی

متالوژی غیر فلزی

ذوب آهن و فعالیت های فلز کاری

۳ـ۷ـ۲ـ۵ـ ساخت و تهیه محصولات معدنی غیر فلزی

مصالح ساختمانی، سرامیک و شیشه

تصفیه نمک

مواد آزبستوز

مواد با محصولات ساینده

۳ـ۷ـ۲ـ۶ـ مواد شیمیایی و صنایع وابسته

پتروشیمی ها

تولید مواد شیمیایی اولیه و خوراک شیمیایی اولیه صنایع دیگر

تولید مواد لازم برای چاپ و عکاسی

تولید جوهر یا مرکب، جلا، رنگ و چسب

صنایع تولید عطر و تهیه صابون و مواد پاک کننده

مواد پلاستیک و لاستیک

تهیه و تولید پودرها و مواد منفجره

تولید آفت کش ها

۳ـ۷ـ۲ـ۷ـ محصولات فلزی، صنایع مهندسی و ماشین آلات

مهندسی مکانیک

ساخت ماشین آلات اداری

مهندسی الکترونیک و برق

ساخت موتور وسایل نقلیه و ادوات آن

ساخت سایر تجهیزات در انتقالات

مهندسی تجهیزات

سایر صنایع ساخت محصولات فلزی

۳ـ۷ـ۲ـ۸ـ صنایع نساجی، چرم، پارچه بافی، الوار و چوب:

صنایع نساجی، پارچه بافی، جوراب بافی

صنایع چرم و پوست

صنایع الوار، چوب و مبل

سایر صنایع ساخت وسایل

۳ـ۷ـ۲ـ۹ـ تولید محصولات کاغذی، چاپ و نشر

صنایع کاغذ و مقوا سازی

لابراتورهای عکاسی، چاپ و نشر

۳ـ۷ـ۲ـ۱۰ـ مراکز خدماتی پزشکی، بهسازی و سایر خدمات بهداشتی

مراکز پزشکی، بهداشتی، بیمارستان ها و آزمایشگاه

خدمات دامپزشکی

۳ـ۷ـ۲ـ۱۱ـ خدمات تجاری و خصوصی

رختشویخانه ها، رنگرزی ها و خشکشوی ها

خدمات عمومی

انستیتوی های آرایشی

سایر خدمات فردی

۳ـ۸ـ ارایه وضعیت موجود و پتانسیل آلودگی خاک های کشور

وضعیت موجود خاک های کشور به دلیل پرکندگی اطلاعات و بعضا عدم دسترسی به گزارشات قابل بیان نیست ولی پژوهش های محقق در اصفهان در گزارش حاضر آورده شده است.

عمده ترین پتانسیل آلاینده خاک، فاضلاب های صنعتی و پسماندها هستند. آب در صنایع مصارف متفاوتی دارد و شاید بتوان گفت صنعتی را نمی‌توان یافت که در آن آب استفاده نشود. آب در صنایع به

مصارفی مانند شستشو و تمیز سازی مواد خام، تهیه محلول‌های مختلف، وارد شدن در فرآورده، به عنوان عامل خنک کننده، تولید بخار برای مصارف مختلف، شستشوی وسایل و تجهیزات، شستشوی سالن و محوطه، مصارف طبخ غذا، مصارف بهداشتی، آبیاری و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی در ایران حدود یک تا ۲/۵ درصد از مصارف آب را مصارف صنعتی تشکیل می‌دهد که بیش از ۷۰ درصد این آب به فاضلاب تبدیل می‌شود. لازم به ذکر است که فاضلاب های صنعتی در مقایسه با فاضلاب های شهری، اسیدی تر یا قلیایی تر و آلوده تر می باشند.

به طور کلی از مهمترین ویژگی های فاضلاب های صنعتی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

اسیدیته آزاد

مواد قلیایی قوی

غلظت زیاد مواد محلول

غلظت بالای چربی و روغن

فلزات سنگین و مواد سمی

گازهای بد بو و سمی

مواد معلق، رنگ، بو

دما بالا

وجود میکروارگانیسم های بیماری زا

۳ـ۸ـ۱ـ آلاینده موجود در فاضلاب‌های صنعتی

آلاینده‌های موجود در فاضلاب‌های صنعتی بسیار متنوع هستند. این آلاینده‌ها شامل آلاینده‌های معدنی (غیرآلی) و آلی هستند. تا کنون هزاران هزار ترکیب آلی ساخته شده که در صنایع، تولید یا مصرف می‌شوند و ورود آنها به فاضلاب‌ها اجتناب ناپذیر است. در مدیریت فاضلاب‌های صنعتی اگر هر آلاینده به طور جداگانه مورد بررسی قرارگیرد کاری بسیار مشکل و غیر ممکن خواهد بود، بنابراین برای راحتی کار چندین شاخص یا پارامتر را که نمایانگر آلاینده‌های کل صنایع باشد مورد توجه قرار می دهند. در زیر به این پارامترها اشاره می‌شود.

۱) **جامدات کل،** جامدات محلول و جامدات معلق: جامدات کل به دو دسته جامدات محلول و معلق تقسیم بندی می‌شود. به طور کلی جامدات به عنوان شاخصی از درجه آلودگی فاضلاب محسوب می‌شود. به طوری که هر چه میزان کل جامدات در فاضلاب بیشتر باشد، احتمال وجود آلودگی آن فاضلاب بیشتر است. برای مثال املاح محلول ممکن است ناشی از یک ماده سمی مانند کروم در فاضلاب باشد یا ناشی از یک ماده با مواد سمی بسیار کمتر مانند کلرور سدیم،

۲)**رنگ**: رنگ که از عواملی مانند انواع رنگ‌ها، جوهر و مرکب ایجاد می‌شود. بسته به نوع ماده رنگی و این که در چه ماده‌ای محلول باشد، رنگ می‌تواند روی سطح را بپوشاند و یا در آب مخلوط شود. رنگ

حقیقی فاضلاب که ناشی از عوامل محلول ایجاد کننده رنگ در فاضلاب است، از اهمیت بیشتری برخوردار است و با واحد رنگ حقیقی بیان می‌شود.

۳) بو: یکی از شاخص‌هایی است که به خصوص از وجود ترکیب‌های آلی در فاضلاب مانند حلال‌های آلی آروماتیک یا حلقوی ایجاد می‌شود. همچنین از تجزیه بیولوژیکی ترکیب‌های آلی در فاضلاب در شرایط غیر هوازی در محیط اتفاق می‌افتد و گازهای بو دار مانند هیدروژن سولفید، آمونیاک و یا ترکیب‌های آمین‌ها، دی‌آمین‌ها، را تولید می‌کنند که این ترکیب‌ها دارای بو های بسیار ناخوشایند و متعفن هستند.

۴)دما: اگر فاضلاب‌های صنعتی با دمای بالا وارد رودخانه شود، علاوه بر این که انحلال اکسیژن در آب را کاهش می‌دهد. انحلال پذیری گازها در مایع با افزایش دما کاهش می‌یابد. فعالیت و متابولیسم و سوخت و ساز موجودات زنده را هم زیاد می‌کند و این باعث می‌شود که ماهی‌ها و موجودات اکسیژن خواه در آب به اکسیژن بیشتری نیاز داشته باشند، در صورتی که اکسیژن کمتری در آب موجود است و این اثر مضاعف و تشدید کننده می‌تواند باعث نابودی ماهی‌ها شود. دمای بالا باعث تشدید فعالیت‌های بیولوژیکی و ایجاد بوی بیشتر در آب می‌شود.

۵) روغن و چربی : چربی و روغن، ذرات کلوئیدی و امولسیون‌هایی تشکیل می‌دهند که بسته به نوع و منشا چربی می‌تواند به صورت ذرات بزرگی در سطح آب در آید. اگر پایه‌های حلال چرب باشد ایجاد مشکل می‌کند. ورود چربی و روغن از طریق فاضلاب در محیط باعث بروز مشکلات زیادی می‌شود. چربی و روغن ممکن است به طور ناقص تجزیه شده و بوهای ناخوشایند تولید کند. این مواد سطح آب را می‌پوشانند و علاوه بر ایجاد مناظر ناخوشایند، باعث عدم نفوذ نور و اکسیژن به آب می‌شوند. همچنین نفوذ پذیری و حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی را از بین می‌برند.

۶)pH با توجه به کاربرد ترکیب‌های اسیدی و قلیایی در صنایع، اغلب فاضلاب‌های صنعتی دارای pH اسیدی و یا قلیایی هستند. علاوه بر آن، موجودات آبزی به تغییرات pH حساس هستند و بنابراین ممکن است کل اکولوژی رودخانه و یا دریاچه تحت تاثیر قرار گیرد.

۷) فلزات سنگین: وجود فلزات سنگین در بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی بسیار خطرناک است. این فلزات مانند کروم، نقره، جیوه، روی، مس، آهن، کادمیوم، سلنیوم، آلومینیوم، کبالت و... دارای مواد سمی بالا برای انسان و دیگر موجودات زنده هستند. این آلاینده‌ها در شمار سموم سیستمیک طبقه‌بندی می‌شوند و هر کدام از آنها در عضو خاصی از بدن مانند ریه، کبد، کلیه و حتی دستگاه اعصاب مرکزی تجمع می‌کنند و در دراز مدت منجر به بروز بیماری‌های خطرناک از جمله سرطان می‌شوند. این فلزات می‌توانند در موجودات آبزی و گیاهان هم ذخیره شوند و انسان با مصرف آنها دچار بیماری شود. با توجه به خصلت تجمع‌پذیری این فلزات، اثرات آنها می‌تواند به مرور زمان ایجاد شود.

۸) مواد رادیواکتیو: مواد رادیواکتیو ممکن است د ربعضی از صنایع (به خصوص تولید انرژی) مورد استفاده قرار گیرد که با توجه به خطر بسیار شدید این ترکیب‌ها، اقدامات ویژه ای برای کنترل آنها و عدم نفوذ این ترکیب‌ها به محیط اعمال می‌شود.

۹) ترکیب های آلی با شاخص COD و BOD : از جمله ترکیب‌های بسیار مهم در فاضلاب‌های صنعتی که اقدامات کنترلی مناسبی در جهت تصفیه آنها باید انجام شود، ترکیب‌های آلی هستند. به طور کلی در بیشتر فاضلاب‌های صنعتی مواد آلی وجود دارد. این ترکیب‌ها به دو طبقه تقسیم می‌شوند که هر دو دارای اهمیت هستند.

۱۰) مواد آلی غیر قابل تجزیه بیولوژیکی: این مواد مقاوم به تجزیه بیولوژیکی هستند و ممکن است مدت زمان زیادی (حتی سالیان دراز) در محیط باقی بمانند. اغلب این ترکیب‌ها سنتتیک هستند و از طریق فاضلاب صنایع ممکن است به محیط وارد شوند. این مواد در صورت داشتن مواد سمی، ضرر بیشتری را متوجه محیط زیست می‌کنند.

۱۱) اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD):میزانی از مواد اکسید کننده در آزمایشگاه برای اکسید کردن مواد آلی فاضلاب است. این شاخص بیانگر غلظت کل مواد آلی موجود در فاضلاب است و به عنوان یک شاخص مهم در تعیین درجه آلودگی فاضلاب به ترکیبات آلی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فاضلاب‌هایی که نسبت BOD به COD پایین دارند، دارای قابلیت تجزیه پایین هستند و بنابراین اگر مواد آلی آنها سمی باشد، خطرات بهداشتی بیشتری دارند.

۳ـ۸ـ۲ـ شناسایی و طبقه بندی منابع مختلف آلودگی خاک

منابع متعددی برای آلاینده های متنوع خاک موجود می باشدکه از میان منابع آلاینده موارد زیر مهم‌ترین عوامل آلودگی خاک محسوب می‌شوند لذا آلاینده های خاک بر اساس منبع تولید به ۴ گروه تقسیم بندی می شوند:

الف) آلودگی کشاورزی

*کودها و سموم کشاورزی

*پسماندهای کشاورزی

*پساب های کشاورزی

ب) آلودگی صنعتی

*تخلیه پسماندها و پساب های صنعتی در خاک

*لجن فاضلاب صنعتی

*باطله و شیرابه معادن

ج) آلودگی های شهری

*پسماندهای جامد خانگی

*لجن فاضلاب شهری

*آلودگی ناشی از فعالیت های شهر

*زباله های بیمارستانی

*پسماند و پساب فعالیت های تحقیقاتی و آزمایشگاهی

د) آلودگی‌های نفتی

*برداشت نفت سیاه

*نشت مخازن مواد نفتی

*حمل و نقل مواد نفتی(نشت و واژگونی)

۳ـ۸ـ۳ـ تقسیم بندی آلاینده های خاک براساس ویژگی های آلاینده ها

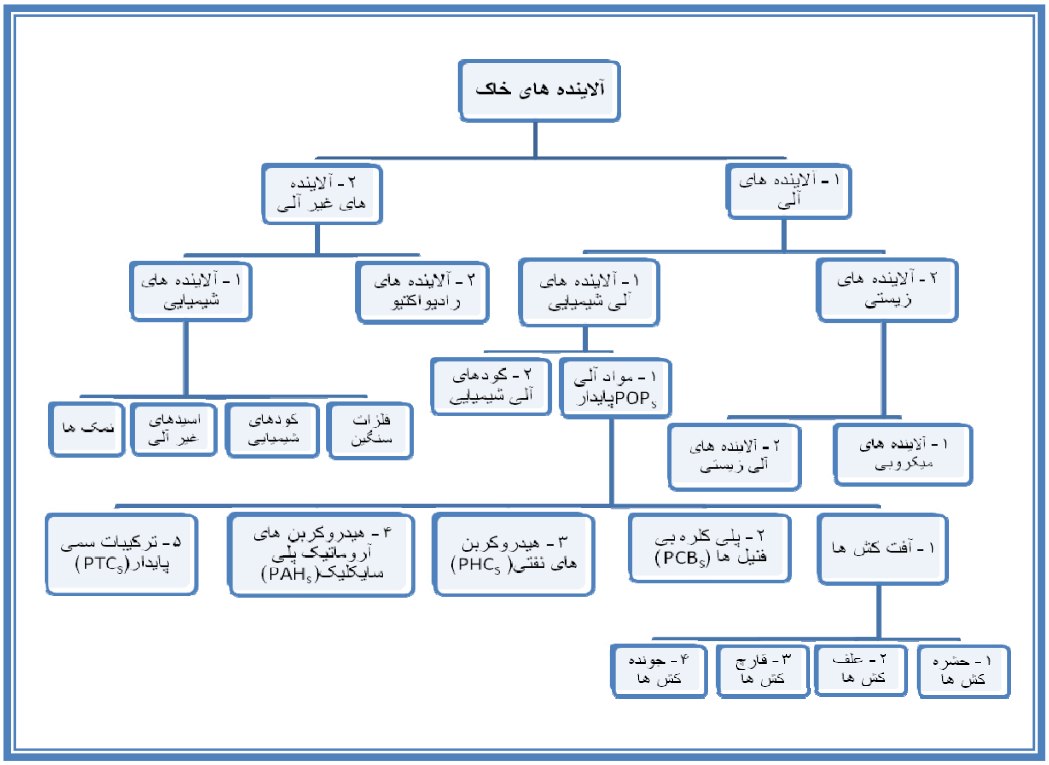
تقسیم بندی آلاینده های خاک براساس خصوصیات آلاینده ها در زیر به صورت کلی و به شکل درختی ارائه گردیده و در ادامه به ویژگی های آلاینده های شاخص، که در روند پایش خاک مورد اهمیت می باشند پرداخته می‌شود زیرا مهمترین موضوع در رفع آلودگی خاک، جلوگیری و یا کاهش تخلیه آلاینده ها با توجه به پتانسیل خطر آنها برای ایجاد اثرات سوء بر خاک، هوا، آب و یا ارگانیسم هایی است که در تماس با خاک می باشند لذا در مسئله رفع آلودگی خاک آلاینده هایی با خواص زیر مد نظراند:

الف) دارای خاصیت سمیت بوده (مثل فلزات سنگین، PCBs، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، دیوکسین ها و غیره).

ب) دارای پتانسیل تحرک در خاک و آسیب به کیفیت آب های زیرزمینی باشند (مثل منوکلروآمین ها، آمین ها و برخی نمک ها).

ج) دارای اثرات نامطلوب بر خواص خاک باشند (مثل نمک های سدیم، میزان بالایی از هیدروکربن های دارای سمیت پایین و سولفور).

شکل ۳-۱ آلاینده های خاک را در دو گروه آلی و غیر آلی نشان می دهد.



شکل ۳-۱- تقسیم بندی آلاینده های خاک بر اساس خصوصیات آلاینده ها

۳ـ۹ـ ارزیابی ریسک آلودگی های خاک های کشور

در دسترس بودن آلوده کننده ها به عنوان یک خطر برای انسان، حیوانات و گیاهانی که در مناطق آلوده زندگی می کنند، محسوب می شود. مسیرهای متفاوتی برای ورود آلاینده‌ها به بدن انسان وجود دارد؛ به عنوان مثال می توان به ورود مستقیم آلاینده‌ها به بدن انسان از طریق بلع و فروبردن خاک ها و آب های آلوده، ورود آلاینده‌ها از طریق استنشاق گرد و غبار آغشته به آلودگی و نیز غذاهای آلوده مانند گیاهان و گوشت حیوانات آلوده اشاره کرد. وجود آلودگی در بدن موجودات و یا درون گیاهان یک حالت تجمعی دارد و آلودگی که درون خاک و آب آلوده به یک آلوده کننده وجود دارد با ورود به حلقه های بالایی زنجیره غذایی یک حالت تجمعی دارد.

مدیریت های متفاوتی برای مکان هایی آلوده شده وجود دارد. خاک این مکان ها را معمولاً یا توسط یکسری تکنیک های مشخص اصلاح کرده یا در صورتی که نتوان آلودگی موجود در آنها را با تکنیک های موجود اصلاح کرد باید آنها را به گونه ای حذف کرد.

بنابراین خاک های آلوده می توانند یک خطر برای سلامت انسان، حیوانات و گیاهان محسوب شوند. خاک ها با دو سطح استاندارد (Standard value) و سطح نیاز به پاک سازی (Clean-up value) برای آلودگی خاک قابل ارزیابی می اشند. وقتی آلودگی موجود در خاک از سطح استاندارد تجاوز کند، این خاک

با توجه به شاخص های علمی و تجربی می تواند برای انسان، حیوانات و گیاهان همراه با خطر باشد. در این شرایط مسئولین مربوطه باید بررسی کنند که آیا آلودگی موجود در خاک به عنوان یک خطر برای انسان، حیوانات یا گیاهان محسوب می شود یا نه (Risk assessment)؟ در شرایطی که تشخیص داده شود که خاک موجود در آن منطقه به عنوان یک خطر محسوب می شود، مسئولین مربوطه باید استفاده از آن را ممنوع کنند تا محدوده آلودگی و خطر این خاک ها افزایش نیابد. در جاهایی که سطح آلودگی خاک در منطقه بیش از سطح نیاز به پاکسازی (Clean-up value) باشد، استفاده از آن خطرناک است و بایستی استفاده از آن ممنوع شود یا اینکه نسبت به رفع آلودگی خاک منطقه اقدام شود. در این حالت استفاده از خاک منطقه بدون خطر نمی باشد و در این شرایط نیازی به ارزیابی خطر برای آلودگی مربوطه نمی باشد.

برای داشتن یک راهنما برای بررسی و ارزیابی خاک های آلوده باید به موارد زیر توجه شود:

- چه چیز باعث خطر آلودگی در یک منطقه شده است؟
- ارزیابی این که آیا یک خطر قطعی در منطقه وجود دارد؟
- چه پارامترهایی باید برای ارزیابی خطر قطعی در منطقه اندازه گیری شود؟

برای اقدام به رفع آلودگی خاک لازم است استانداردهای خاک را در نظر گرفته شود و سپس عملیات رفع آلودگی را با توجه به انواع روش پاک سازی انجام داد.

ـ سطح استاندارد آلودگی در خاک[۹]

سطح استاندارد، سطحی از تاثیرات آلودگی بر خاک را نشان می‌دهد چنانچه آلودگی در خاک بیش از آن شود بر اساس اطلاعات علمی موجود و بر اساس تجربه می تواند به عنوان خطر برای انسان، حیوانات و گیاهان محسوب شود. این سطح به عنوان یک حد معین در نظر گرفته می شود که اگر به طور واقعی در یک ناحیه وجود داشته باشد می تواند به عنوان یک عامل اختلال در سلامت انسان و نیز به عنوان یک عامل مضر در محیط زیست محسوب می شود.

اگر در یک ناحیه معین مقدار آلودگی در خاک بیش از سطح استاندارد آن باشد بایستی مناطق موجود در این ناحیه مورد بررسی قرار گیرند، که آیا خاک های منطقه به عنوان یک خطر برای انسان، حیوانات یا گیاهان محسوب می شود یا نه؟ یعنی در این ناحیه باید ارزیابی خطر (Risk Assessment) صورت پذیرد. در این موارد بسته به وضعیت آلودگی و ویژگی های منطقه استفاده از خاک این منطقه باید محدود و یا ممنوع شود. نوع کاربری و محل قرارگیری خاک در چرخه غذایی انسان بر روی سطح استاندارد در خاک تاثیرگذار است. خاک می تواند به عنوان محلی برای کشت گیاهان خوراکی، به عنوان محلی برای کشت خوراک دام، که خود در چرخه غذایی انسان دارای اهمیت ویژه می‌باشند، باشد. همچنین خاک می‌تواند به طور مستقیم و از طریق بلع وارد بدن انسان شود که این مورد در کودکان بیشتر اهمیت دارد.

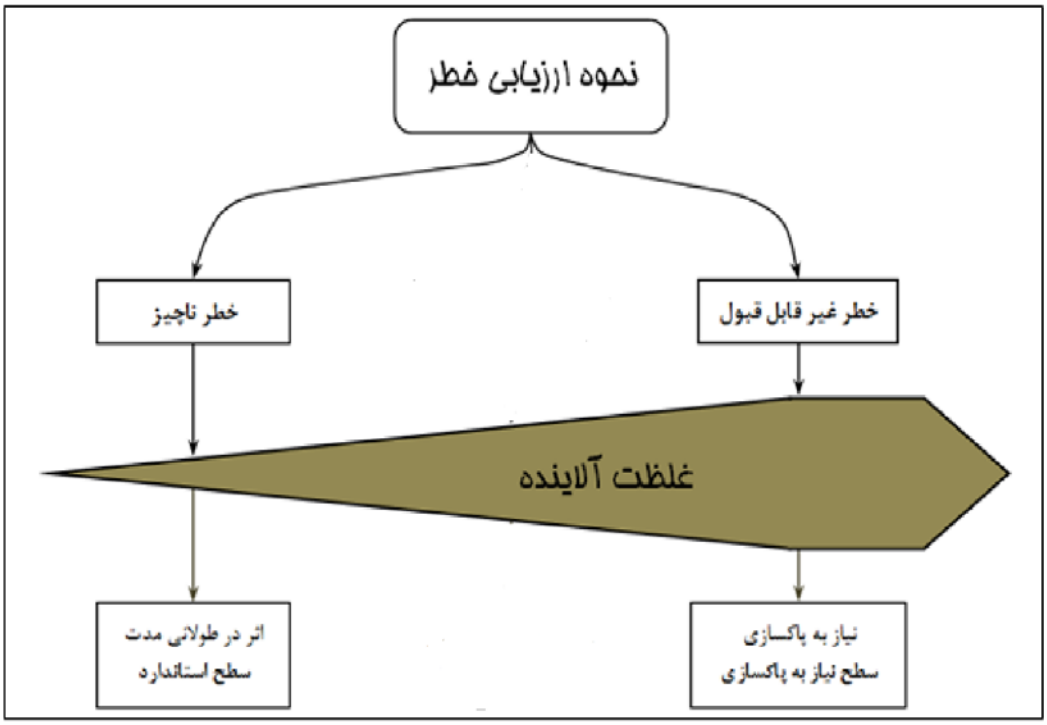
سطح نیاز به پاک سازی آلودگی خاک[۱۰]

۹-Standard value

سطح نیاز به پاکسازی آلودگی خاک، شاخصی از آلودگی خاک است که اگر آلودگی در خاک بیش از آن شود استفاده از آن حتماً و با در نظر گرفتن علوم و تجربیات علمی موجود خطراتی برای انسان، حیوانات و گیاهان به همراه خواهد داشت.

جایی که آلودگی در خاک بیش از سطح نیاز به پاک سازی آلودگی خاک شود استفاده از نواحی موجود در آن منطقه باید ممنوع شود. در مناطقی که برای استفاده های باغبانی، کشاورزی یا جنگل در برنامه ریزی های توسعه ای طراحی شده اند باید اقداماتی جهت کاهش اثرات و پایین نگه داشتن آلودگی زیر سطح نیاز به پاک سازی آلودگی خاک انجام شود تا اجازه کشت و کار در آن مناطق بدون ایجاد خطر برای انسان، حیوانات و گیاهان داده شود.

شکل ۳-۲ شیوه کلی کار در ارزیابی یک آلاینده را به صورت شماتیک نشان می دهند.



شکل ۳-۲- نحوه ارزیابی خطر آلاینده ها در خاک با توجه به غلظت آلاینده در خاک

ـ نوع کاربری

نوع کاربری یک منطقه، نوع و طریقه مسیر ارتباط انسان، حیوانات و گیاهان را با خاک منطقه که می‌تواند به عنوان یک خطر برای آنها باشد را تعیین می کند. به طور کلی برای سطح استاندارد در خاک و برای ارزیابی خطر آلودگی ها در خاک سه نوع مسیر و به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

- کشت و کار گیاهان خوراکی (مانند زراعت، سبزی‌کاری، میوه کاری و باغ های خانگی)
- کشت و کار علوفه دام (مانند تولید علوفه دام، علفزارها و مراتع)

۱۰-Clean-up value

- استفاده مستقیم از خاک از طریق بلع (مانند باغ های خانگی، محیط های بازی کودکان، کودکستان ها، محیط های مدارس، فضای سبز و محیط های ورزشی ,)

این سه مسیر شامل کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل، مسکونی، تجاری صنعتی و پارک - تفریحی می‌باشد. که مسیر کشت و کار گیاهان خوارکی برای کاربری کشاورزی، مسیر کشت وکار گیاهان علوفه‌ای برای مرتع و جنگل و مسیر بلع خاک برای کاربری‌های مسکونی، تجاری صنعتی و پارک - تفریحی استفاده شده است.

کاربری مسکونی

کاربری مسکونی زمین به عنوان یک تعریف کلی، انواع مختلف این نوع کاربری همچون: مناطق مسکونی روستایی، شهری (خانه‌های ویلایی، آپارتمان‌ها، مجتمع‌های مسکونی و ...) ویلاهای مسکونی و به طور کلی هر زمینی که به منظور سکونت انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد، را شامل می‌شود.

مهم‌ترین مسیر تماس با خاک در کاربری مسکونی بلع خاک آلوده می‌باشد. با در نظر گرفتن شرایط موجود در ایران و سبک زندگی عمومی و نسبت شهرنشینی و سایر پارامترهای تأثیرگذار، سبزیجات پرورش یافته در منازل سهم زیادی از کل نیاز روزانه را شامل نمی‌شود. در گزارش حاضر نیز استفاده از سبزیجات خانگی در محاسبه ارزیابی استفاده نشده است به دلیل این روشی است که با ساده‌ترین روش خطر آلودگی خاک سنجش می‌شود.

کاربری پارک-تفریحی

کاربری پارک تفریحی در تقسیم‌بندی کاربری اراضی در برخی از کشورها مثل هلند و استرالیا به عنوان یک کاربری مستقل تقسیم‌بندی می‌شود و لی در برخی کشورها همراه با کاربری مسکونی به عنوان یک کاربری در نظر گرفته می‌شود. در این گزارش با توجه به سبک زندگی ایرانی‌ها در استفاده از فضاهای سبز شهری و پارک‌ها به صورت عمومی، این سناریو به عنوان یک کاربری مستقل در نظر گرفته شده است. در کاربری پارک - تفریحی بلع خاک مهم‌ترین مسیر در معرض تماس با خاک در نظر گرفته شده است و در این کاربری کودکان مهم‌ترین پذیرنده‌های آلاینده‌ها می‌باشند.

کاربری تجاری- صنعتی

وجود آلودگی در یک منطقه صنعتی امری معمول است. این زمین‌ها ممکن است زمین‌های صنعتی باقی بمانند و یا این که تغییر کاربری داده به مکان‌های تجاری مثل مرکز خرید تبدیل شوند. برخی مناطق صنعتی دارای قسمت‌های زیادی باشند که تماس مستقیم با خاک امکان‌پذیر باشد. در صورتی که در کاربری تجاری اغلب و یا بیشتر سطح زمین پوشیده(سنگفرش) است که این مطالب نشان‌دهنده گستردگی محدوده تماس با خاک در این کاربری می‌باشد. مهم‌ترین مسیر تماس انسان با آلاینده‌ها بلع خاک می‌باشد.

کاربری کشاورزی

با توجه به گستردگی مناطق و زمین‌های کشاورزی در سراسر کشور به گونه‌ای که به عنوان یکی از کاربری‌های اصلی زمین در ایران شناخته می‌شود و تعداد قابل توجهی از افراد در تماس با این مناطق می‌باشد. زمین‌های کشاورزی اغلب در مناطق روستایی واقع شده‌اند ولی در برخی مناطق شهری و بخصوص حومه شهرهای ایران نیز فعالیت‌های کشاورزی قابل مشاهده می‌باشد. زمین‌های کشاورزی از نقطه نظر مصرف آلاینده‌هایی همچون انواع آفت‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و کودهای آلی و معدنی حائز اهمیت می‌باشد. بخصوص در زمین‌های کشاورزی ایران که کاربرد این مواد اغلب به صورت بی‌رویه و بیش از مقدار مورد نیاز استفاده می‌شود.

اهمیت کاربری کشاورزی در استفاده از انواع آلاینده‌های شیمیایی و قابلیت جذب آلاینده‌ها در محصولات تولیدی می‌باشد.

کاربری جنگل و مرتع

مناطق جنگلی و مراتع در بخش‌های گسترده در کشور ایران وجود دارند. بخصوص در مناطق شمال و شمال‌غرب ایران تراکم مناطق جنگلی قابل توجه بوده و زمین‌های مرتعی نیز نسبت قابل توجهی از کل کشور را به خود اختصاص داده‌اند.

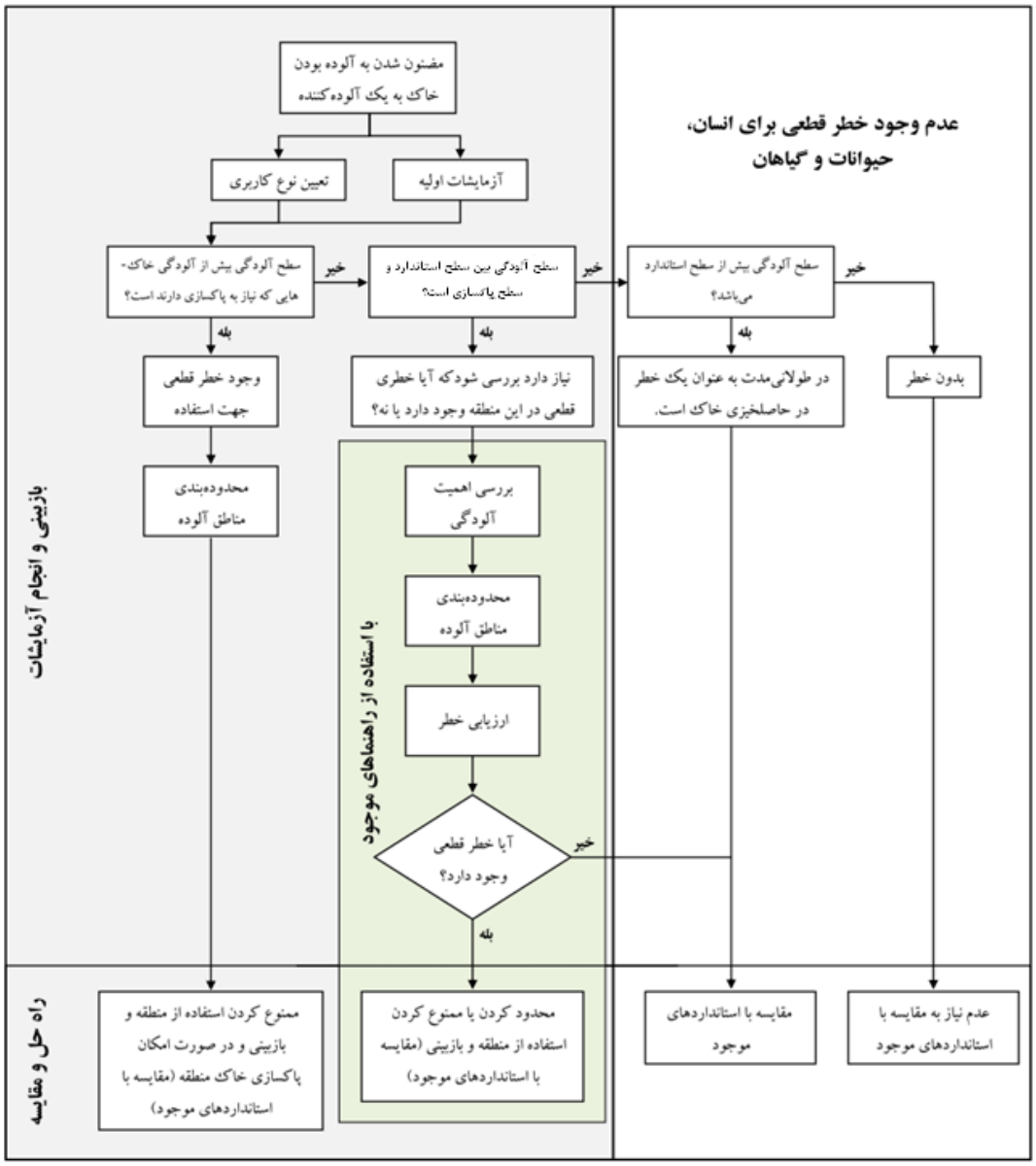
انتقال آلاینده‌های موجود در خاک‌های جنگلی و مرتعی به انسان بیشتر به صورت غیرمستقیم و غالباً از طریق حیوانات چراکننده در این مناطق و گیاهان پرورش یافته در این مناطق می‌باشد. با توجه به میزان مصرف گوشت در ایران و در نظر گرفتن این موضوع که مراتع سهم عمده‌ای در تأمین علوفه و مواد غذایی مورد نیاز حیوانات دارند، مسیرهای انتقال غیرمستقیم آلودگی خاک این مناطق به انسان حائز اهمیت می‌باشد.

در تعیین نحوه استفاده از خاک باید اطلاعات زیر نیز برای خاک های آلوده ثبت شود:

- نوع استفاده از خاک در حال حاضر (برای ارزیابی خطر)
- برنامه ها و امکان استفاده از خاک در آینده در طرح های توسعه ای (این موضوع برای ارزیابی امکان خطرات در آینده و بازبینی های خاک مورد نیاز می باشد. به عنوان مثال مناطق کشاورزی آلوده می تواند با تغییر کاربری های به محیط های مسکونی تبدیل شود).

۳ـ۱۰ـ بررسی اهمیت آلوده‌کننده‌ها

اهمیت یک آلوده کننده خاک باید با توجه به خطر آن آلوده کننده برای انسان تعیین می‌شود. مسیرهای ظهور (ورود) آلوده‌کننده بستگی به نوع کاربری و نوع آلوده کننده دارد. در مورد آلوده‌کننده های مختلف خاک در بخش های پیشین توضیحات لازم داده شده است که در ارزیابی خاک از لحاظ آلودگی اهمیت نوع آلودگی در اقدامات و راه حل رفع مشکلات مهم می باشد. شکل ۳ـ۳ اهمیت آلاینده ها از لحاظ مسیرهای تماس انسان، حیوان و گیاه با آلودگی به طور مختصر توضیح داده می‌شود.



شکل۳ـ۳ـ فلوچارت ارزیابی یک آلاینده

۳ـ۱۱ـ ارزیابی خطر

اگر آزمایشات و تجزیه و تحلیل هایی روی خاک نشان داد که مقدار آلوده کننده در آن خاک بیش از سطح استاندارد آلودگی در خاک است، این آلوده کننده ممکن است به عنوان یک خطر قطعی برای انسان، حیوانات و گیاهان محسوب شود و در این خاک ها نیاز است که ارزیابی خطر مربوط به این آلوده کننده انجام شود (به استثناء زمانی که ممنوعیت های استفاده به صورت داوطلبانه پذیرفته شده باشد). هدف از ارزیابی خطر تعیین اثرات یک آلاینده بر انسان، حیوانات یا گیاهان با دقت ممکن می‌باشد. روش ارزیابی

خطر بسته به نوع استفاده کننده از خاک منطقه دارد. ارزیابی خطر به طور کلی در دو بخش تفکیک اثر آلوده کننده[11] و سنجش اثر آلوده کننده[12] انجام می شود:

- در تفکیک اثر آلوده کننده، اثر و مسیر ورود آلوده کننده به درون بدن انسان، حیوانات یا گیاهان تعیین می‌شود.
- در سنجش اثر آلوده کننده، تعیین می شود که آیا این آلاینده به عنوان یک خطر برای انسان، حیوانات یا گیاهان محسوب می شود.

سنجش اثر آلوده کننده، بر اساس حداکثر سطح علمی و قانونی یک آلوده کننده که به عنوان سطح مسموم کننده و سطح بحرانی تعیین شده است (یعنی حداکثر غلظت مجاز در غذا انسان، غذای دام و حداکثر غلظت مجاز در خاک هایی که توسط انسان و حیوانات به صورت مستقیم بلعیده می شود). برای سنجش اثر آلوده کننده یک تقسیم‌بندی برای خطر ناشی از اثر آلوده کننده انجام شده است که در جدول ۳ـ۹ آورده شده است.

جدول ۳ـ۹ـ تعیین نوع خطر یک آلوده کننده

نوع اثرات آلوده کننده	نوع خطر
مقدار آلوده کننده در غذای انسان و حیوانات و نیز در خاکی که توسط انسان و حیوانات بلعیده می شود چندان افزایش نیافته است.	← بدون خطر
مقدار آلوده کننده در غذای انسان و حیوانات و نیز در خاکی که توسط انسان و حیوانات بلعیده می شود به مقدار قابل توجه ای افزایش یافته است اما در هیچ محلی مقدار آلوده کننده بیش تر از حداکثر سطح علمی و قانونی یک آلوده کننده که به عنوان سطح مسموم کننده و سطح بحرانی تعیین شده است، وجود ندارد.	← امکان وجود خطر
مقدار آلوده کننده در غذای انسان و حیوانات و نیز در خاکی که توسط انسان و حیوانات بلعیده می شود بیش تر از حداکثر سطح علمی و قانونی یک آلوده کننده که به عنوان سطح مسموم‌کننده و سطح بحرانی تعیین شده است، می باشد.	← خطر قطعی

۳ـ۱۱ـ۱ـ ارزیابی خطر با استفاده از سیستم های کارشناسی

برای هر یک از جنبه های کاربری خاک (به عنوان غذای انسان، غذای حیوان و بلع مستقیم خاک توسط انسان و حیوان) راهنمایی تهیه شده است که به عنوان سیستم های کارشناسی ارزیابی نامیده می شوند. در این سیستم ها با حداقل تلاش قادر به انجام ارزیابی خطر در یک منطقه خواهیم بود. در سیستم های کارشناسی برای پارامترهای جداگانه درجه هایی تعیین شده است که با جمع کردن هر یک از درجه ها رتبه مربوط به خطر تعیین می‌شود و نهایتاً نوع خطر بر اساس این رتبه تعیین شده بدست می آید.

۱۱-Impact analysis
۱۲-Impact evaluation

سیستم های کارشناسی برای غلظت های آلوده کننده‌ها بین سطح استاندارد آلودگی و سطح نیاز به پاک سازی (رفع)آلودگی خاک واسنجی شده است و تنها در این محدوده قابل کاربرد است. در این روش غلظت آلوده کننده‌ها بر اساس غلظت کل آلوده کننده ارائه می شود؛ زیرا معمولاً داده ها مربوط به غلظت کل آلوده کننده ها بر اساس تحقیقات پیشین وجود دارد و از طرفی غلظت محلول معمولاً برای آلوده‌کننده ها قطعی نمی باشند (مانند سرب).

ارزیابی خطر به روش بررسی جزئیات لازم است در جاهایی که عدم قطعیت بالایی وجود دارد انجام شود. مثلاً در محیط هایی که داده های ورودی قابل اعتمادی وجود ندارد لازم است از این روش برای ارزیابی خطر یک آلوده‌کننده استفاده شود. به طور کلی یک قانون در مورد کاربرد روش کارشناسی و روش بررسی جزئیات وجود دارد:

یک ارزیابی که بر اساس روش کارشناسی معتبر است مگر اینکه ارزیابی خطر به روش بررسی جزئیات این موضوع را رد کند.

وقتی که مقدار آلوده کننده در یک محلی نزدیک سطح پاک سازی (بیشتر از میانه بین سطح استاندارد و پاک سازی) در آن منطقه باشد، لازم است در مورد آن تصمیمات مربوطه گرفته شود(جدول ۳ـ۱۰). مثلاً در جاهایی که ارزیابی خطر نشان داده است که یک خطر قطعی یا امکان وجود خطر ناشی از یک آلوده کننده در آن منطقه وجود دارد، باید نسبت به رفع و کاهش این خطر اقدام شود و در مکان‌هایی که ارزیابی های انجام شده خطری را ناشی از یک آلوده کننده نشان نمی دهند، با این وجود باید با استفاده از استانداردهای تعیین شده مورد بازبینی قرارگیرد.

جدول ۳ـ۱۰ـ تصمیم های کلی در مورد نوع خطر تعیین شده

نوع خطر	راه حل ها
بدون خطر	← نظارت، بازبینی و کنترل
امکان وجود خطر	← در صورت وجود خطر، با توجه به نوع خطر و آلودگی استفاده مناسب از خاک پیشنهاد می‌شود؛ نظارت، بازبینی و کنترل نیز وجود دارد.
خطر قطعی	← محدود و ممنوع کردن استفاده از خاک منطقه و در صورت امکان اقدام به پاک سازی خاک منطقه می شود؛ نظارت و بازبینی اضافی و نیز کنترل های لازم در این منطقه انجام می شود.

۳ـ۱۲ ـ ارزیابی ریسک آلودگی های خاک های کشور

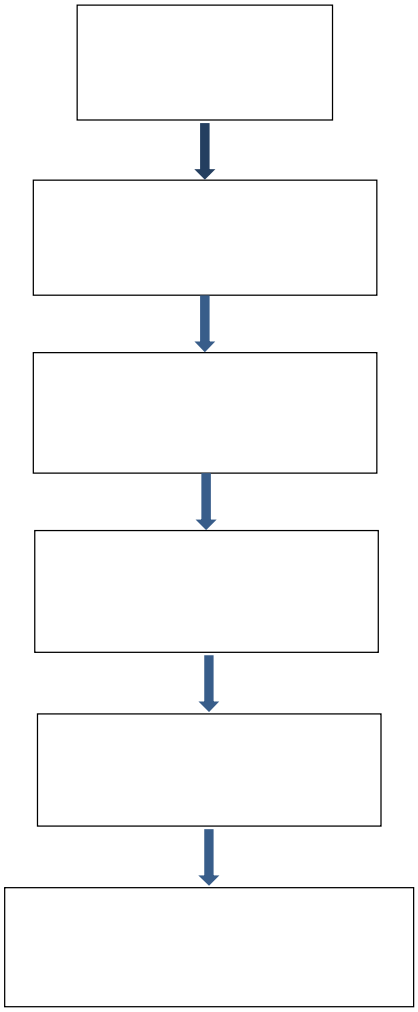
خاک یک منبع محدود و ارزشمند است. شناسایی و برخورد با آلودگی خاک به منظور حمایت از افزایش کیفیت زندگی برای جوامع و حفاظت از تنوع زیستی است. آلودگی خاک برای انسان و محیط زیست مضر است و نیاز کنترل دارد. عدم اطمینان در مورد وجود و ماهیت بالقوه خطرناک از آلودگی خاک اعتماد به نفس در توسعه و برنامه ریزی را کاهش می دهد. برنامه توسعه به اطلاعاتی درباره وسعت و اهمیت

آلودگی نیازدارد به طوری که هزینه های برخورد با آن به دنبال استفاده ایمن را می توان با دقت ارزیابی کرد. ضوابط اجرایی بایستی به تواند منافع عمومی ، از جمله آسیب رساندن به سلامت انسان، محیط زیست و فعالیت های اقتصادی گسترده تررا محافظت کند. در این بخش سه مرحله برای مدیریت خاک های آلوده در نظر گرفته شده است: در مرحله اول، شناسایی سایت خاک های آلوده، مرحله دوم فرایند ارزیابی سایت و مرحله آخر روش نمونه برداری و آنالیز خاک های آلوده است. هدف از ارزیابی سایت ویژه برای تصمیم گرفتن این که سایت، خطر واقعی یا بالقوه برای سلامتی انسان یا محیط زیست دارد.

۳ـ۱۲ـ۱ـ مرحله اول شناسایی سایت خاک آلوده

فاز اول شناسایی، سایت

هدف از این مرحله توسعه یک مدل مفهومی برای سایت آلوده است، که ارتباطات مهم منبع ـ مسیر ـ گیرنده را در سایت توصیف کند و باعث یک ارزیابی مقدماتی از اهمیت آنها شود. مرحله شناسایی فاز اول در شکل ۳ـ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳ـ۴ : فلوچارت فاز اول شناسایی ارزیابی خطر

شرایط فیزیکی سایت می تواند آمادگی آن و محیط اطراف ش را تشریح کند. استفاده های عمومی، تجاری و سوابق ویژه، عارضه های مهم طبیعی و حال حاضر سایت شناسایی شوند. منابع احتمالی آلودگی موجود به وسیله مرور و بررسی استفاده های گذشته و جاری از آن ارزیابی شود.

هدف فاز اول در شناسایی سایت شامل قضاوت زمینی قابل دسترس برای مطالعه سایت است. قضاوت زمینی شامل :

۱ـ تشریح شکل موجود سایت، مانند عارضه های ثبت شده در حال حاضر، تانک ها، ضایعات، استخر آب سطحی و جاری، گیاهان.

۲ـ منابع ویژه و عمومی حال حاضر

۳ـ گیرنده های احتمالی حال حاضر

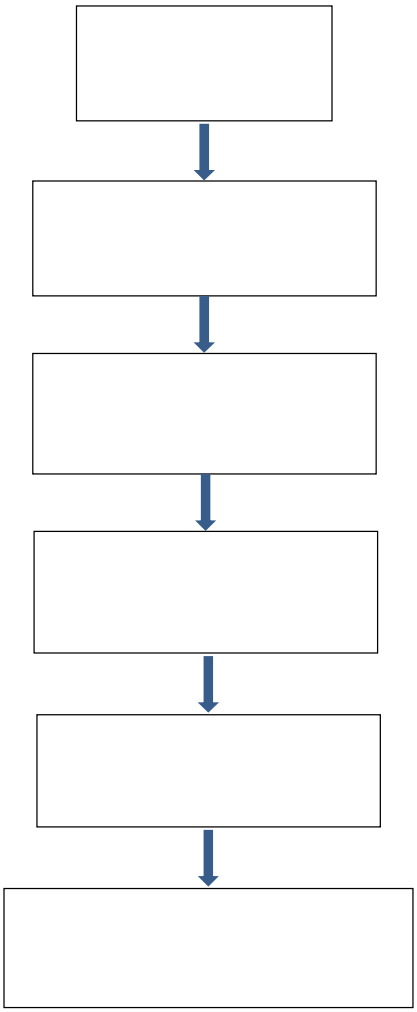
۴ـ مسیرهایی که آلودگی می تواند به گیرنده ها برسد. مانند .زه کش ها، رودخانه ها یا روان آب های سطحی و زیر سطحی، غبار

۵ـ مشاهده دقیق آسیب واقعی آلودگی برای گیرندگان، مانند آسیب آلودگی برای آب سطحی و گیاهان.

قضاوت سیستماتیک زمینی برای درمعرض قرار گیری گیرندگان ضروری است. در این فاز بررسی اولیه، تعداد کم نمونه برداشت شده برای آنالیز آزمایشگاهی است.

فاز دوم شناسایی، ارزیابی خطر

هدف این فاز، تست مدل مفهومی توسعه یافته در فاز اولیه ارزیابی است. برای این منظور،کمی کردن منابع ویژه و احتمال انتقال آلودگی ها به گیرندگان، و طبقه بندی ارتباطات آلاینده ها در مراحل خطر حال حاضر برای گیرندگان انجام می شود. شکل ۳ـ۵ فلوچارت فاز دوم شناسایی (ارزیابی ریسک) را نشان می دهد.



شکل ۳ـ۵ : فاز دوم شناسایی(ارزیابی ریسک) در مرحله شناسایی

در این فاز جمع آوری و آنالیز همه اطلاعات در حال حاضرسایت، خصوصا مجموعه سوابق و طرح ها ی کنونی آن برای درک احتمالی بهتر سایت مورد نیاز است. از سوی دیگر عارضه های زیر سطحی و وضعیت هایی که می تواند تشریح بهتر هدف مدل مفهومی سایت را در برگیرد مورد توجه است.

موفقیت نتایج ارزیابی فاز دو بستگی به تجزیه و تحلیل دقیق داده برای اعتبار مدل مفهومی و شناسایی ارتباطات مورد نظر آلاینده برای ورود به مرحله دوم ارزیابی ریسک است.

نقطه شروع برای ارزیابی ریسک اطلاعات قابل قبول در مورد ارتباط منبع ـ مسیر ـ گیرنده برای سایت است که در حال ارزیابی است. در این مرحله ، مدل مفهومی برای سایت باید تکمیل شود. هدف مرحله دوم" ارزیابی ریسک" این هست که در سایت یک خطر واقعی یا بالقوه از خاک های آلوده شناسایی شده است، و این شناسایی به برآورد و تاثیر آن به عنوان مبنایی برای مدیریت ریسک ارزیابی می باشد. شکل ۳ فلو چارت جریان برای ارزیابی خطر مرحله دوم را نشان می دهد. قسمت اول ارزیابی برآورد خطر است، تخمین از آسیب احتمالی به همه گیرنده در ارتباط منبع ـ مسیر ـ گیرنده شناسایی شده اند در این بخش قرار می گیرد. بخش دوم ارزیابی خطر است. ملاحظات قابل قبول برای آسیب احتمالی به گیرنده، و شناسایی و ارزیابی گزینه های اولیه برای مقابله با خطرات غیر قابل قبول است. برای سایت های بزرگتر و پیچیده بایستی برای هر منطقه مدل مفهومی تهیه شود و تمایز و ارتباطات آلاینده ها بین مناطق مد نظر قرار گیرد.

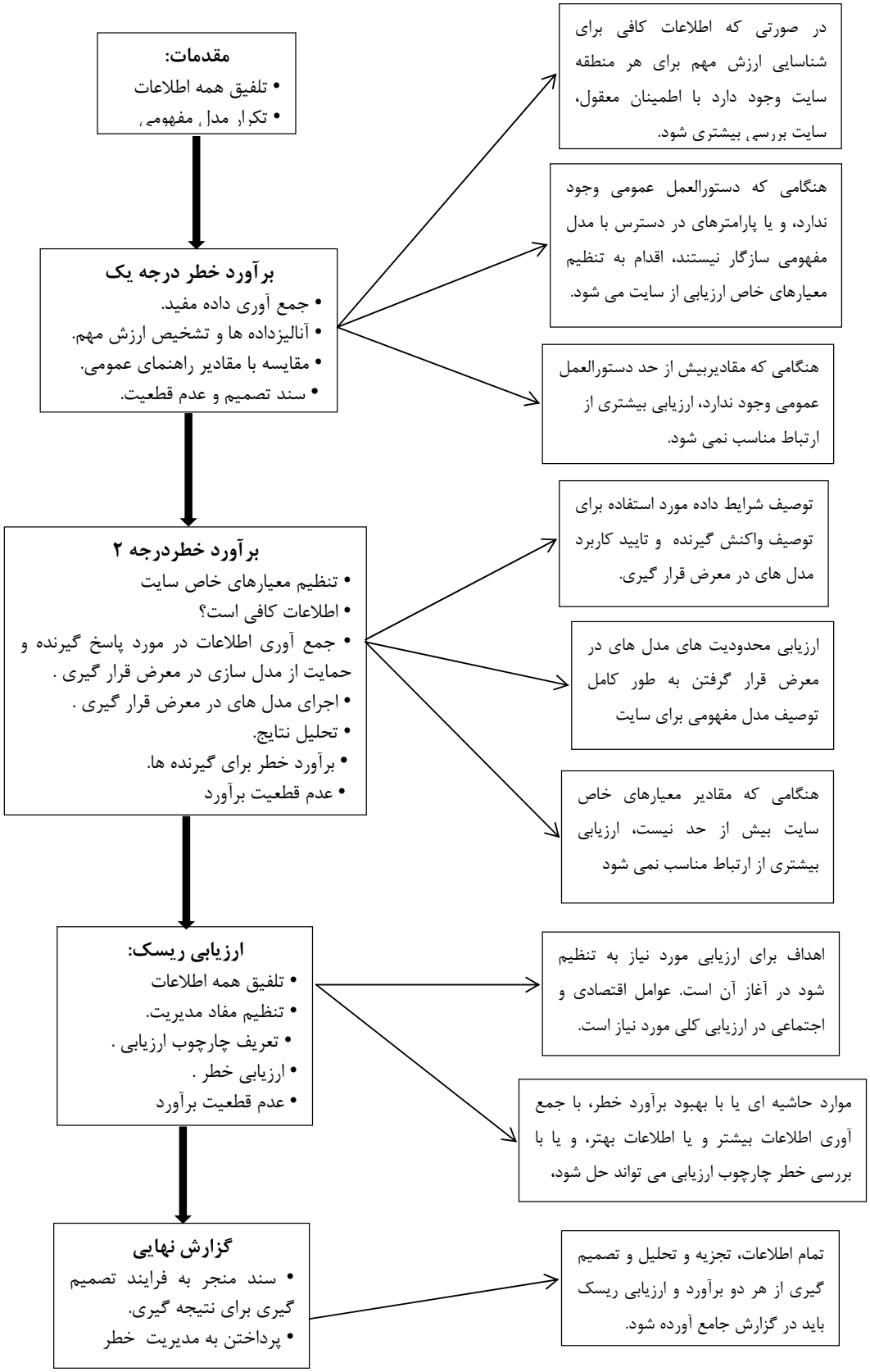
برآورد خطر

برآورد خطر دارای مزایای زیادی است مهمترین مزایای برآورد عبارت است از ۱ـ دامنه خطر ۲ـ جمع آوری اطلاعات جدید ۳ـ نتایج فرآیند برآورد.

درجه نخست از فرآیند برآورد خطر در معیارهای ارزیابی خطر "عمومی" متکی به سطوح راهنمای آلودگی است که می تواند مورد استفاده قرار گیرد. عواملی که در ارتباط با آلاینده هستند امکان آسیب قابل توجهی به انواع خاصی از گیرنده ها را دارند.

برآورد خطر درجه دوم ممکن است برای سایت خاص باشد که اطلاعات اضافی نیاز دارد، بر اساس تحقیق دقیق سایت است که توصیف آن به طور کامل در حد و ماهیت آلودگی و مسیر آن به گیرنده، اطلاعات اضافی به دست می آید. دامنه این درجه برای اطلاع رسانی برآورد خطر با شرح مفصل تر از گیرنده ها ممکن است محدود شود.

مرحله اول ارزیابی ریسک باید درک پایه ای ازانواع آلاینده حاضر در سایت و حجم آن را فراهم آورد. برای حمایت از برآورد خطر درجه دوم ، معمولا اطلاعات بیشتری مورد نیاز است.



شکل ۳ـ۶ : فلوچارت برای مرحله دوم ارزیابی خطر

برای هر منطقه و یا ناحیه ای از سایت که در حال ارزیابی و یا مدیریت ریسک است یک مقدار نماینده با برآورد عدم قطعیت برای غلظت آلاینده مورد نیاز است. در بسیاری از موارد، این مقدار به عنوان میانگین نمونه گرفته شده در نظر گرفته می شود. با این حال، شناسایی چگونه توزیع مجموعه داده ها باید به دقت مورد مطالعه قرار گیرد، و تخمین های دیگر از ارزش مهم، ممکن است در نظر گرفته شود. برآورد عدم اطمینان باید با تکیه بر قضاوت محافظه کار و همچنین در روش های آماری انجام شود. بسیاری از مجموعه داده ها به طور معمول توزیع نشده، تعداد نمونه ممکن است کم و عدم اطمینان به طور کلی در هر صورت تحت تاثیر ترکیبی از هر دو اشتباهات نمونه گیری و آزمایش کنترل شده و کنترل نشده باشد. به عنوان مثال، در حالی که دقت تست روش ممکن است اندازه گیری و گزارش شده باشد، خطاهایی که از حجم نمونه، آماده سازی و پس از آن نمونه فرعی بوجود می آیند کمتر شناسایی شده است.

چالش مدیریت زمین های آلوده به دلیل آن است که با عدم اطمینان روبرو است. ماهیت و میزان آلودگی اغلب برای توصیف به اندازه کافی مشکل است. سم شناسی یا دیگر تاثیر سوء آلودگی در انسان و محیط زیست در بسیاری از موارد قابل پیش بینی است و به ندرت می توان به طور مستقیم اندازه گیری کرد. حرکت آلاینده ها از منبع به گیرنده را می توان از طریق یک ماتریس سایت ناهمگن و شناخت مدل پیچیده آن ارزیابی نمود. با این حال، اعتماد به نفس و استفاده موثر از اطلاعات و منابع موجود می تواند با رویکرد مرحله به مرحله و تضمین بهینه سازی شده، در هر فاز پی در پی، که اطلاعات و اقدامات با کیفیت شناخته شده است را بدست آورد وپس از مستند سازی به طور کامل به همه ذینفعان ابلاغ نمود.

۳ـ۱۳ـ ارائه راهکارهای کاهش آلودگی و تصفیه آلودگی و پالایش با توجه به شرایط خاک های کشور [۳]

انتخاب و استفاده از فناوری های جدید برای رفع آلودگی و پاک سازی آلودگی خاک به سرعت افزایش یافته است، و فناوری های جدید پیوسته پدیدار می شوند. هدف از تحقیقات رفع آلودگی یا مطالعات امکان پذیری (Remedial Investigation/Feasibility Studies (RI/FS)) و پروژه های پاک سازی آلودگی خاک، شامل بدست آوردن اطلاعات کافی بر روی یک سایت، با دقت و انتخاب بهترین روش های اجرایی رفع آلودگی است. گردآوری این اطلاعات می تواند مستلزم زمان، تلاش و بودجه های قابل ملاحظه ای می باشد. در تعدادی موارد، جمع آوری اطلاعات با تمرکز بر درمان های ویژه ای که تحت شرایط مشابه اثبات شده اند، امکان دارد.طیف وسیعی از فناوری های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی به منظورکاهش، تصفیه و پالایش خاک های آلوده وجود دارد که در همه آنها هدف رفع، کاهش و یا تثبیت آلودگی و جلوگیری از انتقال آنها به آب های سطحی و زیرزمینی است. بر اساس پروتکل سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا اگر غلظت مواد مختلف در خاک بیش از اندازه شود باید تحت شرایط استاندارد و با به کارگیری روش های استاندارد آلودگی رفع گردند به گونه ای که از هر گونه تماس آنها با محیط زیست

جلوگیری شود. فناوری های پالایش و رفع آلودگی خاک شامل روش های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی بوده که در زیر به اختصار به بررسی برخی از این روش ها پرداخته می شود.

ـ فرآیندهای پالایش فیزیکی

ـ خاک‌برداری و دفن کردن

انتقال و دفن آلاینده به محلی مناسب یکی از مرسوم ترین روش ها جهت پاک سازی محل های آلوده به فلزات سنگین است. در این روش نیاز به تعیین مرز آلودگی، شناسایی یک منطقه مناسب جهت تخلیه خاک آلوده و مقادیر زیادی خاک پاک و بدون آلودگی جهت جایگزینی خاک آلوده است. از جمله مشکلات مهم این روش امکان حرکت آلاینده ها از محل دفن به مکان های دیگر می باشد و لذا تثبیت آنها در محل با مشکل روبه رو است. بنابراین در این حالت آلاینده ها باید حداقل حلالیت و یا قابلیت تبخیر شدن را داشته باشند تا آنکه در محل دفن قابل کنترل باشند. برای این منظور از روش های جانبی متعددی مثل استفاده از پوشش های سطحی در محل دفن یا بازدارنده ها و فیلترهای عمودی جهت جلوگیری از انتقال افقی و عمودی آلاینده ها در خاک استفاده می شود. آلودگی هوا، آب های سطحی و زیرزمینی و نیز آلودگی صوتی ناشی از تردد بیش از حد ماشین آلات از جمله دیگر مشکلات این روش است.

- جامدسازی و تثبیت

فناوری های جامدسازی و تثبیت آلودگی ها در خاک جهت کاهش حلالیت و جداسازی محل آلوده از محیط اطراف به وسیله یک لایه غیرمتخلخل می باشد. در این روش با استفاده از مواد جامدساز و عوامل تثبیت کننده همچون سیمان های پرتلند، آهک، سیلیکات ها، رس ها و پلیمرها، خاک را در محل اصلی خود تثبیت می کنند. موفقیت این روش به ایجاد پیوند بین جسم جامد و آلاینده وابسته است. در این روش زمان زیادی نیاز است که از تثبیت آلاینده ها در خاک اطمینان حاصل شود (۹۳).

- شیشه‌ای کردن درجا

این روش به صورت درجا و از نوع الکتروسینیتیک می باشد و جهت پالایش خاک های آلوده با وسعت کم که داری میزان بالایی آلاینده های آلی یا غیرآلی هستند استفاده می شود. در این روش، خاک با جریان مستقیم الکتریسیته به وسیله چند رشته الکترود به طور متناوب تا دمای بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه سلسیوس گرم و سپس سرد می شود. در این حالت میدان الکتریکی حاصل باعث تولید مونولیت های شیشه ای از این آلاینده ها در خاک می شود که در خاک پایدارتر بوده و آبشویی آنها کمتر رخ می دهد. در این روش نیاز به یک سیستم چرخش آب برای سهولت جمع آوری فلزات در کاتد بوده و بر پایه جابجایی فلزات خاک مرطوب، از آند به کاتد است. از این روش به دلیل وجود مشکلاتی مانند هزینه بالا، زمان زیاد و محدودیت در تولید جریان الکتریسته است.

- شستشوی خاک

هدف از این روش کاهش غلظت و یا رفع آلاینده های موجود در خاک است. در این روش از آب و سایر حلال ها برای جداسازی و کاهش حجم آلاینده های موجود در خاک استفاده می شود. این روش غالباً برای خاک‌هایی مناسب است که با مواد آلی آبگریز و فلزات سنگین آلوده شده اند. این روش در خاک مخلوط شده با میزان قابل ملاحظه ای خاک رس و مواد نیمه فرار، اثر کمتری دارد. آلوده شدن آب یا حلال استفاده شده جهت شستشوی خاک و کاهش حاصل‌خیزی و نفوذپذیری خاک پس از عملیات آبشویی از مهم ترین محدودیت های این روش پالایش خاک است.

- استفاده از پوشش‌های نفوذناپذیر

در این روش از پوشش های نفوذناپذیر افقی یا عمودی در سطح خاک یا در اطراف آن به ویژه در اطراف مخازن آب های زیرزمینی که احتمال آلودگی آنها وجود دارد استفاده می شود تا از ورود عناصر و فلزات سنگین و سایر آلاینده ها به آب های زیرزمینی جلوگیری شود. وود (۱۹۹۷) در یک مطالعه از خاک سالم بدون آلودگی جهت پوشش خاک های آلوده به فلزات سنگین به منظور کنترل نفوذ آب به داخل خاک بهره جست و استفاده از این روش را جهت کنترل حرکت آلاینده های فلزی در خاک توصیه نمود. پوشش سطحی می تواند از جنس آسفالت، بتن، آهک، گیاه، ذرات رس، بقایای کارخانجات ریسندگی و بافندگی و حتی خاکستر چوب باشد. از جمله مشکلات این روش بقاء آلودگی در خاک پوشش داده شده و مهاجرت ثانویه آلاینده ها در اثر نفوذ آب‌های سطحی و زیرزمینی است (۹۳).

- فرآیندهای شیمیایی

- استفاده از انرژی نورانی (فتولیز)

فرآیند فتولیز به طور قابل توجهی در چگونگی سرنوشت ترکیبات آلی در محیط های آبی و حتی بخش سطحی خاک نقش تاثیر دارد. در سیستم های طبیعی عموماً انرژی نورانی خورشید، خود در کاهش و پاک سازی آلاینده ها از خاک به ویژه آلاینده های آلی نقش مهمی را ایفا می کند. اما این اثر مثبت انرژی خورشیدی تنها به سطح خاک محدود شده و لایه های عمقی خاک آلوده تحت تأثیر انرژی نورانی خورشید قرار نمی گیرند. در سیستم های غیر طبیعی با استفاده از واکنش های فتوشیمیایی که بر روی یک بستر از پیش آماده شده صورت می گیرد، اقدام به حذف آلاینده ها به ویژه آلاینده های نیتراته و دی اکسین ها از خاک می گردد. محدودیت اصلی این روش مصون ماندن آلاینده ها در عمق خاک از واکنش های رخ داده در سطح است.

- رسوب دادن

در این روش از ترکیبات حاوی هیدروکسیدها، فسفات، کربنات، سولفات و یا سولفید استفاده می شود. در این صورت ترکیبات محلول حاوی عناصر کمیاب به ترکیبات نامحلول این عناصر تغییر داده می‌شوند (تبدیل به فاز جامد خاک). یعنی در این روش با استفاده از موادی که سبب ایجاد ترکیبات پایدار از عناصر

سنگین در خاک می‌شوند می توان سبب رسوب این عناصر در خاک شد. بنابراین فاز جامد خاک کنترل کننده فعالیت عناصر کمیاب در محلول خاک خواهد شد و به دلیل اینکه فعالیت عناصر در این حالت کمتر از سطح فعالیت اولیه آنها است قابلیت دستیابی زیستی عناصر مذکور کاهش خواهد یافت. این فرآیند می تواند به صورت درجا بر روی بسترهای آماده انجام گیرد. اثرات نامطلوب بر روی نفوذپذیری خاک و دوام اثر آن در دراز مدت از جمله محدودیت های این روش است (۱۵۷).

- روش احیا

در این فرآیند با استفاده از واکنش های احیایی اقدام به رفع آلودگی ناشی از آلاینده های فلزی نظیر کروم، نقره و جیوه می شود. این فرآیند نیز به صورت درجا در محل آلودگی و یا درون رآکتورها قابل اجراست. بروز واکنش‌های انفجاری، تولید و تشکیل ترکیبات سمی تر بر روی سایر ترکیبات و مواد موجود در محیط از جمله محدودیت های اصلی این روش است (۱۳۷).

- اکسیداسیون

این فرآیند به صورت درجا و جهت رفع آلاینده های اکسید شدنی استفاده می شود. امکان بروز واکنش های انفجاری و گاهاً تشکیل مواد سمی و با خاصیت آلودگی بالاتر از جمله محدودیت ها و مشکلات این روش است.

- تبادل یونی

این روش برای جداسازی آلاینده های فلزی کاربرد مناسبی دارد. اما برای تعداد محدودی از آلاینده‌های فلزی در خاک قابل استفاده است. ضمن آنکه کنترل تغییرات pH نسبتاً دشوار است. این فرآیند نیز به صورت درجا در محل آلودگی و یا بر روی بسترهای انتقالی آماده شده قابل استفاده است (۱۳۷).

- فرایندهای بیولوژیک

در اواخر دهه هشتاد میلادی، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) با در نظر گرفتن محدودیت های موجود برای اجرای روش های فیزیکی و شیمیایی پایش خاک وجود داشت، لزوم استفاده از روش‌های سازگار با محیط زیست را تاکید نمود.

خاک یکی از مهم ترین اجزاء منابع طبیعی است که برای انسان قابل دسترس است و جهت تولید غذا و نیز به عنوان فیلتری جهت دفن و پالایش آلاینده های محیط زیست محسوب می شود. در این بین ریزجاندارانی که در خاک زندگی می کنند بخش مهمی محسوب می شوند. مهم ترین انواع جمعیت های میکروبی خاک شامل باکتری ها، قارچ‌ها، جلبک ها می باشند که باکتری ها فراوان ترین گروه ریزجانداران خاک هستند. گزارش شده است که $۱۰^{۵}$ تا $۱۰^{۸}$ باکتری در هر گرم خاک وجود دارد. شرایط محیطی نظیر رطوبت، تهویه، درجه حرارت، ماده آلی، pH، ذخیره عناصر غذایی خاک و افزوده شدن ترکیبات آلی یا معدنی به خاک بر شمار جمعیت میکروبی خاک اثر گذارند (۱۵۳)

کندی و همکاران (۱۹۹۵) برخی از فرآیند های کلیدی که توسط ریزجانداران خاک کنترل می کنند را شامل تجزیه ترکیبات آلی و بقایای گیاهی، تجزیه و تخریب آفت کش ها و آلاینده های آلی نظیر ترکیبات نفتی، افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی همچون فسفر، منگنز، آهن، روی و مس، تثبیت نیتروژن و نهایتاً بهبود ویژگی های فیزیکی خاک نظیر خاکدانه سازی می دانند. این نقش ریزجانداران خاک در فرآیند زیست‌پالایی تعریف می گردد.

- زیست‌پالایی[۱۳]

فرآیندهای زیست پالایی همان فرآیندهای شیمیایی کاتالیز شده با آنزیم ها می باشند. در این فرآیندها از ریزجانداران خاک برای شکستن مولکول های ترکیبات آلی به مواد ساده تر استفاده می شود و عمدتاً در مورد آلاینده های آلی مؤثرند اما در موارد خاص برای اکسید یا احیا کردن آلاینده های معدنی نیز به کار می روند. قدمت کاربرد روش پالایش زیستی به ۶۰۰ سال پیش از میلاد حضرت مسیح باز می‌گردد. در آن زمان رومیان فاضلاب شهری را به گودال هایی بزرگ که در خارج از شهر ساخته بودند هدایت می‌کردند و سپس از طریق هوادهی و توسط فرآیند میکروبی این فاضلاب ها را تصفیه می‌کردند. ایده و پیشنهاد استفاده از ریزجانداران در پاک سازی محیط زیست در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد تا آنکه درسال ۱۹۹۰ از این روش جهت پالایش سواحل آلوده به نفت آلاسکا استفاده شد و نتیجه بخش بود. از آن پس تاکنون مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی وسیعی بر روی قابلیت کاربرد این روش در پالایش این دسته از آلاینده های محیط زیست انجام شده است. برای پاک سازی مکان های آلوده با استفاده از روش زیست‌پالایی، حضور ترکیبی از باکتری ها و قارچ ها در خاک ضروری است. معمولاً یک نوع ریزجاندار خاص به تنهایی قادر نیست که آلاینده های موجود در خاک را به طور کامل تجزیه و تخریب کند و بنابراین حضور و مشارکت سایر ریزجانداران در خاک ضروری است. میکروارگانیسم های مسئول تجزیه مواد اغلب از خانواده ارتروباکتر[۱۴] ، کورینوباکتر[۱۵]، فلاوباکتر[۱۶]، نوکاردیا[۱۷] و سودوموناس[۱۸] می باشند (۱۳۷).

۳ـ۱۳ـ۱ـ پالایش سبز[۱۹]

روش های فیزیکی و شیمیایی بسیار پرهزینه و دشوار بوده و در پایان موجب آلودگی بخش دیگری از زیست بوم می گردند. کامیابی اندک پالایش زیستی میکروبی نیز محدود به تجزیه شماری از آلاینده‌های آلی بوده و در پالایش فلزات سمی، بویژه از خاک های آلوده، ناکارآمد است. از این رو، یافتن راه حلی مطمئن که افزون بر رفع آلودگی، کم هزینه بوده و اثرات جانبی آن سلامت محیط را به خطر نیندازد، بسیار حیاتی است. در چند سال اخیر پژوهشگران به عنوان راه کار، روشی نوین با استفاده از گیاهان برای زدودن

[۱۳]-Bioremediation
[۱۴]-Arthrobacter
[۱۵]-Corynebacterium
[۱۶]-Flavobacterium
[۱۷]-Nocardia
[۱۸]-Pseudomonas
[۱۹]-Phytoremediation

آلودگی ها از خاک بنا نهاده اند. فناوری استفاده از گیاهان در پالودن زیست بوم، «پالایش سبز» نام گرفته است (۱۵۳).

پالایش سبز عبارت از کاربرد گیاهان به تنهایی و یا به همراه ریزجانداران خاک برای تجزیه[۲۰] نگهداری[۲۱] و یا تثبیت[۲۲] آلاینده های گوناگون موجود در خاک ها، رسوبات، آب های زیرزمینی، آب های سطحی و اتمسفر می باشد. برتری این فناوری نوپا در این است که در واقع هر گیاه زنده شبیه پمپی خورشیدی[۲۳] است که می تواند برخی عناصر را از محیط جذب کرده و در خود بیاندوزد. در واقع پالایش سبز نیرنگی زیرکانه است تا گیاهان افزون بر جذب عناصر اساسی مورد نیازشان و یا بجای آنها، فلزات سمی را نیز از خاک جذب کرده و بیاندوزند. به طور کلی پوشش گیاهی به دو صورت بر پالایش آلاینده های خاک اثر گذار است(۹۳):

۱- جذب مستقیم آلاینده توسط ریشه و انتقال به اندام هوایی و یا ریشه و سپس بی اثر کردن اثر سمیتی این ترکیبات از طریق تغییرات گیاهی نظیر ترکیب آن آلاینده با قندها و اسیدهای گلوتامیک و یا از طریق متابولیت های غیرسمی گیاهی در بافت ها.

۲- اثر غیرمستقیم گیاهان از طریق رهاسازی آنزیم ها و ترشحات ریشه نظیر آمینو اسیدها، کربوکسیک اسیدها، کربوهیدرات ها، اسیدهای نوکلئیک، عوامل رشد و سایر ترکیبات که سبب افزایش جمعیت میکروبی تجزیه کننده آلاینده ها در خاک می شوند.

نظریه استفاده از گیاهان برای پالایش خاک های آلوده به آلاینده های آلی و معدنی براساس مشاهداتی است که گویای کاهش غلظت این مواد در محیط های با پوشش گیاهی در مقایسه با محیط های بدون گیاه است. موجودات زنده نمی توانند فلزات عنصری را تجزیه کنند. لیکن، زدودن فلزات از محیط آلوده تنها با اندوزش آنها و در برخی موارد مانند جیوه و سلنیم با تصعید، شدنی است.

باکتری‌ها و قارچها عموماً در تجزیه بسیاری از آلاینده های آلی و اندوزش بسیاری از فلزات در پیکره خود از گیاهان تواناترند. با وجود این، نمی توان از این میکروب ها در استخراج آلاینده ها از خاک بهره برد زیرا، جداسازی میکروب ها از خاک ممکن نیست. تنها گیاهان در انجام این وظیفه کامیابند زیرا، ریشه آنها سامانه ای توانا در جذب آلاینده ها از خاک و شاخساره آنها مخزنی پرگنجایش در اندوختن آلاینده‌هاست. ریشه گیاهان بین ۳۰ تا ۶۰ درصد از کربن فتوسنتزی گیاه را دریافت می کند که بین ۱۰ تا ۲۰ درصد از آن را به صورت اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و یا زیاد در محیط ریزوسفر رهامی سازد. این ترکیبات سبب تحریک رشد و فعالیت جمعیت های میکروبی تجزیه کننده آلاینده ها در محیط ریزوسفر شده و بنابراین امکان پالایش خاک آلوده را فراهم می آورند. با این حال نوع و میزان ترشحات ریشه و مقاومت گیاه

[۲۰]-Degradation
[۲۱]-Containing
[۲۲]-Stabilization
[۲۳] Solar-Driven Pump

در برابر حضور آلاینده ها در خاک در گیاهان مختلف و حتی بین گونه های مختلف یک جنس گیاهی نیز متفاوت است (۹۳). [3]

ممکن است برای پاک سازی آلودگی منتشر شده در محیط زیست بتوان از روش های متعددی با کارایی متفاوت استفاده نمود. به دلیل تفاوت این روش ها از نظر زمان اجرای طرح و ملزومات مورد نیاز، هزینه های مربوط به پاک سازی با استفاده از هر یک از روش ها با یکدیگر متفاوت بوده و در نتیجه انتخاب روش پاک سازی بر میزان جرائم تأثیرگذار است. اغلب روش های پاک سازی نیازی به تکنولوژی خاصی ندارند و در ایران قابل اجرا می باشند. ولی روش های پاک سازی که احتمالا شرط بهتری برای قابلت اجرا در ایران را دارند شامل موارد زیر می شوند:

خاک برداری و دفن

زیست‌پالایی (گیاه پالایی)

شستشوی خاک

تبادل یونی

تصفیه حرارتی (در محل یا خارج از محل)

بی شک در انتخاب روش پاک سازی بنگاه ها روشی را انتخاب خواهند نمود که هزینه های کمتری داشته باشد و در مقابل دولت در انتخاب این روش ها روشی را برمی گزیند که سریع تر و مطمئن تر به هدف از بین بردن آلودگی و یا تقلیل آن به مقدار استاندارد برسد. از آنجا که روش های استاندارد و قطعی برای پاک سازی به صورت مدون ارائه نشده و قابل استناد نمی باشد، این عامل از جمله عواملی است که باید بر اساس توافق داوطلبانه بین دولت و صنایع آلاینده محیط زیست انتخاب شود و یا دستورالعمل و یا آیین نامه مدونی در این زمینه طرح گردد.

۳ـ۱۴ـ ویژگی های خاک

از آنجا که ویژگی های خاک محیط آلوده (شامل pH، بافت، نفوذپذیری خاک، رطوبت خاک، درصد ماده آلی در خاک، هدایت هیدرولیکی خاک، چگالی خاک و...) می تواند باعث تسریع و یا زمان بری فرآیند پاک سازی گردد و بعلاوه در انتخاب و اجرای روش پاک سازی نیز بسیار موثر است، این عامل در تعیین هزینه های پاک سازی تأثیرگذار بوده و می تواند نقش مهم و کلیدی ایفا نماید. بنابراین ویژگی خاک از عوامل تعیین کننده جرائم بر واحدهای آلاینده محیط زیست می باشد. با توجه به شرایط اقتصادی و صنعتی حاضر کشور ایران روش های زیر برای دو گروه اصلی آلاینده ها پیشنهاد می شود. که برای اجراء نیازمند مطالعات جامع می باشد.

روش های پاک سازی برای فلزت سنگین:

گیاه پالایی

شستشوی خاک

تبادل یونی
روش های پاک سازی برای آلاینده های آلی:
تصفیه حرارتی (در محل یا خارج از محل)
گیاه پالایی
شستشوی خاک
در ادامه روش های مرسوم پاک سازی و رفع آلودگی خاک مورد بررسی قرار می گیرد:

- تصفیه زیستی در محل (In Situ Biological Treatment)

الف- منفذ زیستی (Bioventing)

در این روش از میکروارگانیسم های موجود در جهت تجزیه آلاینده های آلی استفاده می شود. در خاک فعالیت میکروارگانیسم ها با انتقال اکسیژن به خاک (**Bioventing**) تشدید می گردد. حتی در صورت نیاز عناصر غذایی مورد نیاز میکروارگانیسم برای افزایش هرچه بیشتر فعالیت آنها به خاک افزوده می شود. دو معیار اساسی برای موفقیت روش منفذ زیستی وجود دارد. اول، هوا به مقدار کافی برای حفظ شرایط هوازی باید از طریق خاک قادر به عبور باشد، دوم، میکروارگانیسم های طبیعی برای به دست آوردن میزان تجزیه زیستی معقول باید در غلظت های زیاد قادر به تجزیه باشند.

***کاربرد**

تکنیک های منفذ زیستی با موفقیت برای رفع آلودگی خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی، حلال های غیر کلرینه، بعضی از آفت کش ها، مواد نگهدارنده چوب و دیگر مواد شیمیایی آلی مورد استفاده قرار می گیرد.در حالی که درمان زیستی نمی تواند آلاینده های معدنی را تجزیه نماید، ولی می تواند به منظور تغییر ظرفیت مواد غیرآلی وعامل جذب سطحی، جذب، فراهمی، و غلظت مواد غیر آلی در میکروارگانیسم ها به کار روند. این روش ها، در حالی که هنوز تا حد زیادی آزمایشگاهی هستند، امیدواری قابل توجهی برای تثبیت یا حذف مواد غیرآلی از خاک را نشان می دهند.

***هزینه**

جدول ۳ـ۱۱ ضمیمه نشان دهنده هزینه های تخمین زده شده (توسط واحد اندازه گیری مشترک) به درخواست فن آوری منفذ زیستی است. عواملی که بر هزینه منفذ زیستی موثر است عبارت است از:

نوع و غلظت آلاینده، نفوذ پذیری خاک، فاصله و تعداد چاه ، سرعت پمپاژ و بدون تصفیه است. برای این فن آوری به تجهیزات گران قیمت نیست و تعداد نسبتاً اندکی از پرسنل درگیر در این عملیات و تعمیر و نگهداری از سیستم منفذ زیستی نیاز است.

ب- تصفیه زیستی در محل (In Situ Biological Treatment)

فعالیت میکروارگانیسم های طبیعی توسط گردش آب در خاک های آلوده با تجزیه بیولوژیکی آلاینده های آلی و یا عدم تحرک آلاینده های معدنی، را تصفیه زیستی درجا گویند. مواد مغذی، اکسیژن، و یا دیگر

نیازها به منظور افزایش تصفیه زیستی و دفع آلاینده از مواد زیر سطحی ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

فرایند تصفیه زیستی که در آن میکرو ارگانیسم های بومی یا تلقیحی (به عنوان مثال، قارچ ها، باکتری و سایر میکروب های موجود) تجزیه (سوخت و ساز) آلاینده های آلی در خاک و/ یا آب زیر زمینی را به عهده دارند، یافت شده است. تبدیل آلاینده ها به محصولات نهایی بی ضرر است. مواد مغذی، اکسیژن، و یا نیازهای دیگر به منظور افزایش تجزیه زیستی و دفع آلاینده از مواد زیر سطحی ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

***کاربرد**

فناوری های درمان زیستی که برای درمان خاک آلوده به هیدروکربن های نفتی، حلال ها، آفت کشها مواد نگاه دارنده چوب و دیگر مواد شیمیایی آلی می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

***هزینه**

دامنه هزینه های معمول برای رفع آلودگی از ۳۰ تا ۱۰۰ دلار در هر متر مکعب از خاک (۲۰ تا ۸۰ دلار در هر مکعب محیط) است. عوامل موثر بر هزینه ها عبارتند از : نوع خاک و شیمی آن، نوع و مقدار ماده ای که استفاده می شود، و نوع و میزان آلودگی است.

ـ گیاه پالایی (Phytoremediation)

گیاه پالایی فرایندی است که با استفاده از گیاهان برای، انتقال، حذف، تثبیت، از بین بردن ـ آلاینده ها در خاک به کار می رود. آلودگی ها ممکن است یا آلی یا غیر آلی باشند.

گیاه‌پالایی استفاده از گیاه برای تصفیه خاک‌ها، رسوبات و آب آلوده شده در محل است. گیاه‌پالایی بهترین روش پالایش در مکان‌های با آلودگی کم عمق به آلاینده‌های آلی، مواد مغذی، یا فلزات است. گیاه‌پالایی روش بسیار مناسبی برای موارد زیر است: در سایت‌های بسیار بزرگ که دیگر روش‌های پاک سازی اقتصادی نیستند، در سایت‌های با غلظت آلودگی کم به عنوان تصفیه، جلادهی و در ترکیب با دیگر تکنولوژی ها، در جایی که بخواهند از گیاه برای پوشاندن سایت استفاده کنند.

***کاربرد**

گیاه پالایی ممکن است برای پاک سازی آلودگی فلزات، آفت کش ها، حلال ها، مواد منفجره، ـ نفت خام، PAH ها، وآبشویی محل های دفن زباله های شهری قابل اجرا باشد.

برخی از گونه های گیاهی توانایی برای ذخیره فلزات در ریشه های خود را دارند. آنها را می توان در سایت برای فیلتر کردن فلزات از فاضلاب پیوند زد. همان طور که ریشه ها اشباع شده ازآلاینده های فلزی، می توان آنها را برداشت نمود.

***هزینه**

جدول ۳ـ۱۱ ضمیمه نشان دهنده هزینه های تخمین زده شده (توسط واحد اندازه گیری مشترک) به درخواست فن آوری گیاه پالایی است.

- تصفیه فیزیکی شیمیایی درمحل

الف - اکسیداسیون شیمیایی (Chemical Oxidation)

با استفاده از اکسیداسیون شیمیایی آلاینده های خاک به ترکیباتی با سمیت کمتر، تحرک کمتر و پایداری بیشتر تبدیل می شوند. ترکیباتی که برای اکسیداسیون استفاده می شوند شامل: ازن، آب اکسیژنه و ترکیبات کلره می باشند.

***کاربرد**

سرعت و وسعت تجزیه COC به وسیله خصوصیات ترکیب شیمیایی و حساسیت آن به تجزیه شیمیایی و شرایط ماتریکس مانند pH، دما، غلظت اکسیدانت و همچنین غلظت سایر ترکیبات مصرف کننده اکسیدانت مانند مواد آلی طبیعی و کربنات ها تعیین می شود.

ب - جداسازی الکترو سینتیک

روش الکترو سینتیک فلزات و آلاینده های آلی از خاک هایی با نفوذپذیری کم، فاضلاب و لجن را خارج می کند. روش الکترو سینتیک با استفاده از مواد الکترو، و روش های الکتروسینتیکی، فلزات، و ترکیبات آلی قطبی را دفع و خارج می سازد. در این فناوری تصفیه درجا، خاک ابتدا از روش عصاره گیری برای جدا سازی و حذف آلاینده ها از خاک استفاده می شود.

***کاربرد**

آلاینده های هدف در این روش عناصر سنگین، آنیون ها و ترکیبات آلی در خاک، لجن و فاضلاب است. رنج غلظت قابل تصفیه در این روش از چند ppm تا ده ها و صدها ppm است. این روش برای خاک های با نفوذپذیری کم کاربرد بیشتری دارد. چنین خاک هایی معمولاً اشباع بوده و شامل رس ها و یا مخلوط سیلت و رس اشباع بوده و به راحتی زه کش نمی شوند.

***هزینه**

هزینه ها بر اساس مقدار خاک تصفیه شده، هدایت خاک، نوع آلاینده، فضای الکترودها و نوع روش استفاده شده متفاوت است. در یک مطالعه پایلوت مقدار انرژی برای عصاره گیری فلزات از خاک حدود ۵۰۰ کیلو وات ساعت در متر مکعب یا بیشتر در فضای ۱ تا ۱/۵ متری الکترود بود. در این صورت هزینه ۵۰ دلار به ازاء هر مترمکعب خواهد بود.

ج - شکستن (fracturing)

با استفاده از این روش شیارهایی در میان سطح رسوبات سخت و با نفوذپذیری کم ایجاد شده تا مسیرهای عبور جدید برای افزایش اثرات روش های تصفیه درجا و افزایش کارایی عصاره گیری ایجاد شود.

***کاربرد**

روش شکستن برای تمامی گروه های آلاینده ها قابل استفاده است. این فناوری در ابتدا برای شکستن سیلت ها، رس ها، شیل و سنگ بستر استفاده شده است.

***هزینه**

محدوده هزینه تقریبی برای این روش ۸ تا ۱۲ ریال به ازاء هر تن است.

د- شستشوی خاک (soil flushing)

برای افزایش حلالیت آلاینده های خاک، آب به خاک اضافه شده و یا این که آب به سفره آب ـ زیر زمینی تزریق شده تا سطح سفره آب زیر زمینی را تا سطح منطقه خاک آلوده بالا آورند. آلاینده های آبشویی شده و وارد سفره آب زیر زمینی می شود سپس این آب عصاره حاصل از شستشوی خاک را تصفیه می کنند.

***کاربرد**

گروه آلاینده های هدف برای این روش، آلاینده های غیر آلی شامل آلاینده های رادیواکتیو است. این فناوری برای VOCs، SVOCs، سوخت ها و آفت کش ها قابل استفاده است، ولی این روش نسبت به سایر روش های مختلف برای این گروه از آلاینده ها از نظر هزینه کارایی کمتری دارد. برای افزایش حلالیت ترکیبات آلی برخی مواد سازگار با محیط زیست اضافه می شود و محلول مورد استفاده در این روش ممکن است برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را تغییر دهد. این فناوری در بازیافت فلزات، و افزایش تحرک دامنه وسیعی از آلاینده های آلی و غیر آلی در خاک هایی با بافت درشت موثر است.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ ضمیمه هزینه های تخمینی برای استفاده از روش شستشوی خاک ارائه شده است.

هـ - استخراج بخار خاک (soil vapor extraction)

مکش، عامل ایجاد اختلاف شیب بین غلظت و فشار است. در این حالت فاز بخار خاک، از خاک استخراج می شود. این فناوری همچنین به عنوان تخلیه درجا خاک، تبخیر درجا، تبخیر پیشرفته و یا استخراج مکشی خاک شناخته می شود.

***کاربرد**

آلاینده های هدف برای SVE و VOCs درجا برخی سوخت ها هستند. این تکنولوژی قابل استفاده برای ترکیبات فرار با مقدار ثابت هنری بیشتر از ۰/۰۱ یا فشار بخار بیشتر از ۰/۵ میلی متر جیوه قابل استفاده است. سایر پارامترها مثل درصد رطوبت، درصد ترکیبات آلی و نفوذپذیری هوا در خاک نیز بر اثر بخشی SVE درجا موثر است. SVE درجا ترکیبات نفتی سنگین، فلزات، PCBs و دی اکسین ها را خارج نمی کند.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ ضمیمه هزینه های تخمینی برای استفاده از روش استخراج بخار خاک ارائه شده است.

و - استحکام/تثبیت (Solidification/Stabilization)

در این روش آلاینده ها به صورت فیزیکی درون توده ثابت محدود شده و یا از واکنش های شیمیایی برای کاهش تحرک آلاینده ها استفاده می شود..

***کاربرد**

آلاینده های هدف در این روش عموماً آلاینده های غیر آلی هستند. سیستم آگر / کیسون و ریجنت / اینجکتور اثر بخشی محدودی در مقابل SVOCs و آفت کش ها و VOCs دارد، در حالی که این سیستم ها برای اثر بخشی بیشتر در تصفیه ترکیبات آلی. ISV طراحی شده اند ولی قادر به خارج کردن و غیر متحرک کردن اغلب ترکیبات غیر آلی از خاک های آلوده، لجن و غیره هستند.

***هزینه**

هزینه سیستم آگر/کیسون و ریجنت / اینجکتور بر اساس مواد و ترکیبات مورد استفاده، دسترسی به این مواد، اندازه و وسعت پروژه و طبیعت ترکیبات و آلاینده ها متفاوت است. هزینه مجموع تکنیک های آگر از ۵ تا ۸۰ دلار به ازاء متر مکعب برای کاربرد در عمق کم و ۱۹۰ تا ۳۳۰ دلار به ازاء مترمکعب برای کاربرد در عمق های بیشتر است.

ـ تصفیه حرارتی درمحل

الف-تصفیه حرارتی(Thermal Treatmen)

در این روش تزریق بخار داغ یا حرارت ناشی از مقاومت الکتریکی، الکترومگنتیک، عدسی، فیبر یا فرکانس رادیویی برای افزایش سرعت تبخیر استفاده می شود.

***کاربرد**

مقدار رطوبت بالا یکی از محدودیت های روش SVE است که در این حالت حرارت دادن می تواند کمک کند. حرارت دادن، به خصوص حرارت امواج رادیویی و حرارت مقاومت الکتریکی می تواند جریان هوا را در خاک هایی با رطوبت بالا از طریق تبخیر آب سرعت بخشد. این سیستم برای تصفیه SVOCs طراحی شده ولی می تواند VOCs را نیز تصفیه کند. فناوری SVE حرارتی همچنین در تصفیه برخی آفت کش ها و سوخت ها با توجه به درجه حرارت سیستم موثر است. پس از کاربرد این

روش شرایط زیر سطحی برای تجزیه زیستی سایر آلاینده ها بسیار مناسب است.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ ضمیمه هزینه های تخمینی برای استفاده از روش تصفیه حرارتی ارائه شده است.

- تصفیه بیولوژیکی خارج از محل (Ex Situ Biological Treatments)

الف - توده زیستی (Biopiles)

در این روش خاک با ترکیبات اصلاح کننده خاک مخلوط شده و در سطح خاک نگهداری می شود.

***کاربرد**

تصفیه به روش توده زیستی برای VOCs غیر هالوژنه و هیدروکربن های نفتی به کار می رود. VOCs و SVOCs هالوژنه و آفت کش ها نیز با این روش قابل تصفیه هستند ولی اثر بخشی روش ممکن است تغییر کند و یا تنها برای برخی ترکیبات این گروه از آلاینده ها قابل استفاده باشد.

***هزینه**

هزینه ها در این روش به عواملی مانند آلاینده، روش مورد استفاده، احتمال پیش تصفیه یا پس تصفیه و احتمال استفاده از تجهیزات کنترل عبور هوا در خاک بستگی دارد. روش توده زیستی معمولاً ساده است و به چندین پرسنل برای اجرا نیاز دارد. هزینه تقریبی برای این روش ۱۳۰ تا ۲۶۰ دلار به ازاء متر مکعب خاک است.

ب - کمپوست کردن(Composting)

در این روش، خاک آلوده را با ترکیبات و اصلاح کننده های آلی مانند خاک اره، کود آلی و ضایعات گیاهان مخلوط می کنند. انتخاب اصلاح کننده های مناسب باعث ایجاد تخلل مناسب، تناسب و بالانس کربن و نیتروژن و در نهایت بهبود فعالیت های حرارتی و میکروبی می شود.

***کاربرد**

کمپوست کردن برای خاک ها و رسوبات لاگونی آلوده به ترکیبات آلی قابل تجزیه قابل استفاده است. پروژه های مختلف نشان دادند که کمپوست کردن تهویه ای و حرارتی قادر است غلظت TNT، RDX، HMX و سایر سموم مرتبط را تا سطوح قابل قبول کاهش دهد. این روش همچنین برای خاک های آلوده به PAH قابل استفاده است. تمامی مواد و تجهیزات لازم برای کمپوست کردن معمولاً در دسترس است.

***هزینه**

ج -لندفارمینگ (Landfarming)

در این روش خاک، رسوب یا لجن آلوده به صورت خطوطی روی زمین پهن شده و به صورت دوره ای زیر و رو شده یا شخم زده می شوند.

***کاربرد** این روش در تصفیه هیدروکربن های نفتی اغلب موفقیت آمیز بوده است. زیرا هیدروکربن های سبک تر و فرارتر مثل گازوئیل که از روش های فراریت آن ها استفاده می شود می تواند مانند روش استخراج بخار خاک، با موفقیت خاک را تصفیه کند. روش های تصفیه در سطح خاک معمولاً برای هیدروکربن های سنگین تر استفاده می شود. طبق قانون، وزن مولکولی بیشتر سرعت تجزیه کمتر دارد. همچنین ترکیبات با کلر و نیترات زیاد، سخت تر تجزیه می شوند. آلاینده هایی که به این روش تصفیه می شوند شامل سوخت های دیزلی، سوخت های نفتی شماره ۲ و ۶، لجن های نفتی و ضایعات چوبی و برخی آفت کش ها هستند

***هزینه**

هزینه ها عبارتند از:

ـ هزینه پیش از تصفیه: ۲۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ دلار برای مطالعات آزمایشگاهی و کمتر از ۱۰۰۰۰۰ دلار برای آزمایش پیلوت و مزرعه ای

ـ هزینه آماده سازی بستر: حدود ۱۰۰ دلار بر مترمکعب خاک

ج ـ تصفیه بیولوژیکی فاز آبی(Slurry Phase Biological Treatments)

در این روش محلول آبی از مخلوط خاک، لجن یا رسوب و سایر افزودنی ها تشکیل می شود. مخلوط آبی به هم زده شده تا ذرات جامد در محلول معلق شده و آلاینده ها در ارتباط با میکروارگانیسم ها باشد. در پایان تصفیه خاک از محلول آبی جدا می شود.

***کاربرد**

تکنیک های تصفیه زیستی برای تصفیه خاک ها، لجن ها و رسوبات آلوده به هیدروکربن های نفتی، حلال ها، ترکیبات شیمیایی نفتی، آفت کش ها، چوب و سایر ترکیبات آلی به کار می رود.

تصفیه بیولوژیکی فاز آبی برای تصفیه SVOCs و VOCs غیر هالوژنه در خاک یا رسوبات استفاده می شود.

***هزینه**

هزینه این روش از ۱۳۰ تا ۲۰۰ دلار به متر مکعب خاک متغیر است. زمانی که تصفیه بعدی ـ

نیز به دلیل وجود ترکیبات فرار نیاز باشد هزینه ۱۶۰ تا ۲۱۰ دلار به مترمکعب خاک متغییر خواهد بود.

ـ تصفیه فیزیکی و شیمیایی خارج از محل

الف- استخراج شیمیایی(Chemical Extraction)

در این روش خاک آلوده و عصاره گیر در استخراج کننده با یکدیگر مخلوط شده و نهایتاً آلاینده ها در عصاره گیر حل خواهند شد. محلول استخراج شده در جدا کننده قرار گرفته و آلاینده ها و عصاره گیر برای انجام مراحل بعدی جدا می شوند.

***کاربرد**

استخراج حلال در تصفیه رسوبات، لجن ها و خاک های دارای آلاینده های آلی مانند PCBs، VOCs، حلال های هالوژنه و ضایعات نفتی موثر است. عصاره گیری با اسید برای رسوبات، لجن ها و خاک های آلوده به فلزات سنگین موثر است.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ پیوست هزینه های تخمینی برای استفاده از روش استخراج شیمیایی ارائه شده است.

ب - اکسیداسیون و احیاء شیمیایی(Chemical Reduction/Oxidation)

اکسیداسیون و احیاء شیمیایی، آلاینده های خطرناک را به شکل بی خطر یا با سمیت کمتر که پایدارتر بوده و تحرک کمتری دارند تبدیل می کند. ترکیبات اکسیدکننده که معمولاً استفاده میشوند عبارتند از ازون، آب اکسیژنه و ترکیبات کلر دار.

***کاربرد**

گروه آلاینده های هدف در این روش آلاینده های غیر آلی هستند. این تکنولوژی برای VOCs و SVOCs غیر هالوژنه قابل استفاده است ولی ممکن است اثربخشی کمتری داشته باشد.

***هزینه**

هزینه برای این روش از ۱۹۰ تا ۶۶۰ دلار به متر مکعب است.

ج - هالوژن زدایی(Dehalogenation)

در این روش ترکیباتی به خاک آلوده به ترکیبات آلی هلوژن دار اضافه شده و روند هالوژن زدایی باجایگزین شدن مولکول های هالوژن یا تبخیر جزیی آلاینده ها انجام می شود.

***کاربرد**

گروه های آلاینده های هدف در این روش SVOCs هالوژنه و آفت کش ها است.

***هزینه**

هزینه برای این روش از ۲۲۰ تا ۵۵۰ دلار به متر در تن (۲۰۰ تا ۵۰۰ دلار به تن) متغیر است که این مقدار هزینه ، شامل هزینه حفاری، پرکردن دوباره و هزینه آزمایشگاهی نمی باشد.

د- جداسازی(Separation)

هدف از این روش جداسازی آلاینده ها از خاک زمینه است. در این روش ذرات جامد آلاینده تغلیظ شده نیز از خاک جدا می شود.

***کاربرد**

گروه های آلاینده هدف در این روش SVOCs، سوخت ها و ترکیبات غیر آلی است. این روش همچنین برای برخی VOCs و آفت کش ها قابل استفاده است. جداسازی مگنتیک به طور اختصاصی برای فلزات سنگین، رادیونوکلئیدها و ذرات رادیو اکتیو مغناطیسی مانند اورانیوم و پولوتونیوم استفاده می شود

هـ- شستشوی خاک(Soil Washing)

در این روش آلاینده ها جذب شده در سطح ذرات ریز خاک، بر اساس اندازه ذرات از خاک وارد سیستم آبی می شوند. در این روش ممکن است به آب مورد استفاده در شستشو، ترکیبات آبشویی، تنظیم کننده pH و یا ترکیبات کلات کننده برای حذف ترکیبات آلی و فلزات سنگین اضافه شود.

***کاربرد**

آلاینده های هدف در این روش SVOCs، سوخت ها و فلزات سنگین هستند. این تکنولوژی برای برخی از VOCs و آفت کش ها نیز قابل استفاده است. این تکنولوژی برای بازیافت فلزات و حذف محدوده وسیعی از آلاینده های آلی و غیر آلی از خاک های با بافت درشت موثر است.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ پیوست هزینه های تخمینی برای استفاده از روش استحکام و تثبیت ارائه شده است

و- استحکام/تثبیت (Solidification/Stabilization)

در این روش آلاینده ها به صورت فیزیکی درون توده ثابت باند شده و یا واکنش های شیمیایی برای کاهش تحرک آلاینده ها اتفاق می افتد.

***کاربرد**

گروه آلاینده های هدف در این روش عموماً آلاینده های غیر آلی شامل رادیونوکلئیدها هستند. این روش برای ترکیبات آلی و آفت کش ها اثربخشی کمی دارد.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ پیوست هزینه های تخمینی برای استفاده از روش استحکام و تثبیت ارائه شده است.

- تصفیه حرارتی خارج از محل (Ex Situ Thermal Treatment)

الف - آلودگی زدایی با گاز داغ (Hot Gas Decontamination)

در این روش درجه حرارت تجهیزات و مواد برای مدت زمان مشخصی زیاد می شود. گاز منتشر شده از مواد تمام آلاینده های فرار را از بین می برد.

***کاربرد**

این روش برای تجهیزاتی که به آلودگی زدایی برای استفاده دوباره نیاز دارند قابل استفاده است. این روش همچنین برای خارج کردن ترکیبات قابل احتراق مانند مین و گلوله قابل استفاده است.

***هزینه**

هزینه آلودگی زدایی بر اساس کاربرد متفاوت است و به اندازه و شکل هندسی تجهیزات و مواد مورد نظر و دما و زمان آلودگی زدایی بستگی دارد. هزینه مشخصی برای این روش تعیین نشده است.

ب - خاکستر کردن (Incineration)

در این روش دمای ۸۷۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد اعمال می شود تا اجزاء آلی ضایعات خطرناک در حضور اکسیژن تبدیل به خاکستر شود.

***کاربرد**

این روش برای تصفیه خاک های آلوده به ضایعات قابل احتراق و خطرناک به خصوص هیدروکربن های کلردار، PCBs و دی اکسین ها استفاده می شود.

***هزینه**

در جدول ۳-۱۱ ضمیمه هزینه های تخمینی برای استفاده از روش خاکستر کردن ارائه شده است.

ج - سوزاندن باز/ انفجار باز (Open Burn/Open Detonation)

در روش OB مهمات و تجهیزات قابل احتراق با استفاده از یک منبع خارجی مانند شعله، حرارت یا امواج قابل احتراق می سوزد. در روش OD مهمات و تجهیزات قابل احتراق با استفاده از یک شارژ انرژی منفجر می شود.

***کاربرد**

OB/OD برای از بین بردن مهمات، ترکیبات و مواد فعال اضافی، غیر قابل استفاده و یا از کار افتاده استفاده می شود.

د - تجزیه با استفاده از حرارت (Pyrolysis)

در این روش تجزیه شیمیایی ترکیبات آلی با استفاده از حرارت و در غیاب اکسیژن انجام می گیرد. ترکیبات آلی به ترکیبات گازی و ضایعات جامد تبدیل می شود.

***کاربرد**

گروه آلاینده های هدف در این روش SVOCs و آفت کش ها هستند. این روش برای جداسازی ترکیبات آلی از ضایعات موثر است. این روش برای ترکیبات آلی که در حضور دما تجزیه شیمیایی می شوند و تصفیه آلاینده های آلی در خاک ها و لجن های نفتی موثر است.

***هزینه**

هزینه برای تصفیه حدود ۱۸۲۰۰ تن متر (۲۰۰۰۰ تن) ماده آلوده حدود ۳۳۰ دلار به ازاء تن متر (۳۰۰ دلار به ازاء هر تن) است.

هـ- دفع حرارتی(Thermal Desorption)

در این روش ضایعات حرارت داده شده تا آب و آلاینده های آلی تبخیر شوند و سیستم مکش آب و ترکیبات آلی را به سیستم تصفیه گاز منتقل می کند.

***کاربرد**

سیستم دفع حرارتی درجات اثربخشی متفاوتی در مقابل طیف کامل آلاینده های آلی است. سیستم ـ های هدف در سیستم LTTD ، VOCs غیر هالوژنه و سوخت ها است. این تکنولوژی با اثر بخشی کمتر می تواند برای تصفیه SVOCs استفاده شود.

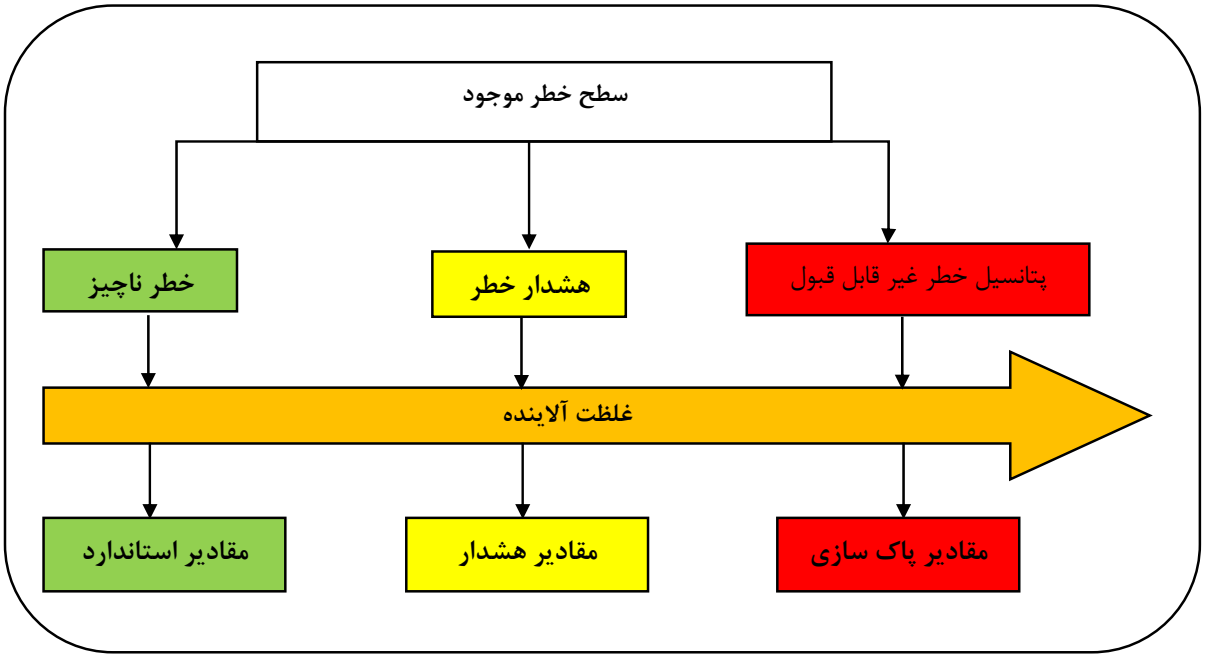
***هزینه**

در جدول ۳ـ۱۱ ضمیمه هزینه های تخمینی برای استفاده از روش خاکستر کردن ارائه شده است

ـ مقادیر پاک سازی آلاینده‌ها در خاک

در صورتی که غلظت آلاینده در خاک به میزانی باشد که در کوتاه مدت منجر به ایجاد خطرات غیر قابل قبول برای سلامت انسان، محیط زیست و سایر موجودات زنده گردد، انجام عملیات پاک سازی به منظور کاهش غلظت آلودگی در خاک الزامی می‌باشد. **(۱۹)**

در شکل ۳- ۷ ارتباط بین غلظت آلاینده در خاک و میزان خطر (سطح غلظت آلاینده‌ها در خاک) نشان داده شده است.



شکل ۳-۷ ارتباط بین غلظت آلاینده در خاک و سطح خطر موجود

۳ـ۱۵ـ مسیرهای انتقال آلودگی از خاک به انسان

ارزیابی ریسک سلامتی در خاک‌های آلوده بر اساس این فرضیه است که افراد در هنگام انجام فعالیت‌های عادی خود در معرض خاک آلوده قرار می‌گیرند. این آلودگی به چند روش ممکن است رخ دهد که به طور کلی مسیرهای انتشار یا تماس نامیده می‌شوند.

به دلیل این‌که زمان تاثیرگذاری و میزان اثر آلاینده‌ها از طریق مسیرهای مختلف تماس گیرنده با آلودگی خاک متفاوت می‌باشد، بنابراین برای یک آلاینده خاص مقدار استاندارد آلودگی خاک در مسیرهای مختلف ، متفاوت خواهد بود. به طور مثال شدت و زمان اثرگذاری آلاینده‌ای که از طریق بلع خاک وارد بدن شده با شرایطی که همان آلاینده از طریق جذب پوستی وارد بدن شده متفاوت می‌باشد و به همین علت مقدار استاندارد مسیر بلع یک آلاینده از مقدار استاندارد مسیر تنفس یا سایر مسیرها غالبا یکسان نمی‌باشد. (۱و۱۸و۲۶)

مسیرهای تعریف شده تماس با آلودگی خاک در سراسر جهان مشترک می‌باشند. به طور کلی در سطح بین المللی، رویکرد مشترکی برای ارزیابی کمّی ریسک وجود دارد. مسیرهای عمومی تعریف شده در اکثر کشورها شامل : بلع خاک ، جذب پوستی و تنفس ذرات می‌باشد. غیر از سه مسیر ذکر شده، بسته به شرایط خاص هر منطقه ممکن است مسیرهای انتقال دیگری نیز در نظر گرفته شوند. برای مثال در برخی از کشورها تنفس ذرات و بخارات آلوده نیز به عنوان یک مسیر اصلی قرارگیری در معرض آلودگی های خاک درنظر گرفته شده است

در مطالعات انجام شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست امریکا ($USEPA_{1996}$) برآورد گردیده که میزان در معرض قرارگیری از طریق تنفس ذرات معمولاً کمتر از یک درصد مقدار در معرض قرارگیری کل است و بنابراین می‌توان از آن صرفنظر نمود. ولی در جاهایی که میزان سمیت تنفسی نسبت به سمیت خوراکی قابل توجه باشد و همچنین در مکان‌هایی که غلظت ذرات به طور غیر معمول بالا است این مسیر می‌بایست به عنوان یک مسیر جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته و استاندارد این مسیر نیز محاسبه گردد. (۱)

۳ـ۱۵ـ۱ـ سفره های آب زیر زمینی

در صورتی حضور آلاینده‌ها در سطح خاک، در طی فرایندهایی همچون آبشویی این آلاینده‌ها در آب خاک حل شده و به لایه‌های زیرین و در نهایت به سفره‌های آب زیرزمینی راه می‌یابند. سرعت و میزان انتقال آلودگی از سطح خاک به منابع آب زیرزمینی بستگی به خصوصیات خاک و همچنین برخی خصوصیات آلاینده‌ها همچون درجه انحلال آنها در آب دارد. تدوین استاندارد خاک در این حالت به منظور دستیابی به غلظتی از آلاینده در سطح خاک است که در آن غلظت، احتمال آلودگی منابع آب زیرزمینی به حداقل می‌رسد. (۱۹)

۳ـ۱۶ـ خصوصیات آلاینده‌ها

برخی از خصوصیات آلاینده‌ها در خاک به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی، تاثیرگذار می‌باشند که در این بخش به شرح مهمترین آنها پرداخته خواهد شد. این پارامترها برای هر یک از آلاینده‌ها مقدار مشخصی دارند و در این طرح این ارقام از مراجع معتبر جهانی مانند EPA اخذ گردیده‌اند.

یکی از خصوصیات آلاینده‌ها ضریب نسبت آب ـ خاک Kd است که برای ترکیبات آلی برابر با Koc*foc یا ضریب نسبت کربن آلی خاک-آب ضربدر محتوای کربن آلی خاک. مقادیر Kd مربوط به ترکیبات آلی در مراجع مربوطه مشخص گردیده و برای فلزات این پارامتر بستگی به pH دارد که مقدار ان برای برخی از فلزات در pH های مختلف توسط USEPA استخراج و ارائه شده است. مقدار Kd ارتباط مستقیم با مقدار استاندارد بدست آمده برای آن آلاینده دارد و با افزایش یا کاهش مقدار آن، استاندارد بدست آمده افزایش یا کاهش می‌یابد.

از دیگر پارامترهای خاص آلاینده ضریب هنری (H) است که مربوط به ضریب تبخیر آلاینده است. این پارامتر برای ترکیبات آلی کاربرد دارد و برای فلزات به دلیل عدم امکان تبخیر آنها کاربردی ندارد. مقدار

این پارامتر نیز ارتباط مستقیم با مقدار استاندارد بدست آمده دارد چرا که هرچه قابلیت تبخیر یک ترکیب بیشتر باشد امکان آلودگی منابع آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. نیمه عمر آلاینده نیز از دیگر خصوصیات مربوط به آلاینده است که ارتباط عکس با مقدار استاندارد دارد به شکلی که هر چه نیمه عمر ترکیبی بیشتر باشد، ماندگاری آن و در نتیجه امکان رسیدن آن به لایه‌های آب زیرزمینی بیشتر شده و به همین علت مقدار استاندارد آن نسبت به ترکیبی با نیمه عمر کمتر، کاهش می‌یابد.

۳ـ۱۶ـ۱ـ خصوصیات لایه‌های خاک (۷و۱۸و۲۰و۲۸)

مشخصات مربوط به خاک تاثیر قابل توجهی بر امکان حرکت آلاینده‌ها از سطوح بالایی خاک به لایه‌های زیرین و در نتیجه آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی دارند به گونه‌که در یک غلظت ثابت از آلاینده‌ای خاص بر روی سطوح بالایی خاک‌های مختلف، پس از انجام فرایند آبشویی در عمق ثابتی از انواع خاک‌ها ، غلظت‌های متفاوتی از ان آلاینده قابل اندازه‌گیری می‌باشد. از جمله خصوصیات مربوط به خاک‌ها می‌توان به:میزان آب موجود در حفره‌های خاک، میزان هوای موجود در حفره‌های خاک، دانسیته خاک، محتوای مواد آلی موجود در خاک که بر قابلیت جذب ترکیبات توسط خاک تاثیر گذار است، اشاره نمود.

۳ـ۱۶ـ۲ـ خصوصیات هیدرولوژیک منطقه

از جمله مهمترین خصوصیات هیدرولوژیک، عمق سفره‌های آب زیرزمینی است . هرچه عمق این منابع بیشتر باشد امکان ورود آلاینده‌ها از سطوح بالایی خاک به لایه‌های زیرین و سفره‌های آب زیرزمینی بر اثر فرایندهایی همچون: جذب آلاینده توسط دانه‌های خاک، تبخیر، تجزیه، ترقیق ، ترسیب و..... کاهش می‌یابد.

علاوه بر شرایط هیدرولوژیک منطقه، شرایط اقلیمی از جمله میزان بارندگی، ضریب انتقال آلاینده به سفره‌های اب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهد به گونه‌ای که با افزایش بارندگی علاوه بر کاهش سطح آب‌های زیرزمینی سرعت انتقال آلاینده از لایه های خاک هم افزایش یافته و در نتیجه باعث کاهش مقدار استاندارد آلاینده در سطح خاک می شود. (۱۸و۹و۲۸)

در این طرح متوسط عمق سفره‌های آب زیرزمینی کشور در محاسبات لحاظ شده است و در صورتی که این پارامتر در منطقه‌ای با عمق لحاظ شده در محاسبات این طرح تفاوت زیادی داشته باشد می‌بایست ارزیابی خاص منطقه انجام گیرد.

۳ـ۱۷ـ: استانداردهای مصارف مختلف آب

در تدوین استاندارد مقادیر آلاینده‌ها در سطح خاک به منظور حفاظت از منابع آب زیرزمینی، بر اساس تحقیقات انجام شده توسط محققین و مراجع علمی جهان، غلظت اولیه آلاینده تحت تاثیر فرایندهای مختلفی از جمله: تجزیه، جذب توسط ذرات خاک، ترقیق ، تبخیر ، ترسیب و ... کاهش یافته و غلظتی از آلاینده که به سطوح زیرین خاک و در نهایت منابع آب زیرزمینی می‌رسد بسته به نوع آلاینده و خصوصیات خاک، کمتر از غلظت ان در سطح خاک است. در محاسبات مربوط به این مبحث ابتدا ضرایب کاهش غلظت

آلاینده بر اثر فرایندهای ذکر شده محاسبه شده و غلظت آلاینده پس از رسیدن به سطح آب زیرزمینی محاسبه می‌گردد.

از انجا که منابع آب زیرزمینی دارای مصارف متعدد و گسترده‌ای می‌باشند، غلظت یک آلاینده مشخص در سطح خاک باید به اندازه‌ای باشد که پس از طی لایه های خاک و رسیدن به سفره‌آب زیرزمینی، غلظت ان در منبع آب زیرزمینی بیش از استاندارد تعیین شده برای مصرف خاص مورد نظر نباشد. به همین دلیل ابتدا می‌بایست انواع مصارف آب تعیین شده و استانداردهای مربوط به هر یک از این مصارف مشخص گردند.

از جمله مهمترین مصارف آب‌های زیرزمینی می توان به : مصارف شرب انسانی، کشاورزی و آبیاری، پرورش آبزیان، شرب حیوانات اهلی و حشی اشاره نمود. بر اساس بررسی‌های انجام شده از بین انواع مصارف ذکر شده ، استاندارد آب شرب ایران تنها برای تعداد محدودی از ترکیبات تدوین شده است و برای سایر مصارف مقدار استاندارد خاصی ارائه نشده است. به همین دلیل در این طرح از مقادیر استاندارد ارائه شده از سوی EPA , WHO برای سایر مصارف استفاده شده است. در پیوست الف مقادیر استاندارد هر یک از آلاینده‌ها برای انواع مختلف مصارف آب ارائه شده است.

۳ـ۱۸ـ گیاه پالایی

کلمه Phytoremediation از دو لغت تشکیل شده است که اولی لغت یونانی "Phyto" به معنی گیاه و دومی لغت لاتین "Remediate" به معنی اصلاح کردن یا درمان کردن می‌باشد. این لغت عموماً برای سیستمی بکار برده می‌شود که در آن گیاهان بنوعی برای پالایش آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرند [۳۷].

گیاه‌پالایی استفاده از گیاه برای تصفیه خاک‌ها، رسوبات و آب آلوده شده در محل است. گیاه‌پالایی بهترین روش پالایش در مکان‌های با آلودگی کم عمق به آلاینده‌های آلی، مواد مغذی، یا فلزات است که توسط یکی از پنج عمل: تبدیل گیاهی[۲۴]، زیست‌پالایی محیط ریشه[۲۵]، تثبیت گیاهی[۲۶]، استخراج گیاهی[۲۷]، فیلتراسیون ریشه‌ای[۲۸] و پمپ گیاهی انجام می‌گیرد. گیاه‌پالایی، فناوری جدیدی است که به علت اقتصادی بودن، زیباسازی محیط و کاربرد بلند مدت، بایستی برای پالایش محل‌های آلوده شده مورد بررسی قرار گیرد.

بهترین روش از بین روش های پاک سازی (رفع آلودگی) خاک به روش های گیاه پالایی می توان اشاره نمود. پتانسیل استفاده گیاه پالایی برای خاک های آلوده کشور وجود دارد. گیاه پالایی مفید می تواند طیف گسترده ای ازشرایط سایت آلوده را در برگیرد . برخی از سایت ها که در آنها گیاه پالایی استفاده شده است عبارت است از: خطوط لوله؛ محل های دفن زباله شهری و صنعتی؛ زمین های کشاورزی؛ درمان سایت های درختزاری. پایگاه های نظامی؛ مزارع مخزن ذخیره سازی سوخت؛ ایستگاه های گاز؛ محل

[۲۴] Phytotransformation
[۲۵] Rhizosphere bioremediation
[۲۶] Phytostabilization
[۲۷] Phytoextraction
[۲۸] Rhizofiltration

استقرار مهمات ارتش؛ محل استقرار تصفیه خانه فاضلاب؛ و سایت های معدن. نتایج نشان میدهد که گیاهان پتانسیل زیادی برای رفع انواعی از آلاینده ها به شرح زیر را دارند:

هیدروکربن های نفتی

بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، و زایلن (BTEX)

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه (PAH)

پلی کلرید بی فنیل (PCB)

تری کلرو اتان (TCE) و دیگر حلال های کلری

ضایعات مهمات و مواد منفجره

فلزات سنگین

زباله آفت کش

پرتوزا

ضایعات غذایی (نظیر فسفات ها و نیترات ها)

در جدول ۳ـ۱۲سایت ها یی که در آن پروژه های گیاه پالایی برای رفع و پاک سازی خاک های آلوده فهرست شده است.

جدول ۳ـ۱۰ـ پروژه های گیاه پالایی منتخب برای آب زیر زمینی و خاک

آلاینده / هدف از پروژه	واسط ها / مکانیسم	گونه های گیاهی	مکان	مجری
حلال های کلردار / کنترل مهاجرت آنها به آب های زیرزمینی در زمین های اطراف شهری و حذف TCE و مشتقات آن از آب های زیرزمینی	**آب زیر زمینی** / استخراج گیاهی، گیاه ـ فراری تجزیه ریشه ای	صنوبر، بید	فیندلی (در مقیاس کامل)	Steve Synder, Ohio Environmental Protection Agency (OEPA-۳۵۲ (۴۱۹)) ۸۴۶۱Ed Gatliff, Applied Natural Sciences, Inc. (ANS۶۰۶۱-۹۴۲ (۵۱۳))
حلال های کلر /بیولوژیکی (پمپ و تصفیه) آلاینده آب های زیرزمینی	**خاک** / تجزیه ریشه ای، گیاه ـ فراری	صنوبر، بید سفید، گونه های بومی	سالونتز، سیستم های بهبود انگلستان جدید، سوتینگتون، CT (در مقیاس کامل)	Steve Rock, U.S. EPA ۷۱۴۹-۵۶۹ (۵۱۳) Ari Ferro, Phytokinetics ۰۹۵۰-۷۵۰ (۸۰۱)
ترکیبات BTEX / تصفیه نفتی و آلاینده های آلی؛ جلوگیری از مهاجرت آلودگی به آب های زیرزمینی	**خاک و آب های زیرزمینی** / کنترل هیدرولیکی، استخراج گیاهی، تجزیه ریشه ای، گیاه ـ فراری	صنوبر	اشلند، شرکت شیمیایی ،میلواکی ،WI (در مقیاس کامل)	Scott Ferguson, WisconsinDepartment of NaturalResources (WDNR ۸۶۸۵-۲۶۳ (۴۱۴)) Dr. Louis Licht, Ecolotree۹۷۵۳ -۳۵۸ (۳۱۹)
PAH ها/ کنترل نشت به آب های زیرزمینی و آب سطحی ،تثبیت خاک، وتجزیه آلاینده ها	**خاک و آب های زیرزمینی** / کنترل هیدرولیکی،، تجزیه ریشه ای	صنوبر، گراس ها	اونیدا، TN (در مقیاس کامل)	Dr. John Novak, VA Tech۶۱۳۲-۲۳۱ (۵۴۰) Dr. Louis Licht, Ecolotree-۳۵۸ (۳۱۹) ۹۷۵۳

خاک یک سیستم زنده و پایداری است که در آن بخش‌های زنده و غیرزنده با یکدیگر در کنش متقابل هستند. خاک، خاکزیان و گیاهان از دیدگاه بوم شناختی به همدیگر وابسته هستند. زندگی بسیاری از جانداران وابسته به انرژی نهفته در کربن آلی است در این راستا گیاهان و دیگر جانداران غذاساز با دگرگون ساختن انرژی نورانی به انرژی شیمیایی، کربن آلی را می‌سازند. آنها با اکسیداسیون کربن آلی بخشی از این انرژی را برای واکنش‌های بیوشیمیایی خود بکار می‌برند. بنابراین در مسأله بررسی برهم‌کنش‌های جانداران و زیستگاهشان، گیاهان جایگاه ویژه‌ای دارند. در این فصل پس از معرفی کامل گیاه‌پالایی و مکانیزم‌های مختلف آن، اشاره‌ای به محدودیت‌ها و پتانسیل‌های گیاه‌پالایی هم شده‌است. در بخش‌های بعدی این فصل نیز در مورد سابقهٔ علمی گیاه‌پالایی و معرفی گیاهان فستوکا و سورگوم توضیحاتی آورده شده است.

گیاه‌پالایی روش بسیار مناسبی برای موارد زیر است: در سایت‌های بسیار بزرگ که دیگر روش‌های پاک سازی اقتصادی نیستند، در سایت‌های با غلظت آلودگی کم به عنوان تصفیه جلادهی و در ترکیب با دیگر تکنولوژی ها، در جایی که بخواهند از گیاه برای پوشاندن سایت استفاده کنند. قبل از کاربرد این تکنولوژی در یک سایت، محدودیت‌های آن باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرند. این محدودیت‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- زمان طولانی مورد نیاز برای برطرف کردن آلودگی به سطح قابل قبول

۲- پتانسیل آلودگی گیاه و زنجیره غذایی

۳- مشکل ایجاد و نگهداری گیاه در اکثر محل‌های سمی.

گیاهان، نشان داده‌اند که ظرفیت تحمل غلظت بالای مواد شیمیایی آلی را دارند و به سرعت می‌توانند مواد شیمیایی را جذب و در بعضی موارد آنها را به مواد با سمیت کمتر تبدیل کنند. در مورد فلزات، گیاهان پتانسیل مناسبی را برای رفع آلودگی، به کمک استخراج گیاهی (جذب و تجمع در گیاه رشد یافته روی سطح زمین و بازیافت آلاینده‌ها از گیاه)، فیلتراسیون ریشه‌ای، و یا تثبیت ضایعات محل بوسیله کنترل فرسایش و تبخیر و تعرق مقادیر زیاد آب (تثبیت گیاهی)، نشان داده‌اند [۳۸].مکانیزم‌های گیاه‌پالایی در زیر مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرند:

۳-۱۸-۱- گیاه‌تبدیلی (گیاه‌واریختی)

گیاه‌تبدیلی به جذب مواد آلی و آلاینده‌های مغذی ازخاک و آب زیرزمینی به وسیله گیاهان اطلاق می‌شود. این مکانیسم بستگی مستقیم به جذب آلاینده‌ها از آب و خاک و تجمع متابولیک‌ها در بافت گیاهی دارد. برای کاربرد زیست محیطی گیاه‌تبدیلی، این موضوع اهمیت دارد که متابولیک‌های تجمع‌یافته در گیاه، غیرسمی یا حداقل با سمیت کمتر نسبت به مواد اولیه باشند.

محل‌هایی که پتانسیل کاربرد این سیستم را دارند شامل کارخانه‌ها و انبارهای پتروشیمی، محل‌های آلوده به ضایعات تسلیحاتی، مواد سوختی، حلال‌های کلرینه‌شده، شیرابه‌های لندفیل و مواد شیمیایی کشاورزی (آفت‌کش‌ها و کودها) می‌باشند. اکثر مواقع، مکانیزم گیاه‌پالایی تنها روش انتخاب شده برای تصفیه نیست بلکه همراه با روش‌های دیگر به عنوان تصفیه تکمیلی پساب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های شدیداً آلوده، بکار می‌رود [۳۸].

جذب مستقیم مواد آلی به وسیله گیاه از محل‌های کم‌عمق آلوده شده به مواد شیمیایی نسبتاً کم آب‌گریز (ضریب تفکیک[۲۹] آب - اکتانول، $\log k_{ow}$ =۱-۳/۵) یک مکانیزم حذف پر بازده است. این مکانیزم بیشتر برای مواد شیمیایی مانند BTEX (بنزن، اتیلن، زایلن و تری بنزن)، حلال‌های کلرینه‌شده و مواد شیمیایی آلیفاتیک زنجیره کوتاه مناسب است. مواد شیمیایی آب‌گریز ($\log k_{ow}$ >۳/۵) که با سطح ریشه‌ها و خاک‌ها پیوندی بسیار قوی ایجاد می‌کنند، به سادگی نمی‌توانند درون گیاه نقل مکان یابند. مواد شیمیایی قابل حل در آب($\log k_{ow}$<۰/۱)، نه به راحتی می‌توانند جذب ریشه‌ها شوند و نه فعالانه می‌توانند از میان غشاهای درون گیاه عبور کنند. برای مواد شیمیایی خیلی آب‌گریز ($\log k_{ow}$>۳/۵) مکانیسم‌های گیاه‌تثبیتی و یا زیست‌پالایی محیط ریشه پیشنهاد می‌شود.

بورکن و شنور [۳۹]، در سال ۱۹۹۶ نشان دادند جذب مستقیم مواد شیمیایی به درون گیاه از میان ریشه‌ها بستگی به راندمان جذب، نرخ تعرق و غلظت مواد شیمیایی در آب - خاک دارد. راندمان جذب، به خصوصیات فیزیکی- شیمیایی، گونه‌های شیمیایی و خود گیاه وابسته است. تعرق، یک متغیر کلیدی است که آهنگ جذب مواد شیمیایی را برای یک طرح گیاه‌پالایی، تعیین می‌کند و به گونه گیاه، سطح برگ، مواد مغذی، رطوبت خاک، دما، باد و رطوبت نسبی بستگی دارد. زمانی که مواد شیمیایی نقل مکان داده و به

[۲۹]- غلظت ترکیب آلی در آب/غلظت ترکیب آلی حل شده در اکتانول=K_{ow}

درون گیاه راه پیدا کنند، گیاه ممکن است آنها را ذخیره کند و با روش چوبی شدن آنها را به درون ساختمان‌های گیاهی جدید منتقل نماید (پیوند کووالانسی شیمیایی با اجزاء آن در بافت چوبی گیاه). همچنین می‌تواند ترکیب شیمیایی را تبخیر، متابولیز، یا به مواد معدنی، آب و دی‌اکسیدکربن تبدیل کند. نومن و همکاران [۴۰]، در سال ۱۹۷۷ گزارش نمودند که ترکیبات آلیفاتیک کلرینه مانند تری کلرواتیلن[۳۰] به مواد معدنی، دی‌اکسیدکربن و مواد حاصل از سوخت و ساز هوازی با سمیت کمتر (تری‌کلرواتانل، تری‌کلرواستیک‌اسید و دی‌کلرواستیک‌اسید) تبدیل شده است. این تولیدات سازگار با آنزیمهایی هستند که در کبد انسان برای تخریب تری کلرواتیلن بوسیله سیتوکروم P۴۵۰ وجود دارند. به همین دلیل گاهی اوقات این گیاهان را، کبدهای سبز[۳۱] نامند.

شکل دیگر مکانیزم گیاه‌تبدیلی مکانیسم گیاه‌فراری[۳۲] است، که در آن مواد شیمیایی فرار یا تولیدات متابولیکی آنها از طریق تعرق گیاهی، در اتمسفر آزاد می‌شوند. انتقال آلاینده‌ها از خاک یا آب زیرزمینی به اتمسفر یک روش مطلوب تجزیه (تخریب) در محل نیست، اما ممکن است بر حضور طولانی مدت آنها در محیط خاک و افزایش خطر آلودگی آب زیرزمینی، ترجیح داده شود.

آنزیم های لاکاز[۳۳] و نیتروریداکتاز[۳۴] در گیاهان می‌توانند ضایعاتی مانند TNT (۶،۴،۲-تری‌نیتروتولوئن) را بشکنند. این آنزیم ها ممکن است در شکستن مواد آلی حلقوی به مواد گیاهی جدید، مشارکت نمایند. شنور و همکاران [۴۱]، در سال ۱۹۹۵ نشان دادند که مکانیزم‌های سم‌زدایی ممکن است مواد شیمیایی سمی اولیه را به مواد متابولیکی غیرسمی گیاهی تبدیل کنند، که در بافت‌های گیاه ذخیره می‌شوند.

۳-۱۸-۲- زیست‌پالایی محیط ریشه

گیاه‌پالایی محیط ریشه , کربن آلی خاک , باکتری‌ها و قارچ‌های همزیست با ریشه (مایکوریز) که همگی از فاکتورهای موثر در تجزیه مواد شیمیایی آلی خاک هستند را افزایش می‌دهد. زیست‌پالایی محیط ریشه همچنین به عنوان محرک گیاهی[۳۵] یا کمک کننده زیست‌پالایی گیاه[۳۶] نیز شناخته شده است. جوردال و همکاران [۴۲]، در سال ۱۹۷۷ نشان دادند که تعداد باکتری‌های مفید در منطقه ریشه درختان صنوبر هیبرید نسبت به محل مرجع کشت نشده افزایش یافته است. ارگانیسم‌های ازت‌زدا[۳۷], , ارگانیسم‌های تجزیه‌کننده BTEX، و باکتری های هتروتروف، باعث بهبود زیست‌پالایی می‌شوند. ریشه گیاهان ممکن است ترشحاتی[۳۸] به محیط خاک رها کنند که باعث تجزیه مواد شیمیایی آلی به وسیله باکتری‌ها شود. همچنین

[30] TCE
[31] Green Livers
[32] Phytovolatilization
[33] Laccase124
[34] Nitroreductase
[35] Phytostimulation
[36] Plant-assisted bioremediation
[37] Pseudonomad spp
[38] Exudates

این ترشحات باعث رشد گونه‌های جدیدی از باکتری می‌شوند که قادر به تجزیه فاضلاب‌ها هستند و یا باعث افزایش غلظت مواد محلول برای تمام میکروارگانیسم‌ها می‌شوند. مقدار تراوش قندها، الکل‌ها، و اسیدها از گیاه و ریشه‌ها می‌تواند ۲۰-۱۰ درصد از مقدار فتوسنتز گیاه در سال را شامل شود.

پژوهشگران توزیع وزن مولکولی مواد آلی مترشحه از سیستم های ریشه‌ای درختان صنوبر پیوندی را مشخص کرده‌اند. این ترشحات شامل اسیدهای آلی زنجیره کوتاه فنل‌ها و غلظت‌های کم ترکیبات مولکولی سنگین وزن مانند (آنزیم‌ها وپروتئین‌ها), می‌شوند. تحقیقات آزمایشگاهی سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا[۳۹] در جورجیا و آتن, بر روی پنج سیستم آنزیم گیاهی (دی‌هالوژناز[۴۰], نیتروریداکتاز, پروکسیداز[۴۱], لاکاز و نیتریلاز[۴۲]), در خاک‌ها و رسوبات انجام گرفته است. آنزیم های دی‌هالوژناز در واکنش‌های دی‌کلرینه‌کردن هیدروکربن‌های کلرینه مهم هستند. آنزیم نیتروریداکتاز در مرحله اول برای تجزیه نیتروآروماتیک‌ها مورد نیاز است و همچنین این آنزیم به طور همزمان با آنزیم لاکاز برای شکستن ساختارهای حلقوی موجود در آلاینده‌های آلی بکار می‌رود. آنزیم‌های پروکسیداز و نیتریلاز در واکنش‌های اکسیداسیون مهم هستند. بطور کلی آنزیم‌ها در محیط ریشه و در نزدیکی آن (حدود یک میلیمتر) برای تبدیل و زیست‌پالایی[۴۳] آلاینده‌های آلی فعال هستند. علاوه بر سیستمهای ریشه‌ای گیاه، اکولوژی خاک نیز محیط مناسبی برای گیاه‌پالایی بوجود می‌آورد. زمانی‌که گیاهان در خاک یا رسوبات آبکی رشد می‌کنند, pH خنثی شده, فلزات جذب زیستی یا جذب رس[۴۴] شده, و آنزیم‌های باقیمانده در مجاورت ریشه گیاه حفاظت شده یا جذب سطح آن می‌شوند. در مطالعات شکستن TNT توسط EPA, گیاهانی مثل علف شاخی[۴۵]ها باعث افزایش pH آب خاک از ۳ به ۷ شده و غلظت‌های بالایی از فلزات که معمولاً بازدارنده باکتری‌ها هستند را جذب نموده تا سلامتی و زیست‌پذیری گیاهان حفظ شود.

شنور وهمکاران [۴۱]، در سال ۱۹۹۵ نشان دادند، در همه جا, گیاهان و سیستمهای ریشه‌ای آنها می‌توانند با ضایعات ترکیبی (آلی و فلزات) و دیگر وضعیت‌های نامساعد سازگار شوند.

اندرسون و همکاران [۴۳]، در سال ۱۹۹۳ اهمیت زیست‌پالایی در محیط ریشه گیاهان به کمک تبدیلات میکروبی را از راه‌های مختلف اثبات نمودند.

۱- قارچ مایکورایز[۴۶] با ریشه گیاه برای سوخت و ساز آلاینده‌ها همکاری می‌کند.

۲- ترشحات گیاهی تبدیلات باکتریایی را تحریک می کند (آنزیم القایی).

۳- افزایش تدریجی کربن آلی، سرعت معدنی شدن [۴۷] میکروبی را افزایش می‌دهد. (فراوانی ماده[۴۸])

[39] US EPA
[40] Dehalogenase
[41] Peroxidase
[42] Nitrilase
[43] Bioremediation
[44] Chelate
[45] Hornwort
[46] Mycorrhizae
[47] Mineralization
[48] Substrate enhancement

۴- گیاهان, زیستگاه مناسبی را برای افزایش جمعیت‌های میکروبی و فعالیت آنها آماده می‌کنند.

۵- اکسیژن پمپ شده به ریشه‌ها هوازی بودن محیط را تضمین می‌کند.

فلچر و همکاران [۴۴]، در سال ۱۹۹۵ گزارش داده‌اند که ترکیبات آلی کومارین[۴۹] و فلاونوید[۵۰] در اثر زیروروشدن ریشه درختانی مانند توت, توت آمریکایی و سیب، در خاک رها شده و باعث تحریک تجزیه بیولوژیکی PCB و PAH می‌شوند.

همزیستی قارچ با گیاه از راه‌های ویژه آنزیمی، تجزیه مواد آلی را که باکتری‌ها به تنهایی توانایی مصرف آنها را ندارند، تسهیل می‌کند. علاوه بر ترشحات قابل حل، سرعت زیاد تجزیه توده بیولوژیکی منطقه ریشه باعث افزایش کربن آلی خاک شده و لذا و حرکت مواد شیمیایی آلی را در خاک به تأخیر می‌اندازد. برای مثال، شنور و نایر [۴۵]، در سال ۱۹۹۳ نشان دادند تجزیه میکروبی آترازین مستقیماً به کسر کربن آلی در خاک وابسته است.

فوث [۴۶]، در سال ۱۹۹۰ نشان داد توده بیولوژیکی فراوانی در محیط ریشه وجود دارد که نوعاً ممکن است شامل $۵*۱۰^{۶}$ باکتری، $۹*۱۰^{۵}$ اکتینومیست[۵۱] و $۲*۱۰^{۳}$ قارچ در هر گرم از خاک خشک شده باشد. باکتری‌ها در کلنی‌هایی زندگی می‌کنند که می‌توانند حدود ۴ الی ۱۰ درصد سطح ریشه‌ها را پوشش دهند.

۳-۱۸-۳- گیاه‌تثبیتی

گیاه‌تثبیتی, به نگهداری خاک‌ها و رسوبات آلوده در مکان بوسیله گیاهان, و همچنین ایستاکردن آلاینده‌های سمی در خاک اطلاق می‌شود. استقرار ریشه گیاهان در خاک از بلند شدن غبار خاک تحت اثر باد, جلوگیری می‌کند. گرد و خاک مکانیزم مهمی برای آلودگی انسان در سایت های حاوی مواد زائد خطرناک است. همچنین کنترل هیدرولیکی نیز ممکن است در بیشتر موارد به واسطه تعرق حجم زیاد آب از سطح گیاه، از حرکت شیرابه محل‌های دفن به طرف آب های زیرزمینی و یا دیگر آب های پذیرنده جلوگیری کند.

گیاه‌تثبیتی مخصوصاً برای محل‌های آلوده به فلز قابل کاربرد است که در این محل‌ها بهترین گزینه غالباً نگهداری آلاینده در محل است. گیاه‌تثبیتی با توجه به مقدار کم تجزیه پذیری فلزات و نگهداری آنها در محل در بیشتر موارد برای محل‌های با سطح آلودگی کم (آستانه‌های پایین خطر) و همچنین در مناطق با آلودگی‌های وسیع که حذف آلودگی درجا در مقیاس بزرگ عملی نباشد، بهترین انتخاب است. رشد مؤثر گیاهان برای کنترل هیدرولیکی و عدم تحرک آلاینده‌ها در سایت آلوده لازم است و گیاهان را نباید در طول دوره رفع آلودگی با استفاده از مکانیزم گیاه‌تثبیتی حذف و یا نابود نمود. آلاینده‌های هسته‌ای در سطوح پائین را می‌توان به کمک مکانیزم گیاه‌تثبیتی در در محل نگهداری نمود و این منجر به کاهش خطر آنها شده به شرطی که نیمه عمر آنها خیلی طولانی نباشد [۴۷].

[49] Coumarin
[50] Flavonoid
[51] Actinomycetes

۳-۱۸-۴- گیاه‌استخراجی

گیاه‌استخراجی به استفاده از گیاهان تجمع‌دهنده فلزی[۵۲] برای انتقال فلزات از خاک به ریشه و سپس به ساقه‌ها و برگ‌ها، و انباشته نمودن آنها اشاره می‌کند. گینی [۴۸]، در سال ۱۹۹۶ در تحقیقات شرکت تکنولوژی گیاهی بر روی مکانیزم گیاه استخراجی، نشان داد پاک سازی مکان‌های قدیمی دفن زباله‌های شهری که مواد آنها پوسیده و بودار شده و دارای غلظت پایین فلز سرب و کادمیم است به کمک گیاه‌استخراجی بسیار کم هزینه و مؤثر بود.

گیاه‌استخراجی برای استخراج مواد هسته‌ای از مکان‌های آلوده شده به مخلوطی از ضایعات پیشنهاد شده است. مزیت قابل ملاحظه این روش در اقتصادی بودن هزینه‌ها نسبت به انجام طرح خاکبرداری و تصفیه یا دفع دارد. پس از گیاه‌استخراجی بررسی می‌شود که آیا بازیابی فلزات از بافت گیاهی اقتصادی است و یا آنکه گیاهان را باید دفع نمود. ملاحظات طراحی چنین مکانیزمی شامل: فاکتور تجمع[۵۳] (نسبت مقدار فلز در بافت گیاهی به مقدار آن در خاک) و تولید گیاهی[۵۴] (کیلوگرم ماده خشک قابل برداشت در هر فصل) می‌باشد. به عبارت دیگر برای انتخاب گونه گیاه برای پالایش به گیاهی با تولید زیاد (بیش از ۳ تن ماده خشک در هکتار در سال) و برداشت آسان نیاز است که بتواند غلظت‌های بالای فلز (بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم فلز در کیلوگرم محصول خشک) را در خود انباشته کند [۴۷].

۳-۱۸-۵- فیلتراسیون ریشه‌ای

فیلتراسیون ریشه‌ای به استفاده از ریشه‌های گیاه برای جذب, تغلیظ و ترسیب آلودگی‌های فلزی از آب‌های سطحی یا زیرزمینی اشاره دارد. ریشه‌های گیاهان قادر هستند مقادیر زیاد سرب و کروم را از محیط آب-خاک و یا از آب جاری در ناحیه ریشه‌ای گیاهان جذب کنند. پتانسیل تصفیه آلودگی رادیواکتیو با گیاهان مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. برای مثال شرکت تکنولوژی گیاهی در یک پروژه پایلوتی، با کشت گیاه آفتابگردان بر روی ضایعات اورانیوم در منطقه اشتابولا[۵۵] در اهایو[۵۶] و در آب یک برکه در مجاورت راکتور هسته‌ای چرنوبیل در اکراین[۵۷]، مکانیسم فیلتراسیون ریشه‌ای را مطالعه نمودند. تری‌نیتروتولوئن یک آلاینده آلی است که قویاً جذب ریشه می‌شود و به مقدار قابل ملاحظه جابه‌جا نمی‌شود.

تالاب‌ها به عنوان یکی از اکوسیستم‌های طبیعی حمایت کننده حیات به همراه پوشش گیاهی ویژه به خود بعنوان محیط کشت باکتری‌ها با حداقل اکسیژن محلول هستند. تالاب‌ها به کمک مکانیسم فیلتراسیون ریشه‌ای قادرند برخی از پساب‌ها را تصفیه کنند. فناوری تالاب با پوشش گیاه نی برای کارخانه‌های مهمات سازی ارتش در میلان[۵۸] و تنسی[۵۹] طراحی شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

---

[52] Metal-accumulating
[53] Accumulation
[54] Plant productivity
[55] - Ashtabula
[56] - Ohio
[57] - Ukraine
[58] - Milan

تالاب‌ها در تصفیه آلاینده‌های مواد آلی، مغذی و فلزات و برای سال ها با موفقیت چشمگیری مورد استفاده انسان قرار گرفته‌اند. استفاده درازمدت گیاهان تالاب و شرایط احیا- سولفات منجر به افزایش pH و کاهش غلظت فلزات سمی زه‌آب‌های یک معدن اسیدی شده است. سیستم‌های ریشه‌ای و رسوبات تالاب (ناحیه‌های هوازی و بی هوازی) می‌توانند جذب و ترکیب فلزات سمی را تسهیل کنند.

۳-۱۸-۶- پمپ گیاهی و کنترل تعادل آب

پمپ گیاهی یکی از مکانیزم‌هایی است که برای حذف یا حداقل نمودن حرکت آلاینده‌ها استفاده می‌شود. در این مورد، گیاهان با کشیدن حجم بزرگی از آب‌های آلوده باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها در سفره آب زیرزمینی می‌شوند. گیاهانی که قادر به جذب مقادیر عظیم آب از خاک هستند بهترین انتخاب در این زمینه می‌باشند. برای مثال درخت بید بیش از ۲۰۰ لیتر آب در روز مصرف می‌کند [۴۹]. گیاهانی که دارای این خصوصیات هستند ارزان‌ترین جایگزین برای پمپ‌های مکانیکی و سیستم‌های تصفیه آب زیرزمینی با عمق کم می‌باشند.

کاربردهای مکانیزم‌های گیاه‌پالایی در جدول ۳-۱۳ آورده شده است. در جدول ۳-۱۴، بعضی گونه‌های گیاهی مورد استفاده گیاه‌پالایی لیست شده است. در جدول ۳-۱۵، ترشحات گیاهی یا آنزیم‌هایی که برای شکستن ترکیبات وجود دارد معرفی شده‌اند [۵۰].

جدول ۳-۱۱ : مکانیزم‌های گیاه‌پالایی به همراه موادی که قابل تصفیه به وسیله این مکانیزم‌ها

نوع مکانیزم	تصفیه مواد شیمیایی
تجمع گیاهی- استخراج گیاهی	فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو،BTEX (بنزن، اتیل بنزن، تولوئن و زایلن)، پنتاکلروفنل، ترکیبات شاخه‌دار زنجیرکوتاه و دیگرترکیبات آلی.
تجزیه گیاهی-تبدیل گیاهی	مواد شیمیایی جنگ‌افزاری (DNT، HMX، نیتروبنزن،نیترواتن، نیترومتان، نیتروتولوئن، اسیدپیکریک، RDX و TNT)، آتریزین، حلال‌های کلرینه (کلروفرم، تتراکلرایدکربن، هگزاکلرواتان، دی‌کلرواتن، تری‌کلرواتن، تتراکلرواتن، ونیل‌کلراید، دی‌کلرواتانل، تری‌کلرواتانل، مونوکلرواستیک‌اسید، دی‌کلرواستیک‌اسید، تری‌کلرواستیک‌اسید، تری‌کلرومتان و تتراکلرومتان)، DDT، دی‌کلرواتان، متیل‌بروماید، تترابروموواتن، دیگر کلرین‌ها، آفت‌کش‌های فسفره، بی‌فنل‌های پلی‌کلرینه، دیگر فنل‌ها و نیتریل‌ها.
تثبیت گیاهی	به استثنای حلال‌های کلرینه و فنل‌ها (تری‌کلرومتان و تتراکلرومتان)، بر روی استخرهای دفن معدن در مورد فلزات سنگین آزمایش شده است.
تحریک گیاهی	هیدروکربن‌های پلی‌سیکلیک آروماتیک (چند حلقه‌ای بودار)، BTEX، دیگر هیدروکربن‌های نفتی، آتریزین، PCB (بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه)، تری‌کلرواتان و تتراکلرواتان و دیگر ترکیبات آلی.
فراریت حاصل از واکنش‌های گیاهی(گیاه فراری)	حلال‌های کلرینه شده، جیوه و سلنیم
فیلتراسیون محیط ریشه	فلزات سنگین، مواد شیمیایی آلی و رادیواکتیوها

[59] Tennessee

جدول۳-۱۲ : گونه‌های گیاهی مورد استفاده در گیاه‌پالایی ترکیبات آلی

آنزیم	گیاهان شناخته شده برای تولید آنزیم فعال	کاربرد
دهالوژناز	صنوبر (درخت سپیدار) پیوندی، جلبک	حلال‌های کلرینه دی هالوژنه
لاکاز	گونه های مختلف جلبک نیتلا	شکسته شدن حلقه آروماتیک بعد از TNT برای تولید تری‌آمینوتولوئن
نیتریلاز	بید (درخت)	شکسته شدن گروه‌های سیانید از حلقه‌های آروماتیک
نیتروریداکتاز	صنوبر پیوندی، هزار برگ آبزی پر طاووسی، گونه های مختلف جلبک نیتلا	برای تولید گروه‌های نیترو و دیگر ترکیبات نیتروآروماتیک. حذف نیتروژن از ساختارهای حلقوی.

جدول ۳ـ۱۳ـ : آنزیم‌های گیاهی که نقش تبدیل ترکیبات آلی را دارند.

گونه‌های گیاهی	آلودگی
جو	هگزا کلرو بنزن، PCB s، پنتا کلرو بنزن، تری‌کلرو بنزن
گراس‌های برگ گوشتی	اسیدهای بنزوئیک کلرینه
هزار برگ آبزی پر طاووسی	تترا کلرو اتان (PCE)، تری کلرواتان (TCE)، TNT
صنوبر پیوندی	آتریزین، نیتروبنزن، TCE، TNT
گراس‌های دشتی	اسیددوکلروبنزوئیک

جدول ۳ـ۱۴: انواع گیاهان و واسط ها را برای مکانیسم رفع آلاینده ها با کاربرد ساده گیاهی نشان می دهد.

جدول ۳ـ۱۴ـ انواع گیاهان، واسط ها(خاک، آب زمینی و رسوب) و آلاینده ها

نوع آلاینده	واسط(پذیرنده)	نوع گیاه													
		Alfalfa	Alyssum	Bald cypress	Black locust	Cottonwood	Grasses	Hybrid poplars	Indian mustard	Pennycress	Red Mulberry	Stonewort	Sunflower	Water hyacinth	Willow
آلی	خاک			▲ PD RD			▲ RD	▲ PD RD			▲ RD	▲ PD			▲ PD RD
	رسوب			▲ PD RD			▲ RD	▲ PD RD			▲ RD	▲ PD			▲ PD RD
	آب زیر زمینی			▲ PD		▲ HC		▲ HC PD				▲ PD			▲ HC PD
غیر آلی	خاک	▲ PV	▲ PE		▲ PV		▲ PS	▲ PE PS PV	▲ PE PS PV	▲ PE			▲ PE		
	رسوب	▲ PV	▲ PE		▲ PV		▲ PS	▲ PE PS PV	▲ PE PS PV	▲ PE			▲ PE		
	آب زیرزمینی					▲ HC		▲ HC	▲ RF				▲ RF	▲ RF	▲ HC

▲ گیاه موثر برای نوع آلاینده

HC Hydraulic control
PD Phytodegradation
PE Phytoextraction
PS Phytostabilization
PV Phytovolatilization
RD Rhizodegradation
RF Rhizofiltration

۳ـ۱۹ـ پیاده سازی نرم افزار و وب سایت

هدف از اجرای این پروژه نرم افزاری ارائه محتوا و نتایج تحقیق گروه خاک شناسی از طریق فضای وب جهت دسترس عموم کارشناسان به آن می باشد. لذا آنچه در این پروژه مورد توجه قرار می گیرد ارائه محتوا به شیوه نوین در قالب یک سیستم مدیریت محتوی و پیاده سازی کلیه نتایج تحقیق در یک محیط نرم افزاری تحت وب با امکان ورود داده ها و اجرای عملیات پردازش و تولید خروجی و مشاهده اطلاعات مورد نظر کاربر می باشد.

در این بخش به بررسی کلی سیستم مورد نظر پرداخته و توضیحی مختصر از تجزیه وتحلیل صورت گرفته و مکانیزم آن بیان خواهد شد.

در تولید آن از تکنولوژی Asp.Net 3.5 و زبان برنامه نویسی #Cو تحت نرم افزار Visual Studio 2010و SQLServer2008 و... استفاده شده است.

بخش های اصلی وب سایت:

بخش های اصلی این وب سایت عبارتند از:

ـ بخش مدیریت سایت

۱- امکان دسترسی به سیستم مدیریت محتوای نرم افزار (شامل متن و تصویر و بارگزاری فایل)

۲- امکان مدیریت بخش پرسش و پاسخ کاربران

۳- امکان مدیریت داده های ذخیره شده (ویرایش و افزودن و یا حذف آنها)

ـ بخش کاربری سایت

۱-امکان چاپ محتوای سایت

۲-امکان انجام ارزیابی وضعیت زیست محیطی خاک

۳-امکان تعیین حداکثر بار مجاز آلاینده در منابع قابل تخلیه به خاک

۴-امکان تعیین غلظت استاندارد آلودگی در خاک

۵-امکان انجام ارزیابی سریع

۶-امکان جستجوی کلمات کلیدی

۷-بخش پرسش و پاسخ

۳-۱۹-۱- امکان سنجی

در این قسمت به بررسی مقدماتی و ارزیابی پروژه به منظور تعیین امکان پذیری پیاده سازی آن خواهیم پرداخت. محیط زیست شامل آب، خاک، هوا و موجودات زنده کره خاکی است. پیشرفت تکنولوژی و تناسب نداشتن آن با محیط زیست و تغییر تمدن بشری طی دوران مختلف، نادیده گرفتن روابط صحیح میان نیازهای بشری و محیط زیست، زندگی موجودات کره زمین را روز به روز با مسایل پیچیده‌تری مواجه ساخته است. به طوری که انسان با فعالیتهای کشاورزی، صنعتی و بهره‌برداری از منابع و امکاناتی که برای ادامه زندگی در این محیط انجام می‌دهد، ضمن ایجاد تغییرات مفید و مناسب، سبب آلودگی آن نیز شده است.

متاسفانه در سال های گذشته به دلیل عدم توجه به موضوع آلودگی خاک در کشور، خاک های کشور در مناطق مختلف تحت تخریب و آلودگی زیادی قرار داشته اند.

به دلیل پیچیدگی ویژگی های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی خاک به آسانی نمی توان میزان تاثیر این آلاینده ها را اندازه گیری کرد. بدین منظور گروه خاک شناسی، تحقیقاتی در مورد انواع آلاینده هایی که موجب آلودگی خاک می شوند انجام داده است و هدف کلی از اجرای این پروژه نرم افزاری ارائه محتوا و نتایج تحقیق آلاینده های خاک از طریق فضای وب جهت دسترس عموم کارشناسان به آن می باشد. برای کاربران سایت هیچ گونه محدودیتی وجود نخواهد داشت.

۳-۱۹-۲- موجودیت ها در طراحی

با توجه به ماهیت تحت وب بودن نرم افزار جهت جلوگیری از دسترسی های غیر مجاز به برنامه تدابیر امنیتی لازم اندیشیده شده است که در لایه های مختلفی چون: بانک اطلاعاتی و دسترسی به داده، کنترل ورودی های کاربر، امنیت session ها و cookie ها و رمزنگاری اطلاعات اعمال می گردد .

با این وجود بخش مدیریت صرفا جهت کنترل محتوا است و این گروه ویژگی و یا دسترسی ویژه نسبت مطالب نخواهند داشت, بحث عضویت کاربر به دلیل ارائه عمومی امکانات و مطالب نیز مطرح نیست.

ـ شرح موجودیت های خارجی

مدیر سایت کاربری است که با در اختیار داشتن نام کاربری وکلمه عبور به صفحه مدیریت با ویژگی های خاص کنترلی زیر وارد می شود:

- امکان دسترسی به سیستم مدیریت محتوای نرم افزار (شامل متن و تصویر و بارگزاری فایل (
- امکان مدیریت بخش پرسش و پاسخ کاربران
- امکان مدیریت داده های ذخیره شده (ویرایش و افزودن و یا حذف آنها(
- امکان ایجاد کاربر مدیر
- امکان تغییر کلمه عبور کاربر جاری

کاربر هر شخصی که وارد وب سایت می شود اتلاق می شود و این فرد از تمامی امکانات سایت شامل موارد زیر می تواند استفاده کند:

- امکان چاپ محتوای سایت
- امکان انجام ارزیابی وضعیت زیست محیطی خاک
- امکان تعیین حداکثر بار مجاز آلاینده در منابع قابل تخلیه به خاک
- امکان تعیین غلظت استاندارد آلودگی در خاک
- امکان انجام ارزیابی سریع
- امکان جستجوی کلمات کلیدی
- بخش پرسش و پاسخ

ـ بانک اطلاعات

۳ـ۲۰ـ معرفی سیستم های اطلاعات مکانی GIS

GIS علم و تکنولوژی جمع آوری تجزیه و تحلیل، تفسیر، پراکنش و استفاده داده های مکانی می باشد. به علاوه یک مجموعه کامپیوتری برای جمع آوری، ذخیره و تجزیه و تحلیل داده هایی استفاده می شود که موقعیت جغرافیایی آنها یک مشخصهٔ اصلی و مهم محسوب می شود. یک **GIS** هرگز به تنهایی نمی تواند وجود داشته باشد بلکه نیازمند به وجود سیستم منسجمی از نیروی انسانی، تجهیزات و تسهیلات می باشد تا مسئولیت پیاده سازی و نگهداری را بعهده گیرد.(شکل ۳ـ۸)

شکل ۳ـ۸ـ اجزای سیستم GIS برای بانک اطلاعات سایت آلودگی خاک

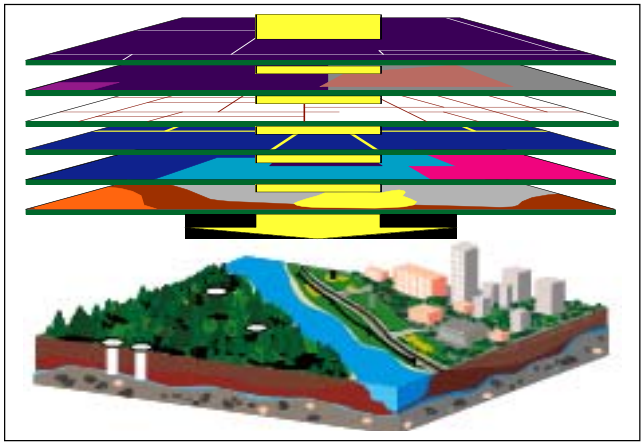
۳ـ۲۰ـ۱ـ بررسی ضرورت و اهمیت موضوع (نیازسنجی استفاده از GIS)

اولین مرحله از انجام رفع آلودگی خاک نیاز سنجی می باشد که موجب جلوگیری از اتلاف هزینه و وقت می شود. GIS یک سیستم حامی تصمیم گیری است که به صورت وسیع در زمینه بهینه سازی فعالیت ها و فرآیندهای مختلف، مورد استفاده قرار می گیرد. برای پروژه های GIS سایت های آلودگی خاک، امکان ذخیره سازی و مدیریت داده ها و اطلاعات در قالب فایل ها و اطلاعات ساده وجود دارد. هنگامی که حجم اطلاعات زیاد باشد و همچنین تعداد کاربران سیستم از تعداد محدود فراتر می‌رود، بهترین روش برای مدیریت اطلاعات، استفاده از سیستم مدیریت پایگاه داده (DataBase Management System) می باشد از قابلیت های پایگاه اطلاعاتی(DataBase) ، مدیریت اطلاعات و قابلیت دستیابی به داده های مختلف هر سایت آلودگی خاک بر حسب نیاز می باشد.

۳ـ۲۰ـ۲ـ مراحل اجرای GIS

ـ جمع آوری لایه های سایت آلودگی خاک

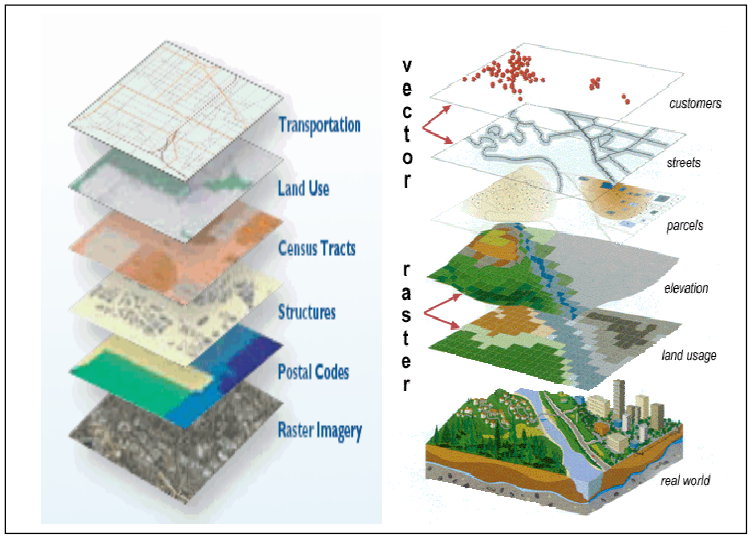
برای جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه اضافی و دوباره کاری می بایست به جمع آوری لایه های موجود سایت آلوده خاک اقدام نمودشکل۳ـ۹ البته با نیاز به اطلاعات جدید می باشد و یا بعضی از اطلاعات از نظر مقیاس یا دقت با اهداف شناسایی، طبقه بندی، و یا ارزیابی خطر آلودگی سایت برای انسان و محیط زیست منطبق نمی باشد که در آن صورت می بایست با تعریف پروژه متناسب، اطلاعات را به روز رسانی یا تکمیل و ایجاد نمود.



شکل ۳ـ۹ـ جمع آوری لایه های سایت آلودگی خاک(برحسب پروژه متغییر است)

۳ـ۲۰ـ۳ـ تهیه لایه ها و اطلاعات مورد نیاز

در اکثر موارد اطلاعات و نقشه های مورد نیاز به شکل کاغذی موجود می باشند که هم می بایست مکاندار شوند و هم به سیستم تصویر و مقیاس مورد نظر درآیند(شکل ۳ـ۱۰). این امر به ترتیب توسط رقومی کردن و زمین مرجع نمودن (Georeffrence) داده ها امکان پذیر است. تبدیل نقشه های کاغذی به کامپیوتری یکی از وقت گیرترین و پرهزینه ترین قسمت های سایت آلودگی خاک بسته به مساحت می باشند.



شکل۳ـ۱۰ـ لایه های وکتوری و رستری سایت آلودگی

۳ـ۲۰ـ۴ـ داده های رقومی

داده رقومی یعنی شکل قابل تشخیص برای رایانه می باشد. اولین قدم برای تبدیل اطلاعات قیاسی به رقومی تبدیل اطلاعات کاغذی به شکل رقومی است که به دو شکل رقومی و اسکن کردن انجام می شود.

داده رقومی توسط تجهیزاتی چون میز و صفحه رقومی گر، اسکنر،GPS، تئودولیت های الکترونیکی و ابزارهای فتوگرامتری رقومی و سیستم های تفسیر داده های سنجش از دور نیز به دست می آید.

۳ـ۲۰ـ۴ـ۱ـ رقومی نمودن داده ها

عمل تبدیل داده آنالوگ به داده قابل ورود به کامپیوتر را رقومی کردن می گویند. به عبارت دیگر تکنیک تبدیل نقشه های سنتی یا کاغذی و یا سایر مدارک گرافیکی (آنالوگ) به داده های رقومی سازگار با فرمت های برداری و رستری. رقومی ساز از یک صفحه مغناطیسی حساس تشکیل شده و دارای مکان نمایی به شکل قلم و پاک است. استفاده از ابزار ArcGIS در نرم افزار و دیجیت کردن از راه های دیگر رقومی نمودن داده هاست.پس از قرار گرفتن تصویر در مختصات حقیقی خود، می توان فرایند رقومی سازی را آغاز نمود. در این صورت کلیه عوارض رقومی گشته نیز همواره سیستم تصویر و مختصات واقعی خود را بدست آورده و آن را حفظ خواهند نمود.

۳ـ۲۰ـ۴ـ۲ـ تجهیزات کسب داده

بسیار متنوع و شامل میز و صفحه رقومی گر،اسکنر،GPS،تئودولیت های الکترونیکی و ابزارهای فتوگرامتری رقومی وسیستم های تفسیر داده های سنجش از دور می باشد.

i. دیجیتایز مستقیم با استفاده از میز یا صفحه دیجیتایزر
ii. رقومی سازی با استفاده از اسکنر که نقشه را بصورت رستر در می آورد:
iii. دیجیتایز از روی صفحه مانیتور
iv. تبدیل خودکار رستر به وکتور

۳ـ۲۰ـ۵ـ کنترل لایه ها و اطلاعات

کنترل لایه ها و اطلاعات شامل موارد ذیل می باشد:

- کنترل قرار گرفتن لایه های shape در پوشه صحیح
- نام لایه ها
- ساختار جدول هر لایه
- ساختار فیلدها-(طول ،نوع و نام فیلدها)
- دو بعدی بودن
- تنظیم سیستم تصویر

۳ـ۲۰ـ۵ـ۱ـ تکمیل لایه های مورد نیاز

- وجود تمام لایه های لازم مطابق فایل CAD
- عدم وجود لایه ها ی اضافی
- کنترل تکمیل بودن عوارض هر لایه مطابق لایه های فایل CAD

۳ـ۲۰ـ۶ـ ذخیره سازی لایه ها در پایگاه داده ها

۳ـ۲۰ـ۶ـ۱ـ تهیه پایگاه داده (Data base)

پایگاه داده نمونه بی نظیری از پایگاه داده جهان است که به صورت منحصر به فرد می باشد. بانک های اطلاعاتی در نتیجه خلاصه کردن یا ساده سازی داده های برداشت شده از طبیعت بوجود می آیند. DBMS به منظور ذخیره سازی، سازماندهی و مدیریت اطلاعات جغرافیایی در GIS مورد استفاده قرار می گیرد.

۳ـ۲۰ـ۷ـ مدیریت سایت آلودگی خاک GIS

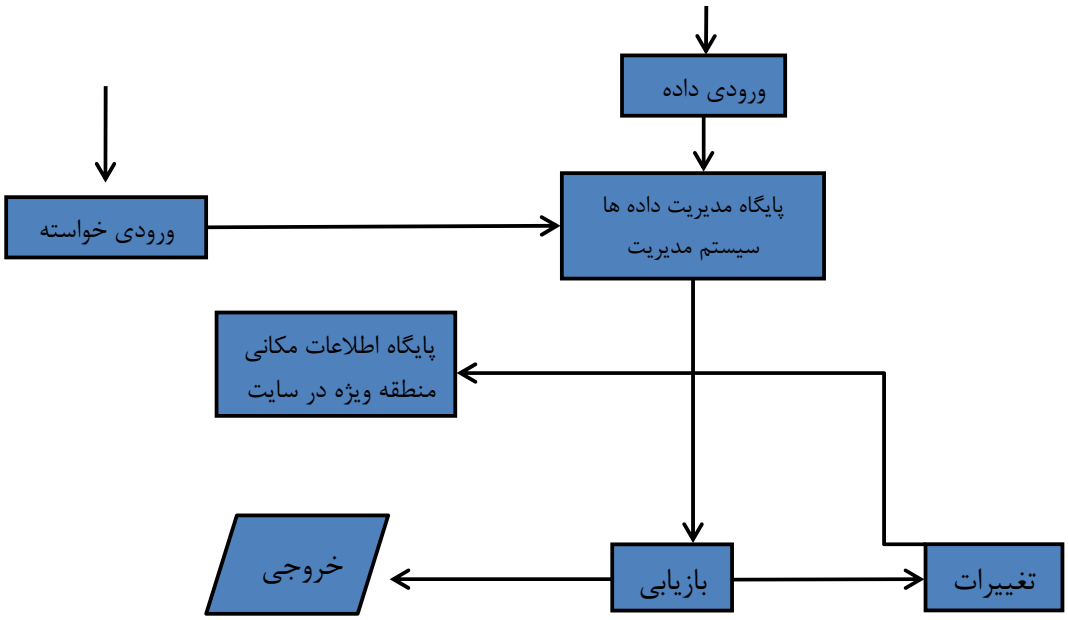
در طراحی پایگاه اطلاعات سیستم GIS بر اساس تحلیل نیازهای انجام شده، ساختار داده ها به گونه ای باید طراحی گردد که ارتباط های منطقی بین داده ها حفظ شده و براساس آن بتوان سیستم مدیریت داده های موجود را پیاده سازی نمود.

با توجه به استفاده از منابع متفاوت اطلاعاتی در تکمیل داده های بانک اطلاعاتی باید الگوریتم مدیریت داده ها با قابلیت بازیابی و دسترسی به رکوردها و لایه های اطلاعاتی سایر منابع اطلاعاتی بر حسب موقعیت جغرافیایی و در شرایط مورد نیاز کاربر، طراحی و در محیط نرم افزاری بستر GIS انتخاب و پیاده سازی گردد.

مدل های پایگاه داده مختلفی از قبیل سسله مراتبی، شبکه ای، رابطه ای، شئ‌گرا و ... وجود دارد که از این میان، مدل های داده رابطه ای (Relational) و شئ گرا (Object Oriented) به صورت وسیع در نرم افزارهای GIS مورد استفاده قرار می گیرند.

۳ـ۲۰ـ۸ـ بخش های پایگاه اطلاعات مکانی سایت آلودگی خاک

اجزای پایگاه اطلاعات مکانی در شکل ۳ـ۱۱ نشان داده می شود.



شکل ۳ـ۱۱ـ بخش های مختلف پایگاه اطلاعات مکانی سایت آلودگی خاک

ـ بازیابی و به روز رسانی لایه ها

در هر پروژه حتی الامکان می بایست از اطلاعات جدید و با دقت، مقیاس با اهداف مطالعات استفاده نمود.گاها اطلاعات موجود یا کار ما منطبق نمی باشد که در آن صورت می بایست اطلاعات را به روز رسانی یا دوباره ایجاد نمود.

ـتبدیل لایه ها

لایه ها از فرم CAD به فرم Shape که فرم معمول اطلاعات GIS می باشد قابل تبدیل می باشد و بالعکس. همین طور از فرم تصویر به shape.

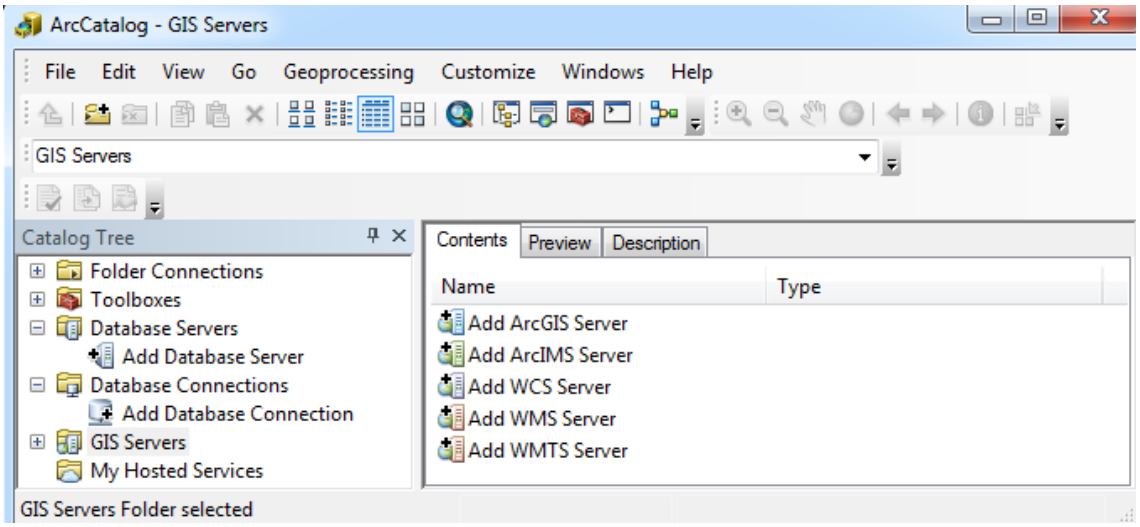
ـ خروجی و نمایش لایه ها

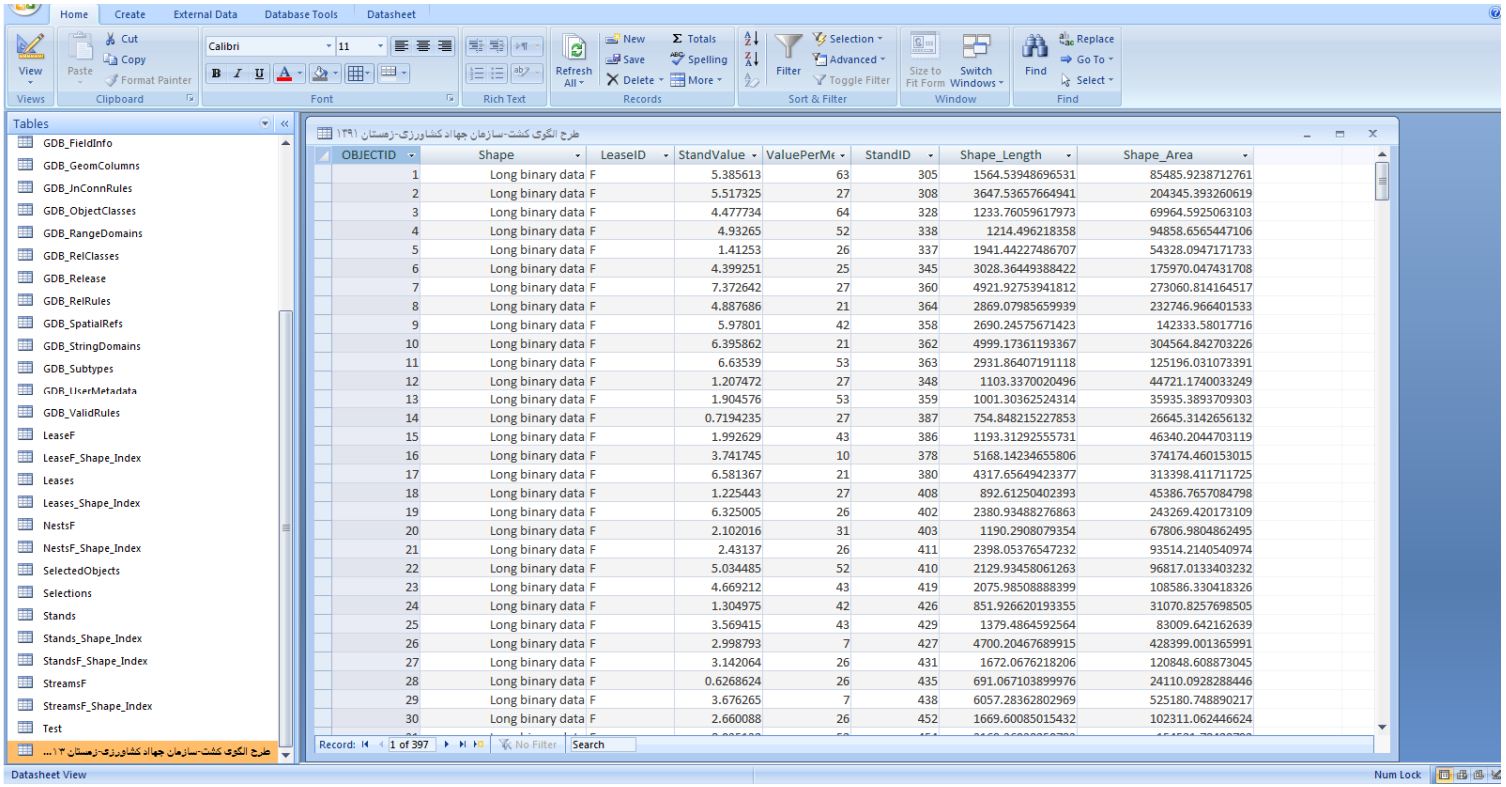
خروجی، تولید نهایی یک تجزیه و تحلیل است. در پایان هر تجزیه و تحلیل باید تلاش گردد تا نتایج حاصل به بهترین شکل ممکن ارائه شوند. یک تجزیه و تحلیل بدون ارائه خروجی مناسب عملا ناموفق قلمداد خواهد شد. خروجی GIS پل ارتباطی کاربران آن با دیگر متخصصین می باشد. تهیه یک خروجی با کیفیت مناسب در GIS وابسته به دو جزء اصلی می باشد که عبارتند از : فن آوری خروجی و طراحی خروجی. اصول و معیارهای کارتوگرافی، در طراحی خروجی مطرح می شوند. آگاهی از این اصول و بکارگیری آنها موجب می شود خروجی GIS از کیفیت و قدرت گویایی مناسب برخوردار باشد.

۳ـ۲۰ـ۹ـ بانک های اطلاعاتی

برای ایجاد بانک اطلاعات از نرم افزارهایی چون ArcIMS، Aceess (جهت تعداد کاربر کم و

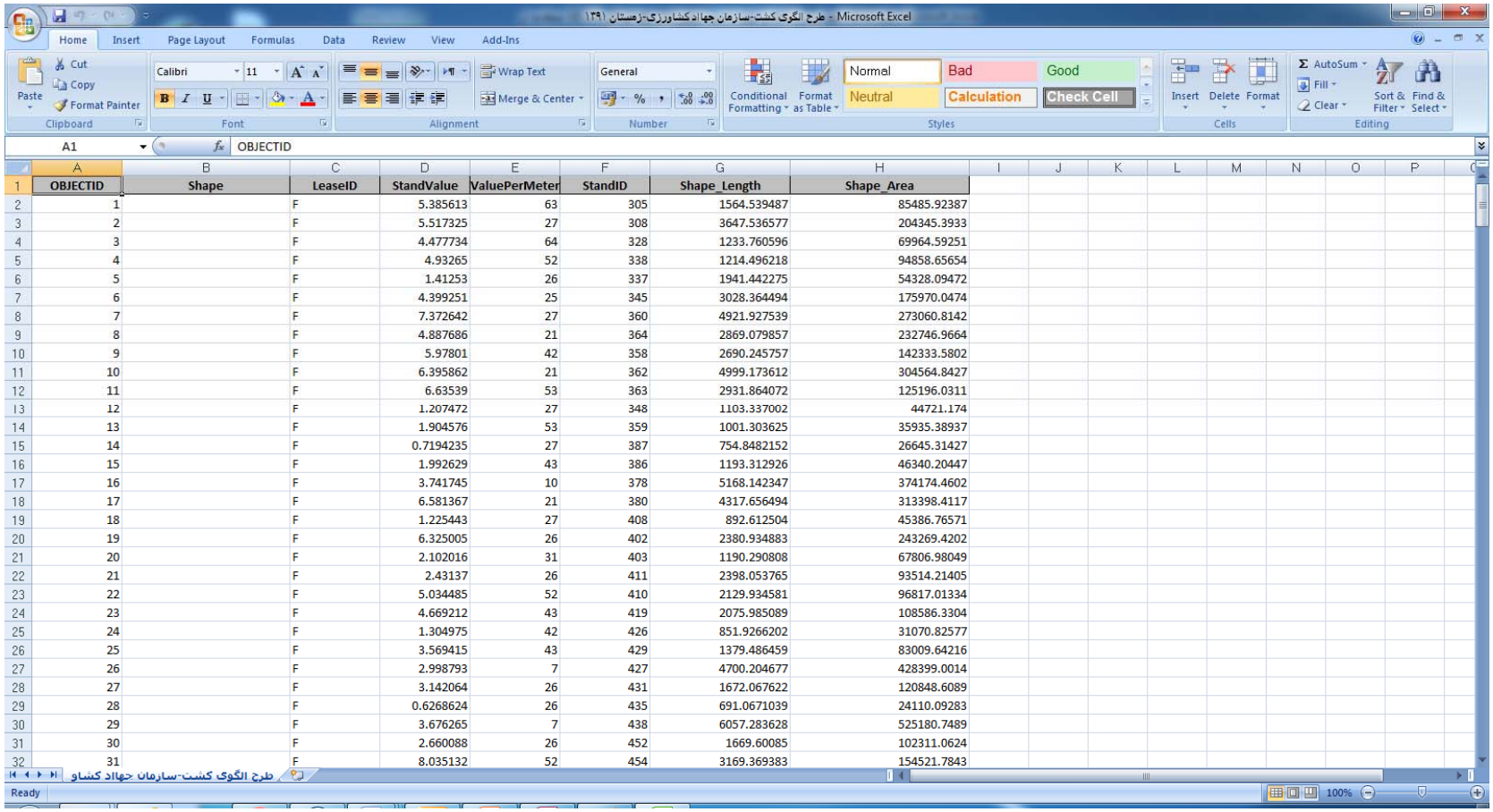
سطح دسترسی کم) و SQL Server (جهت تعداد کاربر متوسط و سطح دسترسی متوسط) و Oracle (جهت تعداد کاربر زیاد و سطح دسترسی زیاد) می توان استفاده نمود. در این مطالعه جهت اداره پایگاه داده از ArcCatalog و جهت ذخیره سازی داده ها از نرم افزار SQL Server استفاده می نماییم. ارتباط مکانی این اطلاعات با اطلاعات مکاندار که در GeoDataBase ذخیره شده است از طریق این نرم افزار ممکن می باشد.




Home
Create
External Data
Database Tools
Datasheet
Tables
GDB_FieldInfo
GDB_GeomColumns
GDB_InConnRules
GDB_ObjectClasses
GDB_RangeDomains
GDB_RelClasses
GDB_Release
GDB_RelRules
GDB_SpatialRefs
GDB_StringDomains
GDB_Subtypes
GDB_UserMetadata
GDB_ValidRules
LeaseF
LeaseF_Shape_Index
Leases
Leases_Shape_Index
NestsF
NestsF_Shape_Index
SelectedObjects
Selections
Stands
Stands_Shape_Index
StandsF_Shape_Index
StreamsF
StreamsF_Shape_Index
Test
طرح الگوی کشت-سازمان جهاد کشاورزی-زرمستان ۱۳...
طرح الگوی کشت-سازمان جهاد کشاورزی-زرمستان ۱۳۹۱
OBJECTID | Shape | LeaseID | StandValue | ValuePerMe | StandID | Shape_Length | Shape_Area
1 | Long binary data | F | 5.385613 | 63 | 305 | 1564.53948696531 | 85485.9238712761
2 | Long binary data | F | 5.517325 | 27 | 308 | 3647.53657664941 | 204345.393260619
3 | Long binary data | F | 4.477734 | 64 | 328 | 1233.76059617973 | 69964.5925063103
4 | Long binary data | F | 4.93265 | 52 | 338 | 1214.496218358 | 94858.6565447106
5 | Long binary data | F | 1.41253 | 26 | 337 | 1941.44227486707 | 54328.0947171733
6 | Long binary data | F | 4.399251 | 25 | 345 | 3028.36449388422 | 175970.047431708
7 | Long binary data | F | 7.372642 | 27 | 360 | 4921.92753941812 | 273060.814164517
8 | Long binary data | F | 4.887686 | 21 | 364 | 2869.07985659939 | 232746.966401533
9 | Long binary data | F | 5.97801 | 42 | 358 | 2690.24575671423 | 142333.58017716
10 | Long binary data | F | 6.395862 | 21 | 362 | 4999.17361193367 | 304564.842703226
11 | Long binary data | F | 6.63539 | 53 | 363 | 2931.86407191118 | 125196.031073391
12 | Long binary data | F | 1.207472 | 27 | 348 | 1103.3370020496 | 44721.1740033249
13 | Long binary data | F | 1.904576 | 53 | 359 | 1001.30362524314 | 35935.3893709303
14 | Long binary data | F | 0.7194235 | 27 | 387 | 754.848215227853 | 26645.3142656132
15 | Long binary data | F | 1.992629 | 43 | 386 | 1193.31292555731 | 46340.2044703119
16 | Long binary data | F | 3.741745 | 10 | 378 | 5168.14234655806 | 374174.460153015
17 | Long binary data | F | 6.581367 | 21 | 380 | 4317.65649423377 | 313398.411711725
18 | Long binary data | F | 1.225443 | 27 | 408 | 892.61250402393 | 45386.7657084798
19 | Long binary data | F | 6.325005 | 26 | 402 | 2380.93488276863 | 243269.420173109
20 | Long binary data | F | 2.102016 | 31 | 403 | 1190.2908079354 | 67806.9804862495
21 | Long binary data | F | 2.43137 | 26 | 411 | 2398.05376547232 | 93514.2140540974
22 | Long binary data | F | 5.034485 | 52 | 410 | 2129.93458061263 | 96817.0133403232
23 | Long binary data | F | 4.669212 | 43 | 419 | 2075.98508888399 | 108586.330418326
24 | Long binary data | F | 1.304975 | 42 | 426 | 851.926620193355 | 31070.8257698505
25 | Long binary data | F | 3.569415 | 43 | 429 | 1379.4864592564 | 83009.642162639
26 | Long binary data | F | 2.998793 | 7 | 427 | 4700.20467689915 | 428399.001365991
27 | Long binary data | F | 3.142064 | 26 | 431 | 1672.0676218206 | 120848.608873045
28 | Long binary data | F | 0.6268624 | 26 | 435 | 691.067103899976 | 24110.0928288446
29 | Long binary data | F | 3.676265 | 7 | 438 | 6057.28362802969 | 525180.748890217
30 | Long binary data | F | 2.660088 | 26 | 452 | 1669.60085015432 | 102311.062446624
Record: 1 of 397
No Filter
Search
Datasheet View
Num Lock

۳ـ۲۰ـ۹ـ۱ـ گزارش ها، نمودارها و جداول

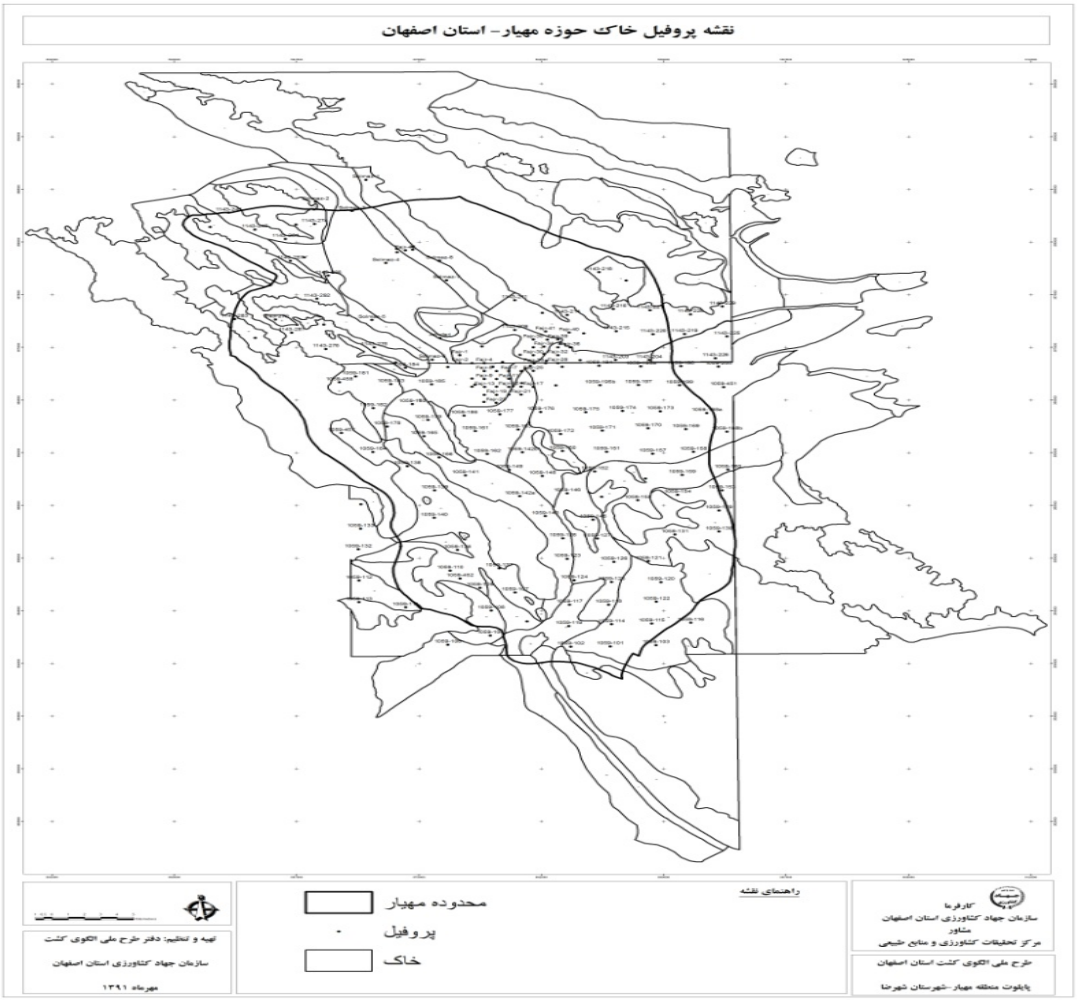
اطلاعات ذخیره شده در بانک های اطلاعاتی به راحتی به فرم جدول و نمودار قابل تبدبل و نمایش می باشد. برای مثال بالا اطلاعات به فرم Excel نمایش داده می شود. همچنین امکان تولید نموداز از پارامترهای مختلف وجود دارد.

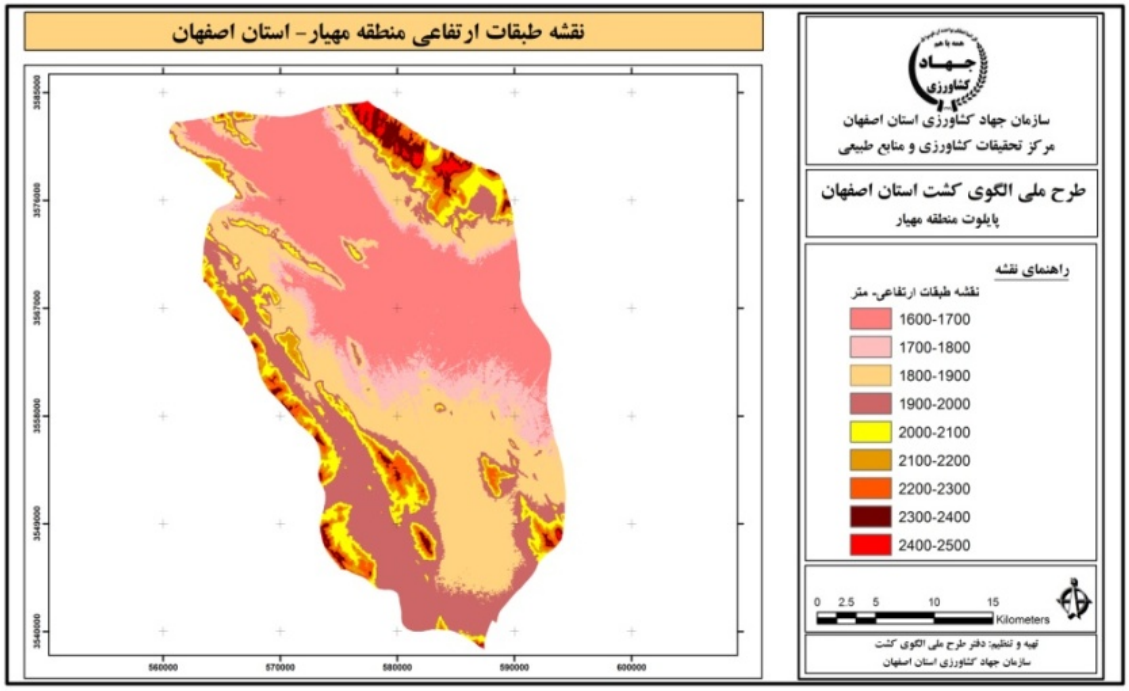


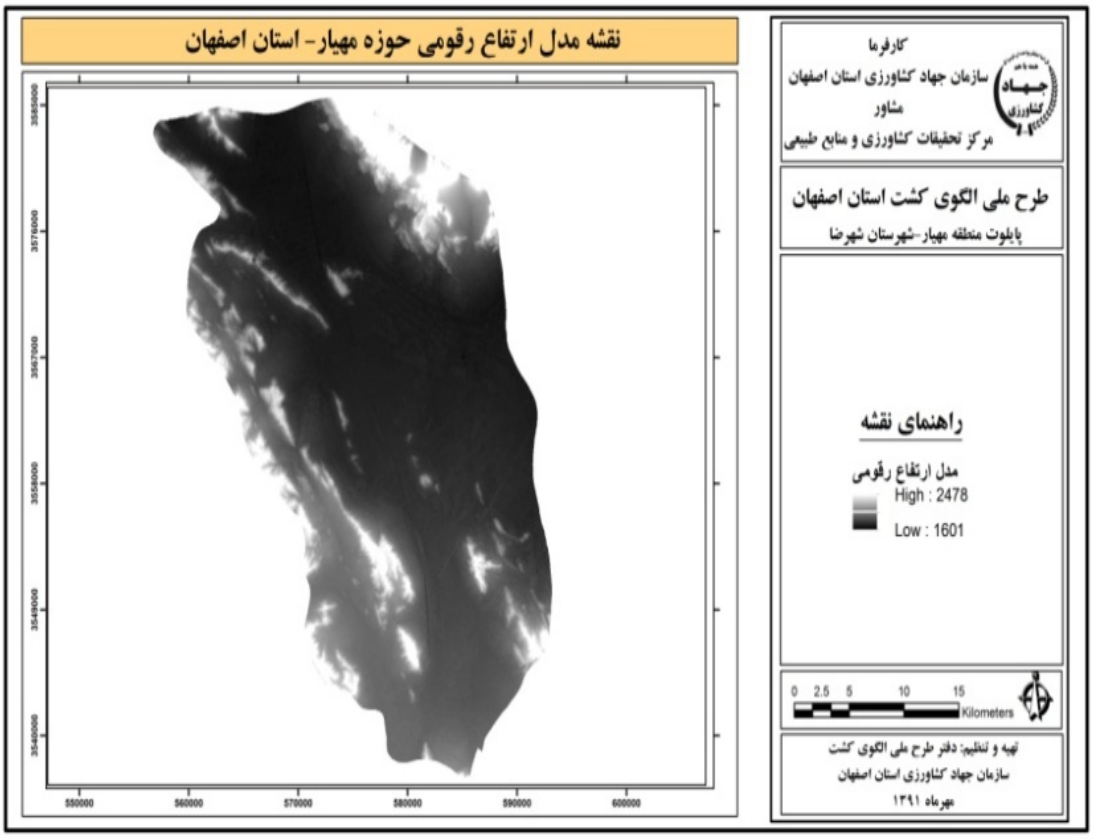
OBJECTID	Shape	LeaseID	StandValue	ValuePerMeter	StandID	Shape_Length	Shape_Area
1		F	5.385613	63	305	1564.539487	85485.92387
2		F	5.517325	27	308	3647.536577	204345.3933
3		F	4.477734	64	328	1233.760596	69964.59251
4		F	4.93265	52	338	1214.496218	94858.65654
5		F	1.41253	26	337	1941.442275	54328.09472
6		F	4.399251	25	345	3028.364494	175970.0474
7		F	7.372642	27	360	4921.927539	273060.8142
8		F	4.887686	21	364	2869.079857	232746.9664
9		F	5.97801	42	358	2690.245757	142333.5802
10		F	6.395862	21	362	4999.173612	304564.8427
11		F	6.63539	53	363	2931.864072	125196.0311
12		F	1.207472	27	348	1103.337002	44721.174
13		F	1.904576	53	359	1001.303625	35935.38937
14		F	0.7194235	27	387	754.8482152	26645.31427
15		F	1.992629	43	386	1193.312926	46340.20447
16		F	3.741745	10	378	5168.142347	374174.4602
17		F	6.581367	21	380	4317.656494	313398.4117
18		F	1.225443	27	408	892.612504	45386.76571
19		F	6.325005	26	402	2380.934883	243269.4202
20		F	2.102016	31	403	1190.290808	67806.98049
21		F	2.43137	26	411	2398.053765	93514.21405
22		F	5.034485	52	410	2129.934581	96817.01334
23		F	4.669212	43	419	2075.985089	108586.3304
24		F	1.304975	42	426	851.9266202	31070.82577
25		F	3.569415	43	429	1379.486459	83009.64216
26		F	2.998793	7	427	4700.204677	428399.0014
27		F	3.142064	26	431	1672.067622	120848.6089
28		F	0.6268624	26	435	691.0671039	24110.09283
29		F	3.676265	7	438	6057.283628	525180.7489
30		F	2.660088	26	452	1669.60085	102311.0624
31		F	8.035132	52	454	3169.369383	154521.7843

ـ نقشه ها

نقشه ها در نرم افزار ARCGIS تهیه می شود. نمونه ای از نقشه خاک منطقه استان اصفهان در سایز A0 آورده شده است.




نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مهیار- استان اصفهان
سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی
طرح ملی الگوی کشت استان اصفهان
پایلوت منطقه مهیار
راهنمای نقشه
نقشه طبقات ارتفاعی- متر
1600-1700
1700-1800
1800-1900
1900-2000
2000-2100
2100-2200
2200-2300
2300-2400
2400-2500
0 2.5 5 10 15
Kilometers
تهیه و تنظیم: دفتر طرح ملی الگوی کشت
سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان
560000
570000
580000
590000
600000


نقشه مدل ارتفاع رقومی حوزه مهیار- استان اصفهان
کارفرما
سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان
مشاور
مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی
طرح ملی الگوی کشت استان اصفهان
پایلوت منطقه مهیار-شهرستان شهرضا
راهنمای نقشه
مدل ارتفاع رقومی
High : 2478
Low : 1601
0 2.5 5 10 15
Kilometers
تهیه و تنظیم: دفتر طرح ملی الگوی کشت
سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان
مهرماه ۱۳۹۱
550000
560000
570000
580000
590000
600000

در این مطالعه جهت رسیدن به اهداف سایت آلودگی خاک و در صورت موجود بودن اطلاعات مربوط نقشه های زیر قابل تهیه می باشدکه کمیت های مورد نظر از اطلاعات پایگاه داده استخراج می شود.

۱) نقشه پراکندگی آلاینده‌های معدنی خاک
۲) نقشه پراکندگی عناصر سنگین خاک
۳) نقشه پراکندگی قابلیت زیست فراهمی فلزات سنگین
۴) نقشه جذب فلزات سنگین در خاک
۵) نقشه پراکندگی آرسنیک
۶) نقشه پراکندگی سرب
۷) نقشه پراکندگی کادمیم
۸) نقشه پراکندگی نیکل
۹) نقشه پراکندگی جیوه
۱۰) نقشه پراکندگی روی
۱۱) نقشه پراکندگی کروم
۱۲) نقشه پراکندگی کبالت
۱۳) نقشه آلاینده‌های آلی خاک
۱۴) نقشه پراکندگی آلاینده‌های آلی پایدار
۱۵) نقشه شناسایی و طبقه‌بندی منابع مختلف آلودگی
۱۶) نقشه پراکندگی منابع آلودگی کشاورزی
۱۷) نقشه پراکندگی منابع آلودگی صنعتی
۱۸) نقشه پراکندگی منابع آلودگیهای شهری
۱۹) نقشه پراکندگی منابع آلودگی نفتی
۲۰) نقشه تغییر در عرصه‌های جنگلی
۲۱) نقشه تغییر در مراتع
۲۲) نقشه فرسایش خاک
۲۳) نقشه پستی و بلندی
۲۴) نقشه آب و هوایی کلی ایران
۲۵) نقشه طبقه‌بندی اقلیمی ایران
۲۶) نقشه پوشش گیاهی خاک‌های ایران
۲۷) نقشه طبقه‌بندی خاک‌ها
۲۸) نقشه رژیم‌های رطوبتی خاک

۲۹) نقشه بخش کنترل رطوبتی

۳۰) نقشه کلاس‌های رژیم رطوبتی خاک

۳۱) نقشه کلاس‌های رژیم حرارتی خاک

۳۲) نقشه پراکنش وانواع خاک‌های ایران به نگرش زیست‌محیطی

۳۳) نقشه انواع خاک‌های موجود در ایران

۳۴) نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران

۳۵) نقشه مناطق سرد با تابستان کوتاه و اقلیم نسبتاً گرم و مرطوب و پتانسیل خوب برای جنگل

۳۶) نقشه مناطق سرد با تابستان‌های کوتاه و کاربری جنگل و مرتع که بایستی حفاظت شوند

۳۷) نقشه مناطق سرد با تابستان کوتاه خشک و نسبتاً گرم، کاربری جنگل و مرتع

۳۸) نقشه مناطق سرد با تابستان کوتاه و اقلیم نسبتاً گرم و پتانسیل نسبتاً خوب جنگل

۳۹) نقشه خاک‌های واقع در اراضی شیب‌دار

۴۰) نقشه اراضی یا کوهستان‌های با شیب تا درصد

۴۱) نقشه اراضی یا تپههای با شیب متوسط تا درصد

۴۲) نقشه خاک‌های واقع در اراضی مسطح با شیب کمتر از درصد

۴۳) نقشه مناطق مسطح واقع در دره ها

۴۴) نقشه فلات‌ها و جلگه‌ها

۴۵) نقشه پایه‌های شیب (مناطق مسطح با شیب خیلی کم)

۴۶) نقشه دشت‌ها

۴۷) نقشه اراضی پفکی نقشه خاک‌های واقع در لندفرم‌های مرکب

۴۸) نقشه دره ها و دشت‌های میان کوه

۴۹) نقشه اراضی متفرقه

۵۰) نقشه شن‌های ساحلی

۵۱) نقشه هزار دره‌ها یا بدلندها

۵۲) نقشه کلوت‌ها

۵۳) نقشه تپه‌های روان و تلماسه‌ها (بادنهشت‌ها)

۵۴) نقشه اراضی سنگلاخی یا ماسه‌سنگی

۵۵) نقشه پلایا

۵۶) نقشه گنبدهای نمکی

۵۷) نقشه کفه‌های نمکی

۵۸) نقشه باتلاق‌ها، لاگون‌ها و دریاچه‌ها
۵۹) نقشه تدوین شاخص‌های کمی و کیفی منابع خاک
۶۰) نقشه شاخص‌های کیفیت خاک
۶۱) نقشه شاخص‌های شیمیایی
۶۲) نقشه شاخص‌های فیزیکی
۶۳) نقشه شاخص‌های زیستی
۶۴) نقشه وجود pH
۶۵) نقشه سدیمی بودن خاک
۶۶) نقشه شوری خاک
۶۷) نقشه فقیر بودن خاک از لحاظ ویژگیهای فیزیکی
۶۸) نقشه خاک‌های با حاصل‌خیزی کم
۶۹) نقشه نوع کاربری
۷۰) نقشه بافت خاک (درصد رس)
۷۱) نقشه آلودگی آرسنیک در خاک‌های سطحی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۷۲) نقشه استاندارد غلظت آرسنیک در خاک
۷۳) نقشه استاندارد غلظت سرب در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۷۴) نقشه غلظت کادمیم در سنگ‌ها یا درصد در مواردی که نشان داده شده است
۷۵) نقشه غلظت کادمیم در فسفریت و کودهای فسفاته
۷۶) نقشه مقادیر کادمیم در لجن‌های فاضلاب
۷۷) نقشه استاندارد غلظت کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک
۷۸) نقشه مقدار نیکل در کودهای شیمیایی و دامی و سنگ آهک‌ها (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۷۹) نقشه غلظت نیکل در زغال‌سنگ و خاکستر بادی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۸۰) نقشه غلظت نیکل در لایهٔ سطحی برخی خاک‌های آلوده (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸۱) نقشه استاندارد غلظت نیکل در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸۲) نقشه آلودگی جیوه در خاک‌های سطحی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸۳) نقشه گونه‌های محلول روی در تعادل با SoilZn
۸۴) نقشه آلودگی روی در خاک‌های سطحی (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸۵) نقشه استاندارد غلظت روی در خاک
۸۶) نقشه استاندارد غلظت کروم در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۸۷) نقشه افزایش غلظت کبالت و آلودگی آن در خاک‌های سطحی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

۸۸) نقشه مقدار کبالت در دانه‌های غلات کشورهای مختلف

۸۹) نقشه استاندارد غلظت کبالت در خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)

۹۰) نقشه پارامترهای خاص آلایندگی برای استانداردهای رهنمودی خاک در دی‌آلدرین

۹۱) نقشه پارامترهای خاص PCP برای استخراج مقادیر رهنمودی خاک

۹۲) نقشه مقادیر رهنمودی خاک برای دی‌اکسین و PCB شبه دی اکسین (µg TEQ/kg)

۹۳) نقشه غلظت تعدادی از عناصر سنگین در سنگ‌های فسفاته مهم‌ترین کشورهای دارای معادن فسفات

۹۴) نقشه برخی مراکز صنعتی که مواد شیمیایی آلی را در محیط زیست رها می‌کنند

۹۵) نقشه پراکنش شهرک‌های صنعتی در استان‌های کشور

۹۶) نقشه مناطق بارندگی ایران

۹۷) نقشه پنج گروه اقلیمی کوپن

۹۸) نقشه استان‌های اقلیمی ایران

۹۹) نقشه تقسیم‌بندی خاک‌های ایران

۱۰۰) نقشه مساحت خاک‌های کشور در سطح رده و زیر گروه

۱۰۱) نقشه کلاس‌بندی و اهمیت اراضی بر اساس حساسیت در برابر آلاینده‌ها

۱۰۲) نقشه کلاس‌های عمق خاک‌ها

۱۰۳) نقشه کلاس‌های نفوذپذیری خاک‌ها

۱۰۴) نقشه کلاس‌های زهکشی خاک‌ها

۱۰۵) نقشه کلاس‌های سطح آب زیر زمینی اراضی

۱۰۶) نقشه کلاس‌های فرسایش خاک‌ها

۱۰۷) نقشه کلاس‌های شوری خاک‌ها

۱۰۸) نقشه ضرایب انتقال آلاینده از خاک به گیاه برای فلور، کبالت، مولیبدن و سلنیوم

...

فصل

چهارم

ضوابط اجرایی دستورالعمل رفع

آلودگی خاک

۴ـ۱ـ مقدمه

خاک به عنوان یکی از اجزاء مهم محیط زیست، دریافت‌کننده پسمانده‌های صنعتی و فرآورده‌های کشاورزی است. این مواد به محض ورود به خاک، جزئی از چرخه‌ای می‌گردند که این چرخه صور گوناگون حیات را تحت تاثیر خویش قرار می‌دهد. لذا اطلاع از ماهیت آلاینده‌ها، رفتار شیمیایی آنها در خاک و امکانات قابل استفاده برای مدیریت پاک سازی یا رفع آنها امری الزامی است

رفع آلودگی خاک به معنی کنترل و کاهش مواد آلاینده در خاک به میزانی که هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی در خاک خاصیت اصلی آن را تغییر ندهد، اطلاق می‌گردد.

هدف

ـ حذف و یا کاهش اثرات زیست محیطی مواد آلاینده خاک.

ـ استفاده از سیستم خاک-گیاه برای جذب، کاهش تحرک، و تجزیه آلاینده در خاک است.

دامنه کاربرد

- این دستورالعمل برای خاک در مناطق کشاورزی، صنعتی و معدنی، محل دفن زباله های شهری و صنعتی، لندفیل ها، مراتع و جنگل ها قابل استفاده است.
- خاکی باید پاک سازی و رفع آلودگی شود که غلظت کل مواد آلاینده در آن بیش از غلظت پاک سازی (استاندارد پاک سازی سازمان حفاظت محیط زیست ایران) باشد. استاندارد های پاک سازی برای ۲۰ عنصر معدنی و ۷۰ ماده شیمیایی آلی از طرف سازمان حفاظت محیط زیست کشور برای خاک های اسیدی (pH کمتر از ۷) و خاک های غیر اسیدی (pH بیشتر از ۷) ارایه شده است. بنابراین قبل از انجام پاک سازی باید pH خاک و غلظت آلایندهای مورد نظر طبق روش های زیر تعیین شود:
- برای تعیین pH باید از روش گل اشباع استفاده شود (Klute, 1986).
- غلظت آلاینده ها بر اساس غلظت کل آلاینده بر حسب mg/kg در خاک خشک شده در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد برای حداقل ۲۴ ساعت است.
- مبنای عمق خاک ۰-۱۵۰ سانتی متر است.
- غلظت کل هریک از مواد معدنی(فلزات آلاینده با روش (Klute, 1986)) تعیین شود.
- غلظت مواد آلی با روش (USEPA, 1996) تعیین شود.

ـ شناسایی و ارزیابی منطقه و ارزیابی خطر برای آلاینده ـ مسیر ـ گیرنده

ـ یکپارچه سازی اطلاعات ویژگی های آلاینده و ویژگی های خاک سایت

ـ خاک منطقه برای مطابق با قوانین زیست محیطی از مواد آلاینده پاک سازی شود.

۴ـ۲ـ اصطلاحات و تعاریف

آلودگی خاک

به معنی وجود مواد آلاینده در خاک به میزانی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر انسان و سایر موجودات زنده شده و یا هرگونه تغییر در ترکیب شیمیایی و فیزیکی در خاک به طوری که خاصیت اصلی آن را تغییر دهد، اطلاق می‌گردد. آلودگی خاک موجب می‌شود حیات انسان و گیاه و حتی ماندگاری تاسیسات و ابنیه تحت الشعاع قرار گیرد.

آلاینده

وجود یک ماده در جایی غیر از محیط طبیعی خود و یا غلظتی بیش از غلظت طبیعی به نحوی که باعث ایجاد اثرات نامطلوب بر روی موجودات زنده و یا کاهش کیفیت محیط شو. در مسئله آلودگی خاک آلاینده‌هایی با خواص زیر مد نظر می‌باشند:دارای خواص سمی بوده (مثل برخی فلزات سنگین، PCBs، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه‌ای) دارای اثرات نامطلوب بر خواص خاک باشند (مثل نمک های سدیم، میزان بالایی از هیدروکربن های دارای سمیت پایین و سولفور)دارای پتانسیل تحرک در خاک و آسیب به کیفیت آب های زیرزمینی باشند (مثل منوکلروآمین ها، آمین ها و برخی نمک ها)

محیط پذیرنده

شامل خاک های کشاورزی، مراتع و جنگل‌ها و کاربری‌های پارک و تفریحی، مسکونی و تجاری که آلاینده ها چه به صورت مایع یا جامد وارد آنها می شود.

مواد زاید سمی و خطرناک

هر نوع ماده زاید آلوده‌کننده یا ترکیبی از مواد و یا ضایعاتی که دارای قدرت صدمه و آسیب زیاد به سلامت انسان یا سایر موجودات زنده یا گیاهان بوده یا بر اثر تماس و تکرار دارای عوارض سوء در آنها باشد و قابلیت آلوده ساختن خاک را دارد.

کاربری های در نظر گرفته شده خاک در تدوین آیین‌نامه اجرایی رفع آلودگی خاک عبارتند از مسکونی، صنعتی، کشاورزی، پارک/تفریحی، جنگل و مرتع و تجاری.

ـ کاربری

- ✓ **مسکونی** : شامل شرایط مسکونی است که اغلب مردم را در برگیرد.
- ✓ **کشاورزی**: شامل کلیه زمین‌های کشاورزی و باغات می‌شود.
- ✓ **جنگل و مرتع** : شامل کلیه اراضی مرتعی و جنگلی و کاربردهای مشابه می‌باشد.
- ✓ **پارک/تفریحی**: کاربرد خاک برای پوشش دادن فعالیت‌های ورزشی و تفریحی می باشد.
- ✓ **تجاری**: شامل انواع مختلف فعالیت‌های صنعتی، تولیدی، عمرانی، خدماتی و زیربنایی می‌باشد.

استاندارد آلودگی خاک

غلظتی از آلاینده‌های خاک است که در صورتی که مقدار آن آلاینده بیش از حد استاندارد باشد ممکن است باعث ایجاد اثرات سوء بر سلامتی انسان و یا سایر موجودات گردد و در صورتی که غلظت واقعی این آلاینده‌ها کمتر و یا معادل مقدار استاندارد پیشنهادی باشد، این مقدار قابل قبول است.

استاندارد پاک سازی خاک

در صورتی که غلظت آلاینده در خاک بیش از حد استاندارد پاک سازی باشد، که در کوتاه مدت باعث ایجاد خطرات غیر قابل قبول برای سلامت انسان، محیط زیست و سایر موجودات زنده گردد، انجام عملیات پاک سازی جهت کاهش آلودگی خاک به پایین تر از حد استاندارد آلودگی خاک الزامی می باشد.

ارزیابی خطر

فرایندی است که احتمال وجود خطر در یک زمینه را مورد بررسی قرار می‌دهد. ارزیابی خطر زیست محیطی مشخص می‌کند که برای تعیین احتمال خطرات زیست محیطی که باعث ایجاد آسیب به فرد یا اکوسیستم شود، چه اطلاعاتی باید بررسی شوند. در این گزارش، خطر زیست محیطی شامل آلوده شدن خاک می‌باشد. فرایند ارزیابی خطر یک فرایند چند مرحله ای است که شامل [۴] :

مدل مفهومی

مجموعه مشخصات در معرض قرارگیری انسان، سرنوشت آلاینده‌ها و اطلاعات مربوط به انتقال آلاینده در خاک.

مقایسه مقدار در معرض قرارگیری انسان (مقدار آلودگی موجود) با مقادیر مرجع استاندارد سلامتی.

ارزیابی خطر برای سلامتی انسان در جایی که میزان دریافت آلودگی، معادل و یا بیش از مقادیر مرجع استاندارد سلامتی است.

۴ـ۳ـ تعیین ویژگی های خاک سایت آلوده

ویژگی های خاک منطقه آلوده باید برای به حداقل رسانیدن اثر بر سلامت انسان و محیط زیست به دقت مطالعه شود.

ویژگی های منطقه آلوده:

شیب و جهت شیب غالب، جهت اصلی جریان روان آب در محل، عمق سفره آب زیر زمینی، تغییرات فصلی آب زیر زمینی، فاصله محل از مناطق مسکونی، منابع آب سطحی، پارک های و محل های عمومی.

۴ـ۳ـ۱ـ نمونه برداری و آنالیز خاک:

محل مورد نظر بسته به گستره آن باید به واحدهای کوچکتر تقسیم شود و نمونه های خاک از عمق های ۰-۱۵، ۱۵ -۳۰، ۳۰-۵۰ و ۵۰-۱۰۰سانتیمتری برداشت شود. از هر عمق حدود یک کیلو گرم خاک -

برای آنالیزهای بعدی مورد نیاز است.

- اندازه گیری غلظت کل عناصر جدول ۴ـ۱ و غلظت کل مواد آلی جدول۴ـ۲ در نمونه های خاک. همچنین بافت خاک و pH باید در نمونه های اندازه گیری شود.

- به منظور اقدامات رفع آلودگی خاک، خوداظهاری، پس از نمونه برداری و آنالیز، وضعیت آلودگی خاک سایت طبق استانداردهای آلودگی خاک سازمان حفاظت محیط زیست ایران (کمتر از استاندارد آلایندگی خاک، بین استاندارد آلایندگی خاک و استاندارد پاک سازی و بیش از استاندارد پاک سازی) تعیین می گردد.

- در صورتی که میزان آلاینده ها کمتر از استاندارد آلایندگی خاک باشد منطقه بدون خطر بوده و حداکثر بار مجاز آلودگی منابع آلاینده قابل تخلیه به منابع خاک با استفاده از راهنمای استاندارد آلودگی خاک تعریف می شود.

- در صورتی که سطح آلودگی بیش از استاندارد آلایندگی خاک باشد از راهنمای استاندارد آلودگی خاک، با استفاده از راهنمای شاخص های کمی و کیفی خاک و بر اساس استاندارد پاک سازی آلودگی خاک، با توجه به شکل های ۴ـ۱، ۴ـ۲، ۴ـ۳ ارزیابی خطر شده و مدیریت منطقه آلوده از طریق اقدامات قانونی (قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست، برنامه پنجم توسعه و .....) انجام خواهد شد.

۴ـ۳ـ۲ـ تعیین ویژگی های مواد آلاینده

- ✓ اندازه گیری غلظت مواد معدنی در جدول۴ـ۳ و مواد آلی در جدول۴ـ۴ که برای آنها حد مجاز به خاک تعیین شده است.
- ✓ برای آلاینده های مایع حداقل یک لیتر نمونه دریک ظرف پلاستیکی برداشت می شود. نمونه در ظرف باید حتما سر خالی باشد چون معمولا از آلاینده ها گاز ساطع می گردد. نمونه باید همان روز آنالیز شوند و در غیر این صورت در فریزر قرار داده شود تا پیشگیری از فعالیت های میکروارگانیسم ها به عمل آید.
- ✓ برای آلاینده های جامد باید یک نمونه به وزن دو کیلو گرم به صورت مخلوط برداشت شود. این نمونه نماینده کل است.
- ✓ نمونه های مایع و جامد باید جهت اندازه گیری غلظت کل عناصر و غلظت کل ترکیبات آلی غلظت کل نیتروژن، غلظت کل فسفر، درصد کل مواد آلی، هدایت الکتریکی، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی پس از آماده سازی اندازه گیری شود.

جدول ۴ـ۱ حد اکثر غلظت مجاز آلاینده های معدنی در سایت آلوده (mg/kg) برای کاربری‌های مختلف خاک

آلاینده	کشاورزی	جنگلی	مکان‌های عمومی تماس	مکان‌های احیای خاک
آرسنیک	۳۷	۵۰	۳۷	۵۰
کادمیم	۳۴	۴۹	۳۴	۴۹
کروم	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۳۰۰۰
مس	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰
سرب	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
جیوه	۱۶	۲۰	۱۶	۲۰
مولیبدن	۱۹	۱۹	۳۷۵	۱۹
نیکل	۴۲۰	۴۲۰	۴۲۰	۱۰۰۰
سلنیوم	۷۸	۱۱۳	۷۸	۱۱۳
روی	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰

جدول ۴ـ۲:. حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های آلی در سایت (mg/kg) برای کاربری‌های مختلف خاک

آلاینده	کشاورزی	جنگل	مکان‌های عمومی تماس	مکان‌های احیای خاک
آلدرین/دی‌الدرین	۲	۲	۷	۲
بنزو (a) پیرین	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵
کلرودن	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۳/۵	۱۳/۵
DDT	۹/۷	۹/۷	۹/۷	۹/۷
هپتاکلرو	۶	۷	۲۳	۷
هگزاکلروبنزن	۲۰	۲۰	۶۵	۲۰
هگزاکلروبیوتادین	۴۱۰	۴۱۰	۱۳۴۶	۴۱۰
لیندان	۷۹	۱۵۲	۷۹	۱۵۲
ان-نیتروسودی‌میتل‌امین	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶
PCBs	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷
توکسافن	۱۱	۱۱	۹۵	۱۱
تری‌کلرواتیلن	۹۵۴۹	۹۵۴۹	۹۵۴۹	۹۵۴۹
TPH	۶۲۰	۶۲۰	۶۲۰	۶۲۰

جدول ۴ـ۳: محدودیت های مکانی سایت های کشاورزی

محدودیت	شرح		
حداکثر شیب	زمین با شیب بیش از ۱۰ درصد (۶ درجه)		
مناطقی با ویژگی‌های زه‌کشی نامطلوب	خاک اشباع از آب		
	خاک‌های با نفوذپذیری کم		
	خاک‌های با نفوذپذیری زیاد		
عمق سنگ بستر	زمین که عمق سنگ بستر کمتر از ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد		
بیرون‌زدگی سنگ سطح	زمین با بیش از ۱۰ درصد بیرون‌زدگی سنگی		
پوشش گیاهی	جنگل بومی و پوشش بومی مشخص		
مناطق حائل	زمین درون مناطق حائل پیروی می‌کند.		
مناطق حفاظت شده	حداقل عرض مناطق حائل (m)		
	مسطح (۳٪> یا ۲°>)	پایین شیب(۳٪< یا ۲°<)	بالای شیب
آب سطحی	۵۰	۱۰۰	۵
مزرعه	۲۰	۳۰	۵
منافذ آب شرب	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
منافذ دیگر	۵۰	۵۰	۵۰
فاصله از مزرعه کشاورزی	۵	۵	۵
جنگل بومی و انواع گونه‌های مشخص دیگر	۱۰	۱۰	۱۰
محوطه‌های حیوانات	۲۵	۵۰	۲۵
مسکونی اشغال شده	۵۰	۱۰۰	۵۰
منطقه مسکونی	۲۵۰	۵۰۰	۲۵۰

جدول ۴ـ۴: محدویت مکانی زمین‌های غیرکشاورزی

محدویت	شرح		
حداکثر شیب	زمین با شیب بیش از ۱۸ درصد (۶ درجه)		
مناطقی با ویژگی‌های زه‌کشی نامطلوب	خاک اشباع از آب		
	خاک‌های با نفوذپذیری کم		
	خاک‌های با نفوذپذیری زیاد		
عمق سنگ بستر	زمین که عمق سنگ بستر کمتر از ۶۰ سانتی‌متر		
بیرون‌زدگی سنگ سطح	زمین با بیش از ۱۰ درصد بیرون‌زدگی سنگی		
پوشش گیاهی	جنگل بومی و پوشش بومی مشخص		
مناطق حائل	زمین درون مناطق حائل پیروی می‌کند.		
مناطق حفاظت شده	حداقل عرض مناطق حائل (m)		
	مسطح (۳٪> یا $^{\circ}$۲>)	پایین شیب(۳٪< یا $^{\circ}$۲<)	بالای شیب
آب سطحی	۵۰	۱۰۰	۵
منافذ آب شرب	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
منافذ دیگر	۵۰	۵۰	۵۰
فاصله از مزرعه کشاورزی	۵	۵	۵
پوشش بومی	۵۰	۱۰۰	۵
زمین استفاده شده برای محصولات غذایی	۲۵	۵۰	۲۵
مسکونی اشغال شده	۵۰	۱۰۰	۵۰
منطقه مسکونی	۲۵۰	۵۰۰	۲۵۰

۴ـ۴ـ عملیات میدانی و اندازه گیری پارامترهای آزمایشگاهی

برای عملیاتی کردن اقدامات لازم رفع آلودگی خاک در سایت آلوده از شکل های ۴ـ۱، و ۴ـ۲ استفاده می شود. شکل ۴ـ۱ مشخصات عمومی سایت آلوده را تعیین می کند. شکل ۴ـ۲ موقعیت جغرافیایی سایت آلودگی خاک را مشخص می کند.

فرم مشخصات عمومی سایت آلوده

آدرس

.....

.....

موقعیت ماده آلودگی خاک در سایت : زیر سطحی ...☐و سطحی.....☐

حجم خاک (مترمکعب) .....

مساحت (هکتار)یا(متر مربع) .....

حالت ماده آلاینده خاک:

مایع:.....☐جامد☐.خمیری شکل ..☐..سایر.....

سایت دارای سابقه آلودگی دارد؟ آری ☐خیر ☐

آیا منطقه مورد نظر از لحاظ ملاحظات زیست محیطی برای انسان و محیط زیست رعایت شده است؟

آری ☐لطفا با توجه به جداول ۱ تا ۴ ذکر شود.

.....

.....

خیر ☐لطفا با توجه به جداول ۱ تا ۴ ذکر شود.

.....

.....

شکل ۴ـ۱ـ فرم تعیین مشخصات عمومی سایت آلوده

نقشه موقعیت سایت آلوده

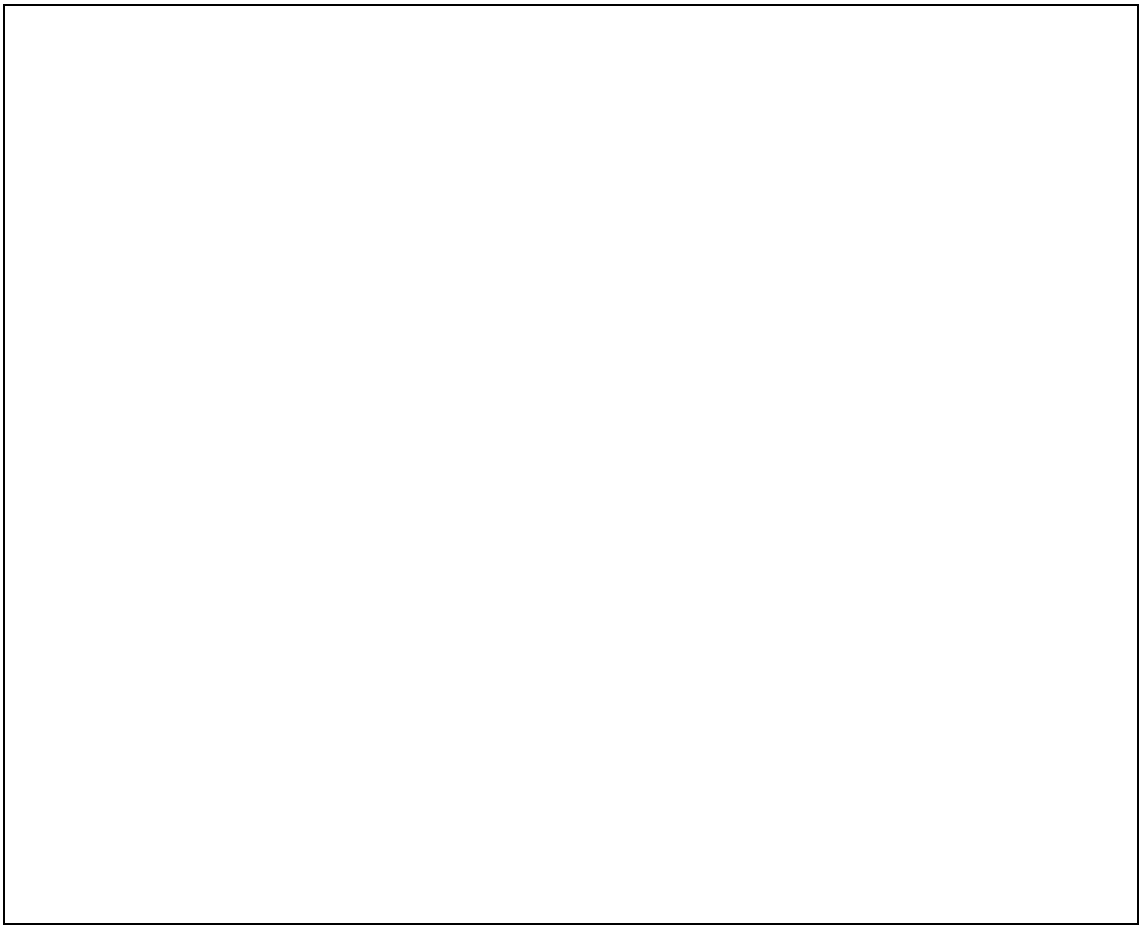
نام منطقه :.....

مختصات جغرافیایی (به متر).....

.....

آدرس منطقه از روی نقشه های موجود

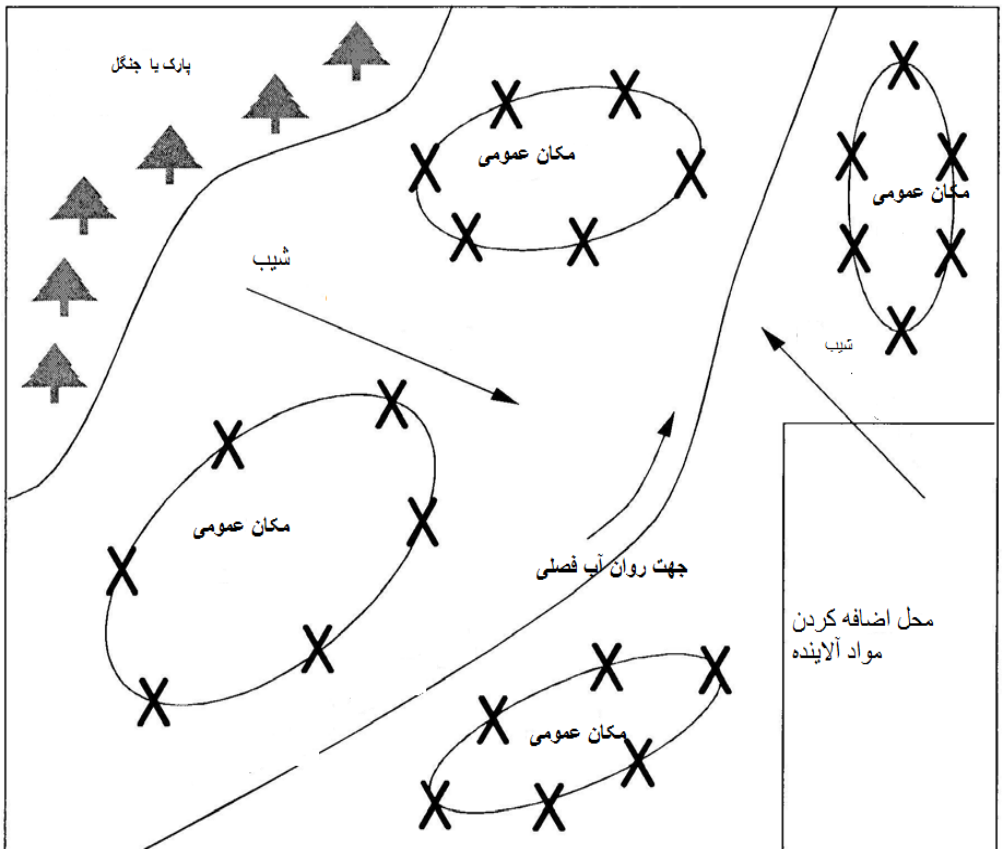
موقعیت در صورت دردسترس نبودن نقشه به صورت شماتیک و تخمینی رسم شود:



شکل ۴ـ۲ـ موقعیت فاصله ای سایت آلوده از کاربری های حساس

کاربری	فاصله (متر)	جهت
مدرسه (آموزشی)		
مسکونی		
پارک(تفریحی)		
مزرعه کشاورزی		
منابع آب سطحی		
چاه آب		

نقشه نمونه برداری در موقعیت سایت آلوده



X موقعیت فاصله ای برخی از کاربری های حساس از سایت آلوده

کاربری	فاصله (متر)	جهت
مدرسه	۱۰۰۰۰	شمالی
مسکونی	۱۰۰۰	شمالی
پارک	۱۵۵۰	شرقی
مزرعه کشاورزی	۲۹۰	جنوبی
منابع آب سطحی	-	-
چاه آب(شرب، غیر شرب)	۴۵۰	شمال غربی

جدول۴ـ۵ـ غلظت مواد معدنی و مواد آلی در سایت آلوده

آلاینده(آلی)	غلظت(mg/kg)
آلدرین/ دی‌الدرین	
بنزو (a) پیرین	
کلرودن	
DDT	
هپتاکلرو	
هگزاکلروبنزن	
هگزاکلروبیوتادین	
لیندان	
ان ـ نیتروسودی‌میتل‌امین	
PCBs	
توکسافن	
تری‌کلرواتیلن	
TPH	

آلاینده(معدنی)	غلظت(mg/kg)
آرسنیک	
کادمیم	
کروم	
مس	
سرب	
جیوه	
مولیبدن	
نیکل	
سلنیوم	
روی	

جدول ۴ـ۶: ویژگی های خاک سایت. آلوده

پارامتر	واحد	مقدار
pH	-	
بافت	با استفده از مثلث خاک	
غلظت نیتروژن کل	درصد	
غلظت فسفر کل	درصد	
ماده آلی (OM)	درصد	
هدایت الکتریکی (EC)	دسی زیمنس	
ظرفیت تبادل کاتیون (CEC)	میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک	

۴ـ۵ـ مدیریت خاک آلوده

آلودگی خاک برای انسان و محیط زیست مضر است و نیاز به کنترل دارد. برنامه توسعه به اطلاعاتی درباره وسعت و اهمیت آلودگی نیاز دارد به طوری که هزینه های برخورد با آن به دنبال استفاده ایمن را می توان با دقت ارزیابی کرد. ضوابط اجرایی بایستی به تواند منافع عمومی، از جمله آسیب رساندن به سلامت انسان، محیط زیست و فعالیت های اقتصادی گسترده تر را محافظت کند.

مرحله اول شناسایی سایت خاک آلوده

فاز اول شناسایی، سایت آلوده

هدف از این مرحله توسعه یک مدل مفهومی برای سایت آلوده است، که ارتباطات مهم منبع ـ مسیر ـ گیرنده را در سایت توصیف کند و باعث یک ارزیابی مقدماتی از اهمیت آنها شود. مرحله شناسایی فاز اول در شکل ۴ـ۳ نشان داده شده است.

فاز دوم شناسایی، ارزیابی خطر

هدف این فاز، تست مدل مفهومی توسعه یافته در فاز اولیه ارزیابی است. برای این منظور،کمی کردن منابع ویژه و احتمال انتقال آلودگی ها به گیرندگان، و طبقه بندی ارتباطات آلاینده ها در مراحل خطر حال حاضر برای گیرندگان انجام می شود. شکل ۴ـ۴ فلوچارت فاز دوم شناسایی (ارزیابی ریسک) را نشان می دهد

مرحله دوم ارزیابی خطر

نقطه شروع برای ارزیابی ریسک اطلاعات قابل قبول در مورد ارتباط منبع ـ مسیر ـ گیرنده برای سایت است که در حال ارزیابی است. در این مرحله ، مدل مفهومی برای سایت باید تکمیل شود. هدف مرحله دوم" ارزیابی ریسک" این هست که در سایت یک خطر واقعی یا بالقوه از خاک های آلوده شناسایی شده است، و این شناسایی به برآورد و تاثیر آن به عنوان مبنایی برای مدیریت ریسک ارزیابی می باشد. شکل ۴ـ۵ فلو چارت جریان برای ارزیابی خطر مرحله دوم را نشان می دهد.

برآورد خطر

برآورد خطر دارای مزایای زیادی است مهمترین مزایای برآورد عبارت است از ۱ـ دامنه خطر ۲ـ جمع آوری اطلاعات جدید ۳ـ نتایج فرآیند برآورد.

درجه نخست از فرآیند برآورد خطر در معیارهای ارزیابی خطر "عمومی" متکی به سطوح راهنمای آلودگی است که می تواند مورد استفاده قرار گیرد. عواملی که در ارتباط با آلاینده هستند امکان آسیب قابل توجهی به انواع خاصی از گیرنده ها را دارند.

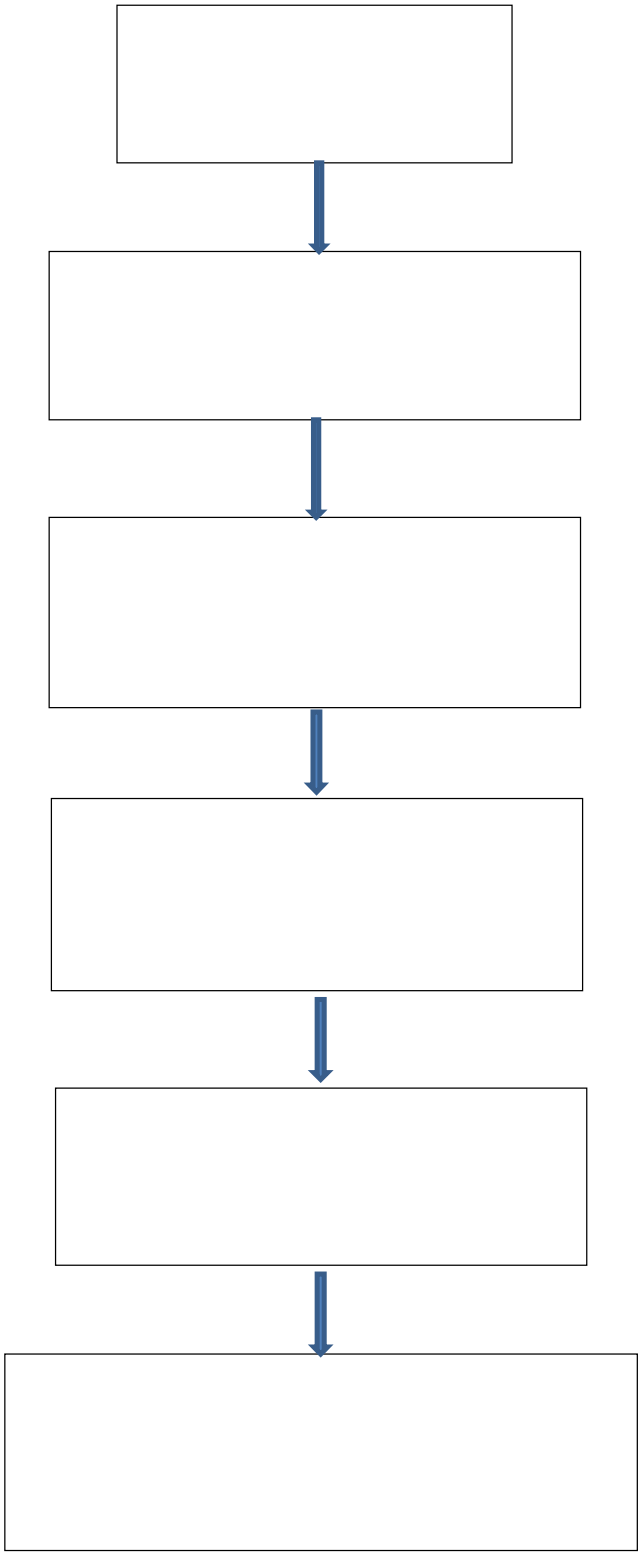
برآورد خطر درجه دوم ممکن است برای سایت خاص باشد که اطلاعات اضافی نیاز دارد، بر اساس تحقیق دقیق سایت است که توصیف آن به طور کامل در حد و ماهیت آلودگی و مسیر آن به گیرنده،

اطلاعات اضافی به دست می آید. دامنه این درجه برای اطلاع رسانی برآورد خطر با شرح مفصل تر از گیرنده ها ممکن است محدود شود.

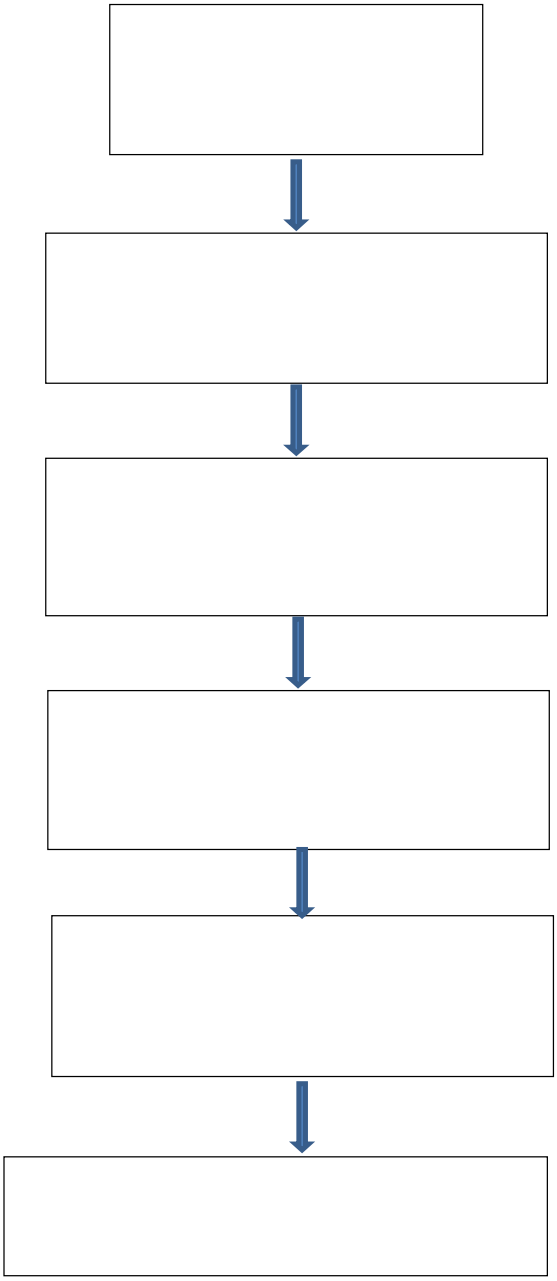
مرحله اول ارزیابی ریسک باید درک پایه ای ازانواع آلاینده حاضر در سایت و حجم آن را فراهم آورد. برای حمایت از برآورد خطر درجه دوم، معمولا اطلاعات بیشتری مورد نیاز است

چالش مدیریت زمین های آلوده به دلیل آن است که با عدم اطمینان روبرو است. ماهیت و میزان آلودگی اغلب برای توصیف به اندازه کافی مشکل است. سم شناسی یا دیگر تاثیر سوء آلودگی در انسان و محیط زیست در بسیاری از موارد قابل پیش بینی است و به ندرت می توان به طور مستقیم اندازه گیری کرد.

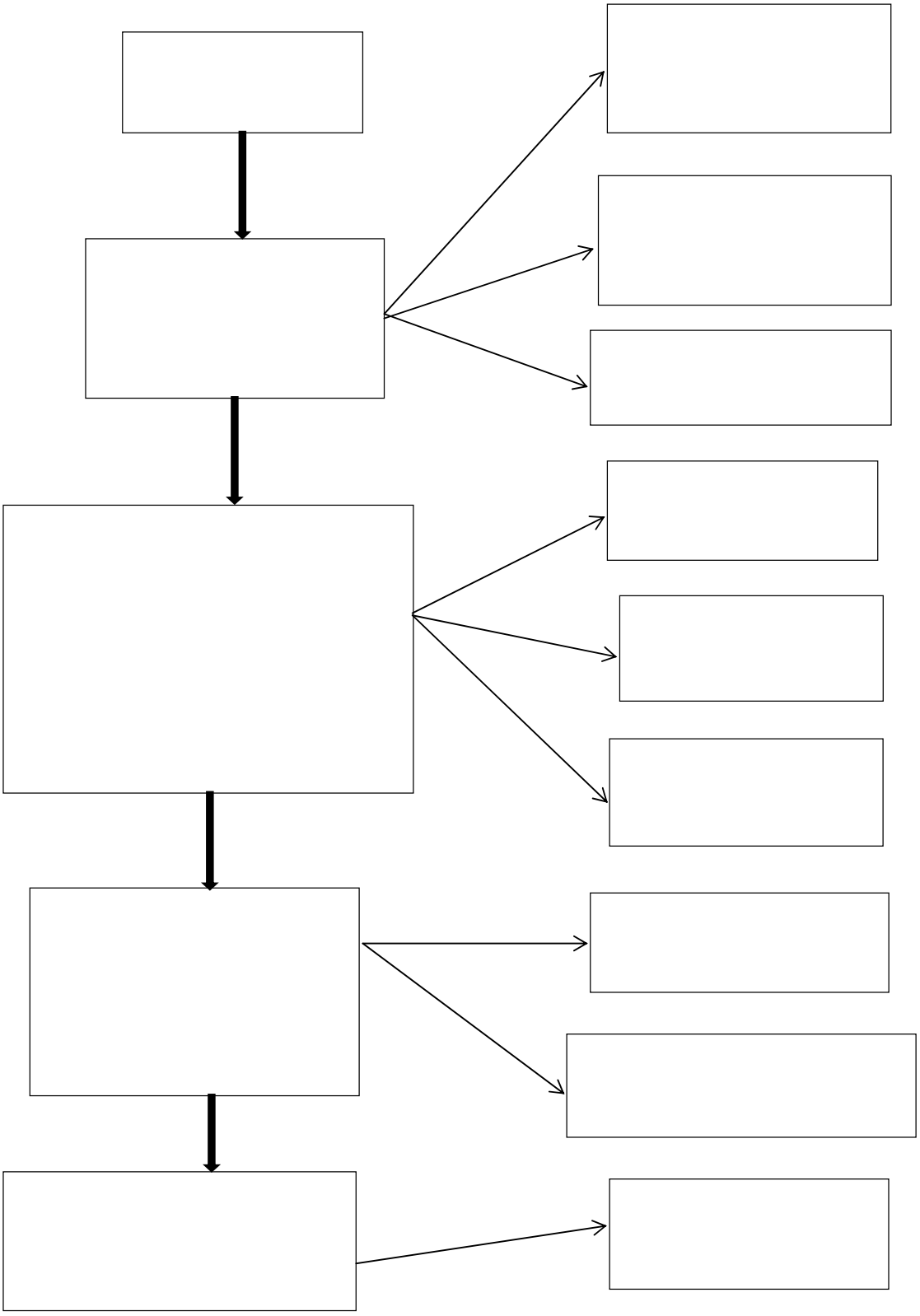
حرکت آلاینده ها از منبع به گیرنده را می توان از طریق یک ماتریس سایت ناهمگن و شناخت مدل پیچیده آن ارزیابی نمود. با این حال، اعتماد به نفس و استفاده موثر از اطلاعات و منابع موجود می تواند با رویکرد مرحله به مرحله و تضمین بهینه سازی شده، در هر فاز پی در پی، که اطلاعات و اقدامات با کیفیت شناخته شده است را بدست آورد وپس از مستند سازی به طور کامل به همه ذینفعان ابلاغ نمود.



شکل ۴ـ۳: فلوچارت فاز اول شناسایی ارزیابی خطر



شکل۴ـ۴: فاز دوم شناسایی(ارزیابی ریسک) در مرحله شناسایی



شکل۴ـ۵:فلوچارت برای مرحله دوم ارزیابی خطر

۴ـ۶ـ روش های پاک سازی و رفع آلودگی خاک

خاک یک سیستم زنده و پایداری است که در آن بخش‌های زنده و غیرزنده با یکدیگر در کنش متقابل هستند. خاک، خاکزیان و گیاهان از دیدگاه بوم شناختی به همدیگر وابسته هستند. زندگی بسیاری از جانداران وابسته به انرژی نهفته در کربن آلی است در این راستا گیاهان و دیگر جانداران غذاساز با دگرگون ساختن انرژی نورانی به انرژی شیمیایی، کربن آلی را می‌سازند. آنها با اکسیداسیون کربن آلی بخشی از این انرژی را برای واکنش‌های بیوشیمیایی خود بکار می‌برند. بنابراین در مسأله بررسی برهم‌کنش‌های جانداران و زیستگاه شان، گیاهان جایگاه ویژه‌ای دارند.

انتخاب و استفاده از فناوری های جدید برای پاک سازی آلودگی خاک به سرعت افزایش یافته است، و فناوری های جدید پیوسته پدیدار می شوند. هدف از تحقیقات رفع آلودگی یا مطالعات امکان پذیری (remedial investigation/feasibility studies (RI/FS)) و پروژه های پاک سازی آلودگی خاک، شامل بدست آوردن اطلاعات کافی بر روی یک سایت، با دقت و انتخاب بهترین روش های اجرایی رفع آلودگی است. گردآوری این اطلاعات می تواند مستلزم زمان، تلاش و بودجه های قابل ملاحظه ای می باشد. در تعدادی موارد، جمع آوری اطلاعات با تمرکز بر درمان های ویژه ای که تحت شرایط مشابه اثبات شده اند، امکان دارد. در ادامه روش های مرسوم پاک سازی و رفع آلودگی خاک پیشنهاد می شود:

تصفیه زیستی در محل (In Situ Biological Treatment)

الف- منفذ زیستی (Bioventing)

ب- تصفیه زیستی در محل (In Situ Biological Treatment)

ج-گیاه پالایی (Phytoremediation)

تصفیه فیزیکی شیمیایی درمحل

الف - اکسیداسیون شیمیایی (Chemical Oxidation)

ب - شکستن (fracturing)

ج- شستشوی خاک (soil flushing)

دـ - استخراج بخار خاک (soil vapor extraction)

ز - استحکام/تثبیت (Solidification/Stabilization)

تصفیه حرارتی درمحل

الف-تصفیه حرارتی(Thermal Treatmen)

تصفیه بیولوژیکی خارج از محل (Ex Situ Biological Treatments)

الف - توده زیستی (Biopiles)

ب - کمپوست کردن(Composting)

ج - لندفارمینگ (Landfarming)

د ـ تصفیه بیولوژیکی فاز آبی(Slurry Phase Biological Treatments)

تصفیه فیزیکی و شیمیایی خارج از محل

الف- استخراج شیمیایی(Chemical Extraction)

ج - هالوژن زدایی(Dehalogenation)

د- جداسازی(Separation)

هـ- شستشوی خاک(Soil Washing)

و- استحکام/تثبیت (Solidification/Stabilization)

تصفیه حرارتی خارج از محل (Ex Situ Thermal Treatment)

الف - آلودگی زدایی با گاز داغ (Hot Gas Decontamination)

ب - خاکستر کردن (Incineration)

ج - سوزاندن باز/ انفجار باز (Open Burn/Open Detonation)

هـ- دفع حرارتی(Thermal Desorption)

جدول ۱۰ و ۱۱ هزینه های مورد نیاز پاک سازی یک متر مکعب خاک با روش های مختلف را نشان می دهد.

۴ـ۶ـ۱ـ انتخاب روش پاک سازی و رفع آلودگی

ممکن است برای پاک سازی آلودگی منتشر شده در محیط زیست بتوان از روش های متعددی با کارایی متفاوت استفاده نمود. به دلیل تفاوت این روش ها از نظر زمان اجرای طرح و ملزومات مورد نیاز، هزینه های مربوط به پاک سازی با استفاده از هر یک از روش ها با یکدیگر متفاوت بوده و در نتیجه انتخاب روش پاک سازی بر میزان جرائم تأثیرگذار است. اغلب روش های پاک سازی نیازی به تکنولوژی خاصی ندارند و در ایران قابل اجرا می باشند. ولی روش های پاک سازی که احتمالا شرط بهتری برای قابلت اجرا در ایران را دارند شامل موارد زیر می شوند:

- خاک برداری و دفن
-لندفیلینگ
-زیست‌پالایی (گیاه پالایی)
-شستشوی خاک
-تبادل یونی
-تصفیه حرارتی (در محل یا خارج از محل)

بی شک در انتخاب روش پاک سازی بنگاه ها روشی را انتخاب خواهند نمود که هزینه های کمتری داشته باشد و در مقابل دولت در انتخاب این روش ها روشی را برمی گزینند که سریع تر و مطمئن تر به هدف از بین بردن آلودگی و یا تقلیل آن به مقدار استاندارد برسد. از آنجا که روش های استاندارد و قطعی برای پاک سازی به صورت مدون ارائه نشده و قابل استناد نمی باشد، این عامل از جمله عواملی است که باید بر اساس توافق داوطلبانه بین دولت و صنایع آلاینده محیط زیست انتخاب شود و یا دستورالعمل و یا آیین نامه مدونی در این زمینه طرح گردد.

بهترین روش از بین روش های پاک سازی (رفع آلودگی) خاک به روش های گیاه پالایی می توان اشاره نمود. پتانسیل استفاده گیاه پالایی برای خاک های آلوده کشور وجود دارد. گیاه پالایی مفید می تواند طیف گسترده ای ازشرایط سایت آلوده را در برگیرد . برخی از سایت ها که در آنها گیاه پالایی استفاده شده است عبارت است از: خطوط لوله؛ محل های دفن زباله شهری و صنعتی؛ زمین های کشاورزی؛ درمان سایت های درختزاری. پایگاه های نظامی؛ مزارع مخزن ذخیره سازی سوخت؛ ایستگاه های گاز؛ محل استقرار مهمات ارتش؛ محل استقرار تصفیه خانه فاضلاب؛ و سایت های معدن. نتایج نشان می دهد که گیاهان پتانسیل زیادی برای رفع انواعی از آلاینده ها به شرح زیر را دارند:

هیدروکربن های نفتی

بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، و زایلن (BTEX)

هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه (PAH)

پلی کلرید بی فنیل (PCB)

تری کلرو اتان (TCE) و دیگر حلال های کلری

ضایعات مهمات و مواد منفجره

فلزات سنگین

زباله آفت کش

پرتوزا ضایعات غذایی (نظیر فسفات ها و نیترات ها)

جدول ۴ـ۷ـ مکانیزم‌های گیاه‌پالایی به همراه موادی که قابل تصفیه به وسیله این مکانیزم‌ها

نوع مکانیزم	تصفیه مواد شیمیایی
تجمع گیاهی- استخراج گیاهی	فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو،BTEX (بنزن، اتیل بنزن، تولوئن و زایلن)، پنتاکلروفنل، ترکیبات شاخه‌دار زنجیرکوتاه و دیگرترکیبات آلی.
تجزیه گیاهی-تبدیل گیاهی	مواد شیمیایی جنگ‌افزاری (DNT، HMX، نیتروبنزن،نیترواتن، نیترومتان، نیتروتولوئن، اسیدپیکریک، RDX و TNT)، آتریزین، حلال‌های کلرینه (کلروفرم، تتراکلرایدکربن، هگزاکلرواتان، دی‌کلرواتن، تری‌کلرواتن، تتراکلرواتن، ونیل‌کلراید، دی‌کلرواتانل، تری‌کلرواتانل، مونوکلرواستیک‌اسید، دی‌کلرواستیک‌اسید، تری‌کلرواستیک‌اسید، تری‌کلرومتان و تتراکلرومتان)، DDT، دی‌کلرواتان، متیل‌بروماید، تترابرومواتن، دیگر کلرین‌ها، آفت‌کش‌های فسفره، بی‌فنل‌های پلی‌کلرینه، دیگر فنل‌ها و نیتریل‌ها.
تثبیت گیاهی	به استثنای حلال‌های کلرینه و فنل‌ها (تری‌کلرومتان و تتراکلرومتان)، بر روی استخرهای دفن معدن در مورد فلزات سنگین آزمایش شده است.
تحریک گیاهی	هیدروکربن‌های پلی‌سیکلیک آروماتیک (چند حلقه‌ای بودار)، BTEX، دیگر هیدروکربن‌های نفتی، آتریزین، PCB (بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه)، تری‌کلرواتان و تتراکلرواتان و دیگر ترکیبات آلی.
فراریت حاصل از واکنش‌های گیاهی(گیاه فراری)	حلال‌های کلرینه شده، جیوه و سلنیم
فیلتراسیون محیط ریشه	فلزات سنگین، مواد شیمیایی آلی و رادیواکتیوها

جدول ۴ـ۸ـ گونه‌های گیاهی مورد استفاده در گیاه‌پالایی ترکیبات آلی

گونه‌های گیاهی	آلودگی
جو	هگزا کلرو بنزن، PCB s، پنتا کلرو بنزن، تری‌کلرو بنزن
گراس‌های برگ گوشتی	اسیدهای بنزوئیک کلرینه
هزار برگ آبزی پر طاووسی	تترا کلرو اتان (PCE)، تری کلرواتان (TCE)، TNT
صنوبر پیوندی	آتریزین، نیتروبنزن، TCE، TNT
گراس‌های دشتی	اسیددوکلروبنزوئیک

جدول۴ـ۹ : انواع گیاهان، واسط ها(خاک، آب زیرزمینی و رسوب) و آلاینده ها

نوع آلاینده	واسط(پذیرنده)	نوع گیاه													
		Alfalfa	Alyssum	Bald cypress	Black locust	Cottonwood	Grasses	Hybrid poplars	Indian mustard	Pennycress	Red Mulberry	Stonewort	Sunflower	Water hyacinth	Willow
آلی	خاک			▲ PD RD			▲ RD	▲ PD RD			▲ RD	▲ PD			▲ PD RD
	رسوب			▲ PD RD			▲ RD	▲ PD RD			▲ RD	▲ PD			▲ PD RD
	آب زیر زمینی			▲ PD		▲ HC		▲ HC PD				▲ PD			▲ HC PD
غیر آلی	خاک	▲ PV	▲ PE		▲ PV		▲ PS	▲ PE PS PV	▲ PE PS PV	▲ PE			▲ PE		
	رسوب	▲ PV	▲ PE		▲ PV		▲ PS	▲ PE PS PV	▲ PE PS PV	▲ PE			▲ PE		
	آب زیرزمینی					▲ HC		▲ HC	▲ RF				▲ RF	▲ RF	▲ HC

▲ گیاه موثر برای نوع آلاینده

HC Hydraulic control
PD Phytodegradation
PE Phytoextraction
PS Phytostabilization
PV Phytovolatilization
RD Rhizodegradation
RF Rhizofiltration

Phytodegradation، تخریب گیاهی

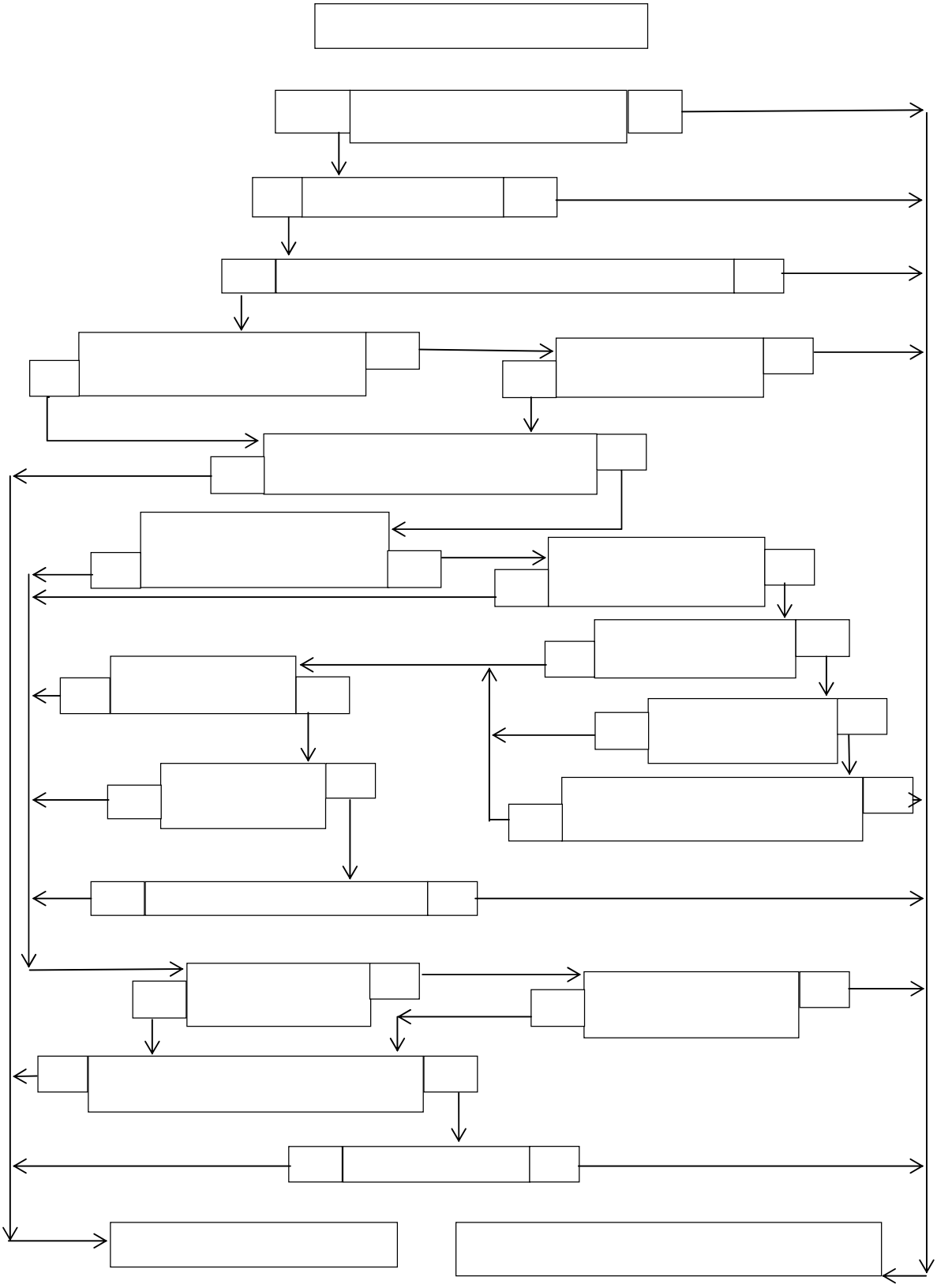
Phtoextraction، استخراج گیاهی

Phytostabilizition ، تثبیت گیاهی

Phytovolatilization ، تصعید گیاهی

Rhizodegradation ،تجزیه در منطقه ریشه گیاه

Rhizofiltration، فیلتراسیون در منطقه ریشه گیاه



در صورت انجام پاک سازی و رفع آلودگی خاک زیر سطحی خصوصیات آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در زیر خصوصیات مهم سایت ویژه برای تشریح و ارزیابی رفتار زیست محیطی و سرنوشت آلاینده ها در خاک فهرست شده است.

کلاس شیمیایی

اسیدی

بازی

قطبی خنثی

غیرقطبی خنثی

ویژگی شیمایی

وزن مولکولی

ساختار

نقطه ذوب

جرم مخصوص

حلالیت آبی

واکنش شیمیایی

اکسیداسیون

احیاء

هیدرولیز

رسوب

پارامترهای جذب خاک

ثابت جذب فرندیش(K_f,a)

جذب براساس مقدارکربن آلی(K_{oc})

ضریب سهم اکتانول ـ آب(K_{ow})

پارامترهای تجزیه خاک

نیمه عمر($t_{1/2}$)

نرخ ثابت

نسبت قابلیت تجزیه زیستی

پارامترهای فراریت خاک

ضریب سهم آب ـ هوا

فشار بخار

ثابت قانون هنری

جذب براساس مقدار کربن آلی

حلایت آبی

پارامترهای آلودگی خاک

غلظت در خاک

عمق خاک

تاریخ آلودگی

۴ـ۷ـ تشریح گیاه‌پالایی و روش‌های عملی آن با بالاترین بازده

استفاده درجا از گیاهان و میکروارگانیسم‌های وابسته به آن است که آلاینده‌ها را تجزیه می‌کنند و به صورت کم ضررتر تحویل طبیعت می‌دهند. دراین رابطه گیاه‌پالایی ابتکار انسان است که بستگی به همزیستی گیاه و میکروارگانیسم‌ها در محیط زیست دارد و آلودگی مکان‌های آلوده شده را تضعیف می‌کند و همانند فناوری‌های مهندسی یا خاک برداری نیست, بلکه فرآیندی بین علوم طبیعی و مهندسی است. دخالت فناوری‌های مهندسی در استقرار گیاه-میکروارگانیسم در فناوری‌های کشاورزی بسیار لازم است. بنابراین گیاه‌پالایی به طور مؤثر برای حذف آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک و آب‌های زیرزمینی به کار می‌رود.

به طور کلی در زیست پالایی میکروارگانیسم‌های مؤثر بر تجزیه زیستی آلاینده های آلی و شیمیایی شناسایی شده و شرایط بهینه لازم جهت تسریع تجزیه این آلاینده‌ها توسط آنها شناسایی و تقویت می‌شوند. این روش بر خلاف سایر روش‌ها که اثر موقت دارند، اثری پایا و دائم دارد. این روش‌ها در واقع همان فرآیندهای شیمیایی کاتالیز شده با آنزیم می‌باشند که در این راستای ترشحات موجود در محیط ریشه گیاه[۱]، می‌تواند در افزایش فرآیند تجزیه زیستی آلاینده‌ها و از همه مهمتر کاهش زمان تجزیه تأثیر بسزایی داشته باشد. در واقع گیاه به طور غیرمستقیم و از طرق مختلف مثل ترشحات ریشه، بقایای گیاهی و ... علاوه بر تأمین منبع کربن و انرژی جمعیت میکروبی، موجبات افزوده شدن بر منابع عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف مثل N,P,S را فراهم نموده و سبب تشدید و تحریک فعالیت‌های میکروبی تجزیه کننده آلاینده‌های آلی بویژه هیدروکربن‌های نفتی می‌شود[۲]. اما اغلب تولید زیست توده کافی در خاک برای انتقال و جابجایی ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای[۳] و کل هیدروکربن‌های نفتی[۴] به جایی که بتواند توسط میکروب‌ها تجزیه یا تخریب شود, مشکل است. با این وجود موفقیت‌های محدودی با این فناوری به دست آمده است. لذا برای پالایش[۵] مؤثرتر نیاز است که سرعت پالایش و تخریب ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای را با فرآیندهای

۱Rhizosphere
۲Phytostimulation
۳- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)
۴- Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs)
۵- Remediation

میکروبی و مکانیکی تسریع نمود. از راه‌های مؤثر و آسان افزایش زیست‌توده در خاک‌های آلوده، استفاده از گیاهان همراه با مراقبت‌های ویژه می‌باشد که بسیار موفقیت آمیز بوده است. در کل, به نظر می‌رسد که گیاه‌پالایی[۱] یک فناوری موثر برای پالایش مکان‌های آلوده به ترکیبات آلی باشد.

گیاه‌پالایی عبارت از استفاده از گیاهان و فرآیندهای گیاهی برای حذف، تجزیه یا تولید مواد کم خطرتر در خاک، آب، رسوبات و هوا می‌باشد. این تکنولوژی ممکن است از لحاظ عدم دارا بودن برخی مشکلاتی که سایر روش‌های حذف آلاینده‌ها ایجاد می‌کنند و نیز از نظراقتصادی بسیار کارآ باشد. در این فناوری از گیاهان ویژه‌ای مانند درختان، درختچه‌ها و گونه‌های علفی برای پاک سازی (حذف، تجزیه یا تثبیت) مواد شیمیایی مضر و خطرناک در خاک استفاده می‌شود.

روش گیاه‌پالایی از قرن‌ها قبل مورد استفاده بوده ولیکن به صورت علمی و مدون از طریق شناسایی مقاومت گیاهان به فلزات سنگین در اواخر دهه ۱۹۸۰ بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. قدرت بالای برخی گیاهان در جذب مقادیر مختلف فلزات سنگین که برای سایر گیاهان سمی است، استفاده از این گونه‌های گیاهی برای استخراج فلزات سنگین از خاک را به شدت گسترش داده و در مراحل بعدی خاک پاکسازی شده می‌تواند گیاهان با مقاومت کم‌تر را در خود رشد دهد.

به غیر از گیاهان, میکروارگانیسم‌هایی که در ریزوسفر زندگی می‌کنند نیز نقش مهمی در تجزیه مواد شیمیایی آلی دارند، و غالبا از این مواد به عنوان یک منبع کربن استفاده می‌کنند. در بسیاری از موارد حتی حضور فیزیکی گیاه می تواند شرایط خاک را بهبود بخشد. گیاه با افزایش استحکام خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک و همچنین تغییر در هیدرولوژی خاک از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و جلوگیری از فرسایش، این کار را انجام می‌دهد. بنابراین شکی نیست که اجتماع گیاهان و میکروارگانیسم‌ها با یکدیگر می‌تواند منجر به تغییر در یک اکوسیستم شود.

گیاهان مختلف از قبیل جو و یولاف به فلزاتی از قبیل سلنیوم، مس، کادمیم و روی مقاوم‌اند و آن‌ها را جذب می‌کنند. درختان تبریزی مثل(Deltoides nigra) غلظت نیترات (ماده مغذی برای گیاه و آلاینده آب) را کاهش می‌دهند و علفکش‌های آترازین را در خاک‌های آلوده تجزیه می‌کنند. تلقیح ریشه‌های گراس‌های علوفه‌ای با باکتری‌های تخریب کننده باعث افزایش سرعت تجزیه بنزوئیک اسید کلرینه می‌شود. نکته قابل توجه این است که گیاهان مختلف در اجتماع با میکروارگانیسم‌ها می‌توانند تجزیه آلاینده‌های هیدروکربنی خاک‌های آلوده را افزایش دهند.

گزارشات متعددی گیاه‌پالایی را به عنوان ابزاری سودمند برای بهسازی آب و خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی گزارش کرده‌اند. این وضع با بازنگری در مورد گیاه‌پالایی همراه شده است.گراس‌ها، علف‌ها و درختان برگ‌ریز و درختان خانواده کاج انواع عمومی از گیاهان مطرح شده در گیاه‌پالایی هستند.

۶Phytoremediation

گیاهان متنوعی که پتانسیل تسهیل گیاه‌پالایی مکان‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی را دارند شناخته شده اند (جدول ۴ـ۱۰).

اکثر مطالعات گراس‌ها و لگوم‌ها را با پتانسیل خوب تشخیص داده‌اند. به نظر می‌رسد گراس‌های‌چمنی گیاهان مناسبی برای این منظور باشند زیرا سیستم ریشه‌ای فیبری وگسترده‌ای دارند. سیستم ریشه‌ای گراس‌ها بالاترین سطح ویژه (سطح ریشه در یک متر مکعب از خاک) را نسبت به انواع دیگر گیاهان داشته و در خاک تا عمق سه متری نفوذ می‌کنند. این گیاهان همچنین تنوع ژنتیکی بالایی دارند که این ویژگی در استقرار گیاه بسیار حائز اهمیت است. به نظر می‌رسد لگوم‌ها کارایی بالاتری نسبت به گیاهان غیر لگومینه داشته باشند، زیرا این گیاهان توانایی تثبیت نیتروژن را در خاک دارند. بنابراین رقابتی که در سایر گیاهان با ریزجانداران خاک برای جذب نیتروژن وجود دارد, در لگومینوزها کمتر دیده می‌شود.

جدول۴ـ۱۰- برخی از گیاهان مقاوم به هیدروکربن‌های نفتی

نام معمول گیاه	نام انگلیسی	نام علمی	نام معمول گیاه	نام انگلیسی	نام علمی
اگروپایرون غربی	western wheatgrass	*Agropyron smithii*	سوئیچ گراس	switchgrass	*Panicum virgatum*
-	side oats grama	*Bouteloua curtipendula*	درختان تبریزی	Poplar trees	*Populus deltoides x nigra*
بوفالوگراس معمولی	common buffalograss	*Buchloe dactyloides*	بلواستم کوچک	little bluestem	*Schizachyrium scoparius*
رودوگراس زنگوله‌ای	bell rhodesgrass	*Chloris gayana*	سورگوم یا سودان‌گراس	Sorghum or sudangrass	*Sorghum bicolor Sorghum vulgare* L.
هویج	carrot	*Daucus carota*	بلواستم بزرگ	big bluestem	*Andropogon gerardi*
تال‌فسکیو	tall fescue	*Festuca arundinacea* Schreb.	چاودار وحشی کانادا	Canada wild-rye	*Elymus canadensis*
سویا	soybean	*Glycine max*	چمن بوفالوگراس	prairie buffalograss	*Buchloe dactyloides* var. Prairie
ری‌گراس یک‌ساله	annual ryegrass	*Lolium multiflorum*	پنجه مرغی	Bermuda grass	*Cynodon dactylon* L.
لوبیا	bush bean	*Phaseolus vulgaris* L.	فسکیوی قرمز	red fescue	*Festuca rubra*
چاودار زمستانی	winter rye	*Secale cereale* L.	علف مرغابی	duckweed	*Lemna gibba*
گراس‌هندی	Indiangrass	*Sorghastrum nutans*	ری‌گراس دائمی	perennial ryegrass	*Lolium perenne* L.
چمن زای	zoysiagrass	*Zoysia japonica* var. Meyer	یونجه	alfalfa	*Medicago sativa* L.
اگروپایرون کاکل‌دار	crested wheatgrass	*Agropyron desertorum*	آفتابگردان	sunflower	*Helianthus annuus*
علف نی	reed grass	*Phragmites australis*	بلوگراس آلپ	alpine bluegrass	*Poa alpina*

۴-۷-۱. سازوکار گیاه‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی

سه سازوکار اولیه پالایش هیدروکربن‌های نفتی بوسیله گیاهان و میکروارگانیسم‌ها وجود دارد (شکل۲-۲). این مکانیزم‌ها شامل تجزیه[۱]، بازدارندگی[۲] و انتقال هیدروکربن‌ها از خاک به اتمسفر[۳] می‌باشد.

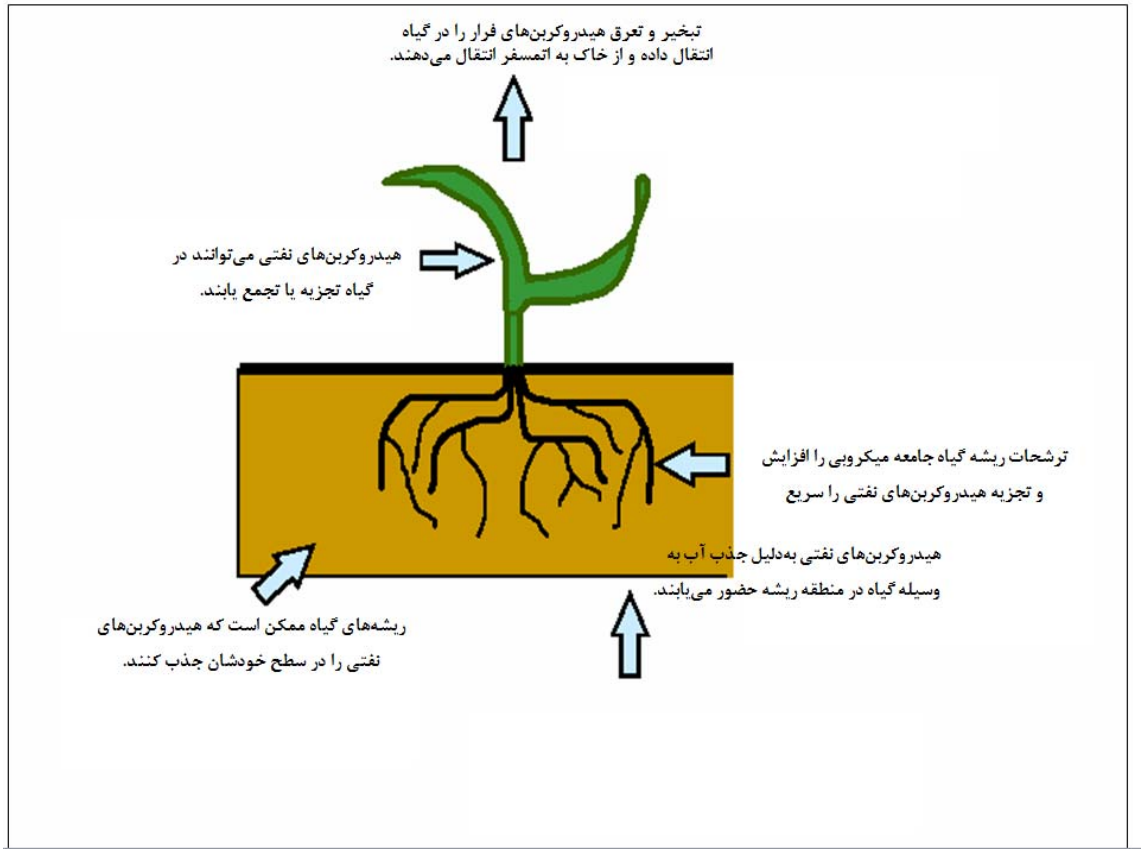
الف) تجزیه وتخریب[۴]

در این سازوکار گیاهان ومیکروارگانیسم‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم، هیدروکربن‌های نفتی را به محصولاتی مثل الکل‌ها، اسیدها، دی‌اکسیدکربن و آب تبدیل می‌کنند, این محصولات سمیت و ماندگاری کمتری نسبت به ترکیبات اولیه در محیط زیست دارند. گیاهان ومیکروارگانیسم‌ها می‌توانند هیدروکربن‌ها را به طور مستقل به ترکیبات دیگر تجزیه کنند, که به آن اثر متقابل گیاهان و میکروارگانیسم‌ها (اثر ریزوسفر) می‌گویند و این اولین سازوکاری است که مسئول تجزیه ترکیبات نفتی در گیاه‌پالایی می‌باشد.

اثر ریزوسفر[۵]

ریزوسفر محوطه‌ای اطراف ریشه گیاهان است, که تحت تأثیر مستقیم سیستم ریشه می‌باشد. گیاهان برای ساخت ترشحات ریشه‌ای از کربن، انرژی، مواد غذایی، آنزیم‌ها و اکسیژن موجود در محیط ریزوسفر استفاده می‌کنند. ترشحات ریشه حاوی الکل‌ها، قند و اسیدها را ممکن است ۱۰تا ۲۰ درصد فتوسنتز سالانه گیاه را شامل شود. بنابراین می‌تواند کربن وانرژی کافی برای تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌های خاک (میکروارگانیسم گیاهی در هر گرم خاک ریزوسفر) را فراهم کند. در اثر این ترشحات, جمعیت و فعالیت میکروبی در محیط ریزوسفر ۱۰ تا ۱۰۰ برابر محیط خارج از ریزوسفر می‌باشد. بنابراین گیاه جمعیت میکروبی را در پاسخ به اثر ریزوسفر افزایش داده و این باعث افزایش تجزیه ترکیبات و آلاینده‌های آلی در این محیط می‌شود (شکل ۴ـ۶).

۲- Degredation
۳- Containment
۴- Transfer
۵- Phytodegradation, Phytotransformation
۱- Rhizodegradatio, Rhizosphere biodegradation, Phytostimulation, Plant assisted bioremediation



شکل۴ـ۶ـ مکانیزم‌های گیاه‌پالایی ترکیبات نفتی

گانتر و همکاران جمعیت و فعالیت میکروبی بالایی را به همراه افزایش تخریب هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده‌ای که رای‌گراس کشت شده بود, در مقایسه با سایت بدون کشت مشاهده کردند. این محققان پیشنهاد کردند که ریشه‌های گیاه, میکروارگانیسم‌ها را تحریک کرده و باعث افزایش تجزیه مخلوط هیدروکربنی ریزوسفر می‌شود. اپری و سورنسون معدنی شدن ^{14}C بنزوآلفاپیرن را با افزایش جمعیت میکروبی در ریزوسفر گیاه تال‌فسکیو در مقایسه با خاک بدون کاشت گزارش نمودند.

جوردهال و همکاران گزارش کردند که جمعیت میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده بنزن, تولوئن و زایلن در ریزسفر گیاه سپیدار پنج برابر شده است. نیکلاس و همکاران ترکیبات آلی قابل تجزیه بیشتری را در محیط ریزوسفر خاک آلوده در مقایسه با محیط خاک بدون آلودگی یافتند. گیاهانی که ریزوسفر آن‌ها در این مطالعه بررسی شده بود شامل یونجه و بلوگراس آلپ وآلاینده‌ها شامل هگزادکان، ۲-۲دی متیل بنزن، اسید بنزوئیک، پایرن، سیس-دکاهیدرونفتالن و نفتالن بودند.

لیکواس و رادوان [۱۱۸] مشاهده کردند که تراکم ریشه‌های چند گیاه بومی در بیابان‌های کویت و برخی از گیاهان زراعی، بستگی به باکتری‌های تجزیه‌کننده هیدروکربن‌ها (سلولوموناس فلاویجنا و رودوکوکوس اریتروپولیس۱ و گونه‌های ارتروباکتر) دارد.

۱- *Cellulomonas flavigena, Rhodococcus erythropolis*

به طوری‌که ریزوسفر گیاهان مورد مطالعه حاوی بالاترین جمعیت این باکتری‌های مصرف کننده هیدروکربن, در خاک‌های آلوده به نفت در مقایسه با خاک بدون آلودگی می‌باشند. در نهایت این محققان پیشنهاد کردند که گیاه‌پالایی یک شیوه عملی برای خاک‌های آلوده به نفت است.

باید توجه داشت که تعداد کمی مطالعات نیز پیشنهاد کرده‌اند که تجزیه هیدروکربن‌های نفتی خاک ممکن است در اثر ریزوسفر افزایش نیابد. به عنوان مثال فرو و همکاران گزارش کردند که اگروپایرون[۱] و یونجه[۲] اثری بر سرعت یا میزان معدنی شدن ^{14}C فنانترین و بنزن ندارد, با این حال افزایش جمعیت میکروبی را مشاهده نمودند.

ب- اثرات بازدارندگی

اثرات بازدارندگی شامل استفاده از گیاهان برای کاهش یا به حداقل رساندن قابلیت دسترسی زیستی آلاینده‌ها برای موجودات زنده می‌باشد. مکانیسم مستقیمی که گیاه در این رابطه استفاده می‌کند شامل تجمع هیدروکربن‌های نفتی در اندام‌های گیاهی و جذب در سطوح ریشه‌ها می‌باشد. از دیگر سازوکارهای مستقیم این است که گیاهان با به کارگیری پمپ‌های آلی در محیط ریشه از پراکندگی آلاینده‌ها جلوگیری می‌کنند.

ج- انتقال هیدروکربن‌های نفتی به اتمسفر[۳]

خاک همچنین ممکن است با انتقال هیدروکربن‌های نفتی سبک و فرار به اتمسفر توسط گیاه پالایش شود. در گیاه‌پالایی این سازوکار به عنوان تصعید گیاهی[۴]شناخته شده است. ویلتز و همکاران مشاهده کردند که برگ‌های گیاه یونجه در خاک آلوده به نفت خام دچارسوختگی شده است. آن‌ها علت این سوختگی برگی را ترکیبات ناشناخته‌ای از آلاینده‌ها که از طریق گیاه به اتمسفر انتقال یافته دانستند. سوختگی برگ به تدریج ناپدید می‌شود که نشاندهنده کاهش آلودگی با پیشرفت زمان است. واتکینز و همکاران [۱۵۱] دریافتند که تصعید ^{14}C نفتالن در خاک لوم شنی کشت شده با بل‌رودوگراس[۵] افزایش می‌یابد. نتیجه این مطالعه نشان داد که نفتالن از طریق گیاه به اتمسفر انتقال یافته است.

۴-۷-۲- اثر فاکتورهای محیطی بر گیاه‌پالایی

تنوع فاکتورهای محیطی بر گیاه‌پالایی یا سازوکار آن اثر می‌گذارد. نوع خاک و مقدار مواد آلی می‌تواند قابلیت دسترسی زیستی آلاینده‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. مقدار آب خاک و رطوبت, رشد گیاه/میکروب و اکسیژن مورد نیاز برای تنفس میکروبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دما بر سرعت فرآیندهای گوناگونی که اتفاق می‌افتد, تاثیر می‌گذارد. قابلیت دسترسی مواد غذایی می‌تواند میزان تجزیه را در خاک‌های آلوده به نفت تحت تأثیر قرار دهد و بالاخره نور خورشید می‌تواند ترکیبات مادری را به ترکیبات دیگر تغییر شکل

۱- *Agrooyron desertorum*
۲- *Medicago sativaMesa,* var. Cimarron VR
۳- Transfer of Petroleum Hydrocarbons to the Atmosphere
۴- Phytovolatilization
۵- *Bell rhodesgrass*

دهد، به طوری که ممکن است سمیت و قابلیت دسترسی زیستی متفاوتی از مواد مادری خود داشته باشند. این عوامل محیطی باعث هوادیدگی (اتلاف برخی از اجزاء مخلوط آلاینده‌ها) ترکیبات آلی شده و سرانجام ترکیبات مقاوم در خاک باقی می‌ماند.

نوع خاک

نوع خاک با خصوصیات متنوعی از قبیل ساختمان و بافت خاک تعریف می‌شود. نوع خاک کمیت و کیفیت مواد مترشحه از ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین بر گیاه‌پالایی اثر می‌گذارد. تحقیقات باچمن و کینزل بر وجود رابطه متقابل بین نوع خاک و مقادیر آمینواسیدها، قندها و فعالیت‌های آنزیمی در ریزوسفر دلالت دارد. از سوی دیگرسیسیلیانو و همکاران دریافتندکه نوع خاک اثری برکارایی گیاه‌پالایی ۲-کلرو بنزوئیک اسید در سه خاک مورد آزمایش آن‌ها در ساسکاچوان[۱] کانادا نداشته است.

ساختمان خاک

الکساندر و همکاران گزارش کردند که فنانترین ممکن است در داخل خاک به دام افتد و در سطح نانوپورها (منافذ خاک با قطر کم تر از ۱۰۰ nm) جذب شود، که این مکان‌ها برای میکروارگانیسم‌ها غیر قابل دسترس است. بنابراین ترکیبات آلی کمتر در معرض تجزیه میکروبی قرار می‌گیرند.

بافت خاک

بافت خاک می تواند بر قابلیت دسترسی زیستی موثر باشد. برای مثال رس قادر است مولکول‌ها را بیشتر از سیلت و شن جذب سطحی نماید, در نتیجه قابلیت دسترسی زیستی آلاینده‌ها ممکن است در خاک‌های با رس بیشتر، کم‌تر باشد. در تایید این گفته برادی و همکاران گزارش کردند که معدنی شدن ترکیبات آروماتیک چندحلقه‌ای در خاک‌های با اجزاء درشت‌تر (مانند شن)، بیش از خاک‌های با اجزاء کوچکتر (مانند سیلت و رس) است و به نظر می‌رسد که قابلیت دسترسی زیستی آلاینده‌ها درخاک‌های شنی بیشتر است. به طور مشابه ادوارد و همکاران یافتند که مقدار 14C آنتراسن جذب شده به وسیله سبوس باقلا در خاک به میزان قابل ملاحظه‌ای کم‌تر از مقدار جذب شده به وسیله گیاه در محلول غذایی می‌باشد و علت آن را جذب سطحی آلاینده توسط خاک و در نتیجه کاهش قابلیت جذب آن توسط گیاه و ریزجانداران دانستند.

ماده آلی خاک

ماده آلی خاک مواد چربی دوست را به هم می‌چسبانند و به این طریق قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها را کاهش می‌دهند. مقدار بالای کربن آلی (بیش از ۵ درصد) در خاک, معمولا سبب جذب مواد چربی دوست شده و بنابراین قابلیت دسترسی زیستی آن‌ها کاهش می‌یابد, اما اگر مقدارکربن آلی متوسط (۱ تا ۵ درصد) باشد قابلیت دسترسی زیستی ترکیبات آلی چربی دوست را فقط محدود می‌سازد.

۱- Saskatchewan

قابلیت دسترسی آب و اکسیژن

آب و اکسیژن برای حیات گیاه و میکروب‌ها ضروری است. آب فقط به عنوان یک ترکیب در موجودات زنده نمی‌باشد، بلکه به عنوان ناقل برای انتقال مواد غذایی به موجودات و نیز پراکندگی ضایعات هم عمل می‌کند. اگر مقدار رطوبت خاک کم باشد, فعالیت میکروبی کاهش یافته و گیاهان در این شرایط آب خود را از دست می‌دهند. رطوبت بیش از حد, تبادل گازی را محدود کرده, مناطق بی‌هوازی را افزایش داده و با عث کاهش تجزیه هوازی می‌شود.

اکسیژن ممکن است به میزان زیادی ترشحات ریزوسفر را تحت تأثیر قرار دهد. میزان انتقال اکسیژن از ریشه بستگی به نوع گیاه دارد. گیاهان آبزی بالاترین ظرفیت را برای انتقال اکسیژن از برگ‌ها به ریشه‌ها و سپس به ریزوسفر دارند. در مقابل گیاهان چوبی و غیر آبزی ظرفیت پایینی برای انتقال اکسیژن به سمت ریشه دارند. انتقال اکسیژن به طرف ریشه در گیاهان آبزی اجازه می‌دهد تا گیاهان در شرایط اشباع زنده بمانند، در صورتی‌که در این شرایط گیاهان خاکزی می‌میرند. به طور کلی انتقال اکسیژن همچنین سبب افزایش جمعیت باکتری‌های تجزیه کننده آلاینده‌ها در ریزوسفر می‌شود.

دما

دما بر سرعت مکانیسم‌های متنوع گیاه‌پالایی اثر می گذارد. به طور کلی میزان تجزیه میکروبی به ازای افزایش هر ۱۰ درجه سانتی گراد دو برابر می‌شود. طی یک آزمایش زیست‌پالایی ترکیبات نفتی در یک لندفیل[۱] نمکی, تجزیه هیدروکربن‌ها به طور میانگین در تابستان ۷۲ درصد بوده در حالی‌که در زمستان این میزان به ۵۶ درصد رسید . در این آزمایش تغییرات فصلی دما به اندازه ۱۰ درجه سانتی گراد بین تابستان و زمستان متغیر بود. همچنین تخریب نفت چراغ (کروزن) در یک خاک لومی‌شنی به حداکثر خود در طول ماه‌های ژولای تا آگوست (وقتی که دما ۲۰ درجه سانتی گراد بود) رسید [۵۵]. سیمونیچ و هایتز گزارش کردند که غلظت ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در گیاه, در طول بهار و پائیز (زمانی که متوسط دما در مقایسه با تابستان کم‌تر است)، زیادتر می‌باشد. برعکس در طول تابستان (زمانی که متوسط دمای طبیعی بیشتر می‌باشد)، غلظت کم‌تری از ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در گیاه دیده می‌شود.

مواد غذایی

وجود ماده غذایی کافی در خاک برای رشد گیاه و هم زیستی میکروب‌ها لازم است. این موضوع خصوصا برای تقویت محیط ریزوسفر و گیاه‌پالایی موفق الزامی است. زو و جانسون نشان دادند که هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند به طور معنی‌داری قابلیت دسترسی مواد غذایی گیاه را در خاک کاهش دهند. هیدروکربن‌های نفتی مقدار کربن بالایی دارند، ولی از نظر نیتروژن و فسفر ضعیف می‌باشند. میکروارگانیسم‌ها با تخریب هیدروکربن‌ها، مواد غذایی قابل دسترس را جذب و غیرمتحرک کرده و باعث

۱- Landfill

کمبود مواد غذایی در خاک‌های آلوده می‌شوند. بیدربیک و همکاران گزارش کردند که لجن ضایعات نفتی مخلوط با خاک شنی دارای سطوح کم نیترات و نیتروژن بوده و به سرعت توسط میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده نفت غیرمتحرک شده و از تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌ها جلوگیری می‌کند. این عمل برای فسفر هم اتفاق می افتد, به طوری‌که در ابتدا زیست‌توده میکروبی بالا مقدار زیادی از عناصر غذایی را غیرمتحرک کرده و باعث افزایش قابلیت دسترسی زیستی مواد غذایی در سال بعد می‌شود. هیدروکربن‌های نفتی همچنین ممکن است دسترسی مواد غذایی گیاهان و میکروارگانیسم‌ها را با کاهش حلالیت آن‌ها درآب کم کنند. کمبود مواد غذایی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌های نفتی را می‌توان با استفاده از انواع کودها مانند کود سبز, کود حیوانی و کود شیمیایی برطرف نمود.

تشعشعات خورشیدی

تغییر و تبدیل ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای می‌تواند به وسیله نور فرابنفش در آب‌های آلوده یا سطح خاک اتفاق افتد, این عمل با افزایش قطبیت و انحلال در آب، سمیت ترکیبات اولیه را برای جذب گیاهان تغییر می‌دهد. ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای که به این روش تغییر می‌یابند شامل آنتراسین، فنانترین، بنزوآلفاپرین، فلورانتن، پیرین و نفتالن می‌باشند. افزایش اثرات سمی ترکیبات آروماتیک در گیاه از قبیل کاهش رشد, می‌تواند در اثر نفوذ اشعه فرابنفش به بافت گیاه باشد که به تبع آن تغییر در اثر نور و حساس شدن در برابر نور سبب تجمع ترکیبات آروماتیک در بافت‌های گیاهی می‌شود.

۴-۷-۳ فناوری هایی برای افزایش راندمان گیاه‌پالایی

چندین فناوری اولیه مانند کشاورزی می‌تواند باعث افزایش راندمان گیاه‌پالایی شود. این فناوری‌ها شامل استفاده از کودها و یا کود سبز، شخم در خاک‌های آلوده و انجام عمل زیرور و نمودن خاک[۱] می‌باشد.

خاک‌های آلوده در وهله‌ی اول از نظر مواد غذایی محدودیت زیادی ندارند. مواد غذایی خاک می‌تواند به سرعت مصرف یا غیرمتحرک شود. جمعیت میکروبی تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی از منبع غنی کربن برخوردارند ولی از نظر مواد غذایی فقیرند. استفاده از کودها می‌تواند با کاهش رقابت برای عناصر غذایی, بین گیاه و ریزجانداران در خاک‌های آلوده, تجزیه هیدروکربن‌های نفتی را افزایش دهد. کاترایت دریافت که با افزایش مقدار نیتروژن و فسفر در خاک تحت شرایط هوازی, تجزیه ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای به وسیله باکتری‌های تجزیه کننده افزایش می‌یابد. نقش مهم شخم در خاک‌های آلوده به منظور گیاه‌پالایی, هوادهی خاک و مخلوط شدن کودهای مورد استفاده با خاک آلوده می‌باشد و به این طریق خاک برای کشت آماده می‌شود.

- مقایسه سایر روش‌ها با گیاه‌پالایی

[۱]- Landfarm

گیاه‌پالایی تنها راه پاکسازی مناطق آلوده نیست. از دیگر روش‌های مؤثر می‌توان به روش‌های مهندسی، زیست پالایی و تخریب بدون دخالت انسان در طبیعت نام برد. این روش‌ها به طور خلاصه در جدول۲با هم مقایسه شده‌اند.

مزایا گیاه‌پالایی

- داشتن هزینه پایین‌تر نسبت به سایر روش‌ها و اقتصادی‌تر بودن
- جذب فلزات سنگین و کاهش سمیت ضایعات در آب و خاک
- خوشایند بودن طبیعت روش و ایجاد فضای سبز
- به وجود آمدن کم‌ترین به هم خوردگی در خاک
- کاهش فرسایش بادی
- پالایش همزمان چندین آلاینده و کاربرد برای آلاینده‌های مخلوط

از مزایای غیرمستقیم گیاه‌پالایی بهبود کیفیت خاک می‌باشد. این امر با بهتر شدن ساختمان خاک (خاکدانه‌ها), افزایش تخلخل و به تبع آن افزایش نفوذپذیری خاک, تأمین عناصر غذایی (مثلا با تثبیت نیتروژن خصوصا توسط لگوم‌ها), سرعت بخشیدن به چرخه عناصر غذایی و افزایش ماده آلی خاک همراه می‌باشد.

جدول ۴ـ۱۱ـ مقایسه گیاه‌پالایی با روش‌های دیگر قابل کاربرد در پالایش سایت‌های آلوده به ترکیبات آلی

خصوصیات	گیاه‌پالایی	در طبیعت	مهندسی	زیست پالایی
۱. درجا و غیردرجا	درجا	درجا	درجا یا غیردرجا	درجا و غیردرجا
۲. شرح کلی	استفاده از گیاه و ریزجانداران برای تجزیه و تخریب, بازدارندگی یا انتقال آلاینده‌ها	استفاده از گیاه و ریزجانداران برای تجزیه و تخریب, بازدارندگی یا انتقال آلاینده‌ها	در روش غیردرجا: خاکبرداری, لندفیل, سوزاندن در روش درجا: استخراج به وسیله بخار از خاک, تیمارهای حرارتی و شیمیایی, نیاز به مکانی برای عملیات مهندسی, نیاز به عملیات خاکورزی و استحکام خاک	استفاده از ریزجانداران برای تجزیه و تخریب و بازدارندگی آلاینده‌ها در روش غیر درجا نیاز به خاکبرداری و کنترل فازهای جامد و سوسپانسیون مورد استفاده می‌باشد.
۳. دخالت انسان	نیاز است عملیات کشاورزی, کوددهی, خواباندن وکشت گیاه	نیاز نیست	به شدت مورد نیاز است.	به شدت مورد نیاز است. نیاز به دقت و کنترل دقیق دما, اکسیژن و مواد غذایی است تا به بهترین جمعیت میکروبی رسید
۴. مزایای مستقیم	استفاده از انرژی خورشیدی, برای سطح زیادی از آلاینده‌ها میتوان به کار برد, گیاه به عنوان شناساگر آلاینده‌هاست, ریزجانداران انواع زیادی از آلاینده‌ها را تجزیه می‌کنند, گیاه اکسیژن را به ریزوسفر انتقال می‌دهد, نسبتاً آسان و راحت است.	بدون هیچ گونه مداخله است	قابلیت اطمینان دارد, مکان مورد نظر رها شده و دیگر مورد استفاده قرار نمی‌گیرد, نقطه آغاز و پایان مشخصی دارد. خصوصاً روش‌های غیر درجا سریع می‌باشد. اصل روش سودمند و کاراست و محدود تا عمق آب‌های زیرزمینی نمی‌شود.	محدودیت مکانی دارد ولی اصل آن سودمند است.
۵. مزایای غیرمستقیم	کیفیت خاک حفظ می‌شود, از فرسایش جلوگیری می‌کند, گیاهان به تصفیه آب و هوا نیز کمک می‌کنند,شامل گازهای گلخانه‌ای است, گیاهان آلودگی صوتی ناشی از صنایع را می‌کاهند, ایجاد فضای سبز و مناظر خوشایند می‌شود.	کیفیت خاک حفظ می‌شود, گیاهان به تصفیه آب و هوا نیز کمک می‌کنند, شامل گازهای گلخانه-ای است.	——	——
۶.محدودیت‌ها	عمق آلاینده‌ها بایستی حداکثر برابر با عمق ریشه‌ها باشد, غلظت زیاد آلاینده مانع از رشد گیاه می‌شود, کندتر از روش‌های غیر درجاست, آلاینده‌ها ممکن است غیرقابل دسترس زیستی باشند, شرایط محیطی مساعد برای رشد گیاه نیاز است. بنابراین نیاز به تحقیقات و آزمایش‌های اولیه زیادی است ولی پس از آن در دراز مدت روشی کارآ می‌باشد.	ضرر بسیار بالایی برای اکوسیستم و سلامت انسان دارد.	نیاز به کار و نیروی زیادی خصوصا خاکبرداری و لندفیل دارد, فقط آلاینده‌ها را به مکان دیگر و یا فاز دیگری انتقال می‌دهد, بعضا حجم کمی از مکان آلوده را می‌توان استفاده نمود.	در روش غیر درجا نیاز به خاکبرداری زیادی است. در کل نیاز به شناسایی و تهیه کلکسیونی از ریزجانداران است, تیمارسازی طولانی است, نیاز به کنترل زیاد و مستمری دارد.

روش کار

به طورکلی پس از ارزیابی امکان پالایش خاک های آلوده به آلاینده های نفتی در منطقه با استفاده از روش‌های زیستی و دستیابی به دانش فنی پالایش این خاک ها، برخی گونه های گیاهی مناسب برای تجزیه آلاینده های نفتی در خاک های منطقه را شناسایی کنید. به این منظور می‌توان به صورت زیر عمل کرد:

۴ـ۸ـ نمونه برداری از نقاط آلوده و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کمی و کیفی آلاینده آلی و معدنی

با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، از چند نقطه نمونه برداری انجام گیرد. در صورتی که آلودگی در عمق نیز گسترش داشته با شد لازم است تا عمق آلوده از چند عمق نمونه‌برداری صورت گیرد.

مهمترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ها نظیر pH، EC، کربن آلی، نیتروژن و فسفر کل، بافت، غلظت برخی از عناصر سنگین مانند سرب، نیکل، روی، مس، کادمیم، منگنز، آلومینیوم، آهن و غلظت کل هیدروکربن های نفتی TPHs به روش ۸۱۰۰ سازمان سازمان حفاظت محیط زیست امریکا و با استفاده از دستگاه GC و HPLC نوع غالب هیدروکربن‌ها تعیین شود. کل جمعیت باکتریایی هترتروف به روش پخش سطحی (Surface Spread) و جمعیت تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده منطقه نیز به روش MPN (Most Probable Number) محاسبه گردد. در مطالعات آزمایشگاهی حداکثر ۳ گونه غیر بومی به خاک تلقیح شده و تأثیر آن‌ها در تجزیه آلاینده‌ها مشخص گردد. تأثیر مقادیر مختلف عناصر نیتروژن و فسفر که در روند تجزیه زیستی اهمیت بالایی دارند با اعمال تیمارهای غلظتی مختلف(حداکثر ۴ تیمار) مشخص خواهد شود. به این ترتیب شرایط بهینه محیطی از لحاظ نوع گونه میکروبی و غلظت عناصر غذایی برای تجزیه آلاینده‌ها و همچنین تأثیر سورفکتانت‌های بیولوژیک در خاک‌شناسایی می شود که پایه و اساس عملیات‌های میدانی است.

آماده سازی خاک

گیاهان و میکروارگانیسم‌ها تا غلظت مشخصی از هیدروکربن‌های نفتی می‌توانند مقاومت نموده, زنده مانده و فعالیت کنند. بنابراین گیاه‌پالایی را تا غلظت خاصی از آلودگی می‌توان انجام داد. گیاه‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی ممکن است در غلظت‌های زیاد به دلیل سمیت ودر نتیجه کاهش رشد و عملکرد گیاه و در نهایت خشک شدن گیاه عملی نباشد. از طرف دیگر گیاه‌پالایی در غلظت‌های خیلی کم به دلیل عدم قابلیت دسترسی زیستی آلاینده‌ها نیز سودمند نمی‌باشد.

در صورتی که میزان آلودگی خاک زیاد باشد لازم است برای پایین آوردن درصد آلودگی، آن را با خاک غیرآلوده مخلوط نمود. پس از مخلوط کردن خاک و یا خاک با آلودگی کم را به مدت ۳ هفته تا ۲ ماه تا رسیدن به رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری کرده و خاک‌ها را هر سه روز یک بار زیر و رو شود. طی این مدت آبیاری در حد ظرفیت مزرعه انجام گیرد. سپس از این خاک‌های تیمار شده جهت آزمایش گیاه‌پالایی استفاده شود.

استقرار گیاه و جامعه میکروبی در مکان‌های آلوده

شناسایی و انتخاب گونه های گیاهی مقاوم و مستعد احتمالی در حذف آلودگی های نفتی به شرح زیرمی‌توان انجام داد:

الف -مطالعات کتابخانه‌ای به منظور شناسایی گونه‌های گیاهی مقاوم و مستعد در حذف آلودگی های نفتی از خاک با توجه به پژوهش های انجام شده در این زمینه.

ب -انجام بازدیدهای صحرایی جهت بررسی و شناسایی انواع گونه های گیاهی در حال رشد در زمین های آلوده

بنابراین گیاه‌پالایی موفق هیدروکربن‌های نفتی نیازمند استقرار جامعه گیاهی و میکروبی در مکان آلوده است. عوامل موثر در این زمینه عبارتند از:

- ✓ اثر آلاینده‌ها بر جوانه‌زنی گیاه یا کاشت نهال (غرس کاری)
- ✓ تاثیر آلاینده‌ها بر تلقیح میکروبی
- ✓ استفاده از گیاهان و میکروارگانیسم‌های بومی و غیربومی در مکان آلوده

الف) جوانه‌زنی و غرس کاری

کاشت بذر در خاک آلوده زمانی انجام گیرد که خاک رطوبت کافی داشته باشد، دما مناسب باشد و خاک برای بذرها سمی نباشد. یک راه مناسب برای انتخاب گونه گیاهی به منظور گیاه‌پالایی، جوانه‌زنی موفق آن گونه یا گونه‌ها قبل از کشت در مکان آلوده می‌باشد.

در مکان‌هایی که آلودگی زیاد است می‌توان از گونه‌هایی استفاده کرد که بتوان آن را به صورت نشاء در خاک مستقر کرد. یکی از راهکارهای دیگر کشت بذر در مکان غیر آلوده است و پس از رشد اولیه آن‌را به صورت نشاء در مکان آلوده مستقر کرد.

ب) تلقیح میکروبی

جمعیت میکروبی در خاک اطراف ریشه گیاه افزایش می‌یابد و تلقیح میکروارگانیسم‌های تجزیه کننده نفت در مکان‌های آلوده می‌تواند موجب افزایش تجزیه مواد نفتی شود. به این منظور می‌توان گونه‌های مقاوم و تجزیه کننده هیدروکربن های نفتی را به خاک آلوده اضافه نمود.

پژوهش ها نشان می‌دهند که برای این‌که باکتری‌های تجزیه کننده بتوانند هیدروکربن‌های نفتی را تجزیه کنند باید حداقل $۱۰^{۸}$ * ۲سلول در هر کیلوگرم خاک باشد. این مقدار برای شرایط اپتیمم تجزیه مواد نفتی است که در این حالت میزان آلودگی ۵ تا ۱۰ درصد وزن خشک خاک می باشد. که بر اساس میزان آلودگی گونه مناسب مثل باکتری های باسیلوس مگاتریوم، باسیلوس سابتیلیس و سودوموناس پوتیدا و ... کشت شده و در چند مرحلهبه خاک در مرحله زیرو رو کردن به خاک در شرایط رطوبتی مناسب اسپری شود.

محققان دریافته‌اند که بین گونه‌های مایکوباکتریوم بومی خاک رقابتی در تجزیه پیرن وجود ندارد، مگر این که مواد غذایی (گلوکوز و پپتون) به آن اضافه شود. از طرف دیگر جمعیت گونه‌های بومی ارتروباکتر۸۰ تجزیه کننده نفت در خاک شنی آغشته به نفت خام (۲۰ درصد وزنی نفت خام) به شدت نسبت به گونه‌های غیر بومی کاندیدا۸۱ و ارتروباکتر کاهش می‌یابد. البته این کاهش گونه‌های بومی ارتروباکتر می‌تواند به دلیل رقابت با گونه‌های تلقیح شده باشد.

ج) استفاده از گیاهان و میکروارگانیسم‌های بومی و غیربومی

در منطقه‌ای که گیاه‌پالایی انجام می‌گیرد ممکن است که گیاه و میکروارگانیسم‌های بومی منطقه برای گیاه‌پالایی و پاکسازی منطقه مناسب نباشند. در نتیجه اغلب طرح‌های آلودگی‌زدایی به روش گیاه‌پالایی از موجودات زنده غیربومی برای تلقیح میکروبی استفاده می‌کنند. سازمان ارزیابی فناوری۸۲ بیان کرده که تکنولوژی تغییر ژنتیک و سازگار نمودن موجودات با شرایط منطقه نیز نوعی استفاده از موجودات غیر بومی برای گیاه‌پالایی است.

استفاده از گونه‌های غیربومی و تغییر ژنتیک موجودات تجزیه کننده آلاینده‌ها و سازگار نمودن آن‌ها با شرایط منطقه از قبیل آب و هوا, بارندگی سالانه, خصوصیات خاک و طول دوره رشد باعث شده که

۳- *Arthrobacter*

۴- *Candida*

۱- Office of Technology Assessment (OTA).

فناوری گیاه‌پالایی تقریبا در همه مکان‌ها عملی باشد و به عنوان یک فناوری آلـودگی‌زدای بـا رانـدمان زیـاد مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر استفاده از گیاهان بومی که قـبلا بـه شـرایط محیطـی منطقـه سـازگار شده‌اند, مزایای خود را دارد و سازگار نمودن آن‌ها به شرایط آلودگی با موفقیت بیشتری انجام می‌شود.

د) فناوری هایی برای افزایش راندمان گیاه‌پالایی

چندین فناوری اولیه مانند کشاورزی می‌تواند باعث افزایش راندمان گیاه‌پالایی‌شود. ایـن فنـاوری‌هـا شامل استفاده از کودها و یا کود سبز، شخم در خاک‌های آلوده و انجام عمل زیرور و نمودن خاک مـی‌باشـد. خاک‌های آلوده در وهله‌ی اول از نظر مواد غذایی محدودیت زیادی ندارند. مواد غـذایی خـاک مـی‌توانـد بـه سرعت مصرف یا غیرمتحرک شود. جمعیت میکروبی تجزیه کننده هیدروکربن‌های نفتی از منبع غنی کـربن برخوردارند ولی از نظر مواد غذایی فقیرند. استفاده از کودها می‌تواند با کاهش رقابت برای عناصر غذایی, بین گیاه و ریزجانداران در خاک‌های آلوده, تجزیه هیدروکربن‌های نفتی را افـزایش دهـد. بنـابراین کـوددهی بـا توصیه‌های علمی کودی نقش مهمی در افزایش راندمان گیاه‌پالایی دارد.

بنابراین به منظور پالایش مؤثر، سرعت پالایش وتجزیـه هیـدروکربن‌هـای نفتـی در خـاک نیـاز بـه استفاده از روش‌های مکانیکی ومیکروبی است که در این رابطه روش ترکیبی استفاده می‌شود. ایـن روش بـر پایه ترکیبی از روش‌های مکانیکی، میکروبی و فرآیندهای رشد گیاه مـی‌باشـند تـا بتـوان زیسـت‌تـوده گیـاه خصوصا ریشه را افزایش داد. یکی از فرآیند ترکیبی شامل فرآینـدهای کشـاورزی، تلفـیح میکروبـی (اضـافه نمودن میکرو ارگانیزم‌های تجزیه کننده نفت) و استفاده از مواد محرک رشد (برای افزایش سـرعت و درصـد جوانه‌زنی و استقرار گیاه در خاک آلوده) می‌باشد. ایـن روش سـرعت پـالایش هیـدروکربن‌هـای نفتـی را در خاک‌های آلوده افزایش داده و بر روش‌هایی که به صـورت تکـی بـه کـار مـی رود برتـری دارد. بـرای مثـال بسیاری از گونه‌های گیاهی, بسیار حساس به آلودگی‌های هیدروکربن‌های نفتی هستند. اگر رشد گیـاه کنـد باشد زیست‌توده کافی برای پالایش ندارد و بنابراین جمعیت ریزجانداران کاهش یافته و تجزیه آلاینـده‌هـای آلی کند می‌شود.

استفاده از روش ترکیبی مثل زیر و رو کردن خاک, تلفیح میکروبی، استفاده ازمـواد محـرک رشـد و کشت گیاه, واکنش‌های بیولوژیکی تجزیه مواد آلی نفتی را در خاک به سمت واکنش رده صفرپیش برده و با این روش می‌توان آلاینده‌های هیدروکربنی (TPHs و PHAs) خاک را در زمان کوتاه‌تر و با راندمان بـالاتر از بین برد و یا حتی‌الامکان سرعت فرآیند پالایش را بسیار سریع نمود. با این روش ترکیبات مقـاوم و پایـدار هیدروکربنی موجود در خاک نیز بیشتر تحت تأثیر فرآیند پالایش قرار می‌گیرند.

ر) نگهداری گیاه

در طول دوره رشد گیاه مراقبت‌های کاشت، داشت و برداشت بسته به نوع گونه گیاهی کشت شده و شرایط محیطی بسیار ضروری است. دقت شود که در این شرایط گیاه دچار استرس آلودگی نیز قرار گرفته و نیاز به مراقبت بیشتری دارد. بنابراین لازم است کوددهی، سم‌پاشی، آبیاری، برداشت‌های دوره‌ای اندام هوایی، هرس کردن و ... به موقع و اندازه کافی انجام گیرد.

۴ـ۹ـ روش‌های تجزیه آزمایشگاهی

تجزیه نمونه‌های خاک

- اندازه‌گیری pH خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر تعیین شود.
- قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره۱ به ۵ و در عصاره اشباع در نمونه‌های خاک اندازه گیری شد.
- بافت خاک به روش هیدرومتر تعیین شود.
- اندازه گیری چگالی ظاهری خاک‌ها با استفاده از استوانه با حجم معین انجام گیرد.
- اندازه‌گیری نیتروژن کل به روش کلدال و با دستگاه کلدال انجام گیرد.
- رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحه فشاری در فشار ۰/۱ اتمسفر تعیین شود.
- درصد کربن آلی به روش اکسیداسیون تر واکلی بلاک و یا با دستگاه TOC اندازه‌گیری شود.
- اندازه گیری عناصر سنگین در نمونه‌های خاک آلوده به روش‌های زیر انجام گیرد:

غلظت کل عناصر آهن, روی, مس, منگنز, نیکل, سرب, کادمیوم, کبالت و کروم, به روش ۳۰۵۰B سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و با هضم به وسیله اسید نیتریک ۶ مولار اندازه گیری شد. برای تعیین شکل اصطلاحا قابل دسترس عناصر, با استفاده از محلول از DTPA ۰/۰۰۵ مولار از خاک عصاره‌گیری شود. غلظت عناصر در عصاره‌های حاصل, توسط دستگاه جذب اتمی تعیین شود.

تجزیه نمونه‌های گیاه

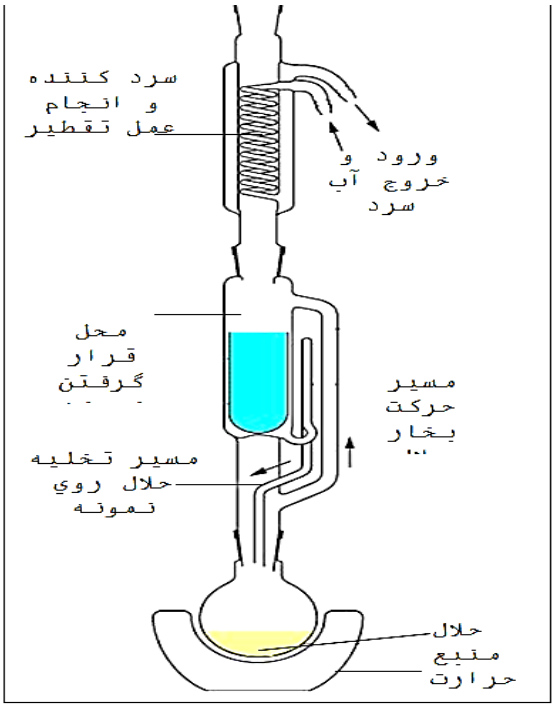
- برای تعیین غلظت عناصر سرب, آهن, روی, نیکل, کادمیم, کروم و کبالت در اندام هوایی گیاه تال‌فسکیو، نمونه‌های گیاهی به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد کوره الکتریکی قرار داده شد. خاکستر حاصل با اسید کلریدریک ۲مولار هضم و غلظت عناصر در آن به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل پرکین المر A۲۰۰ اندازه گیری شد.

۴ـ۱۰ـ۱ـ تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در خاک آلوده

برای اندازه‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در خاک, عصاره گیری این ترکیبات با استفاده از دستگاه سوکسله (روش شماره۸۱۰۰ سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا) انجام شود. این روش نسبت به سایر روش‌های عصاره گیری هیدروکربن‌های آروماتیک مانند اولتراسونیک و سوپرکریتیکال هزینه کمتری دارد و دقت آن نیز قابل قبول است. یک نمونه دستگاه سوکسله و مسیر حرکت حلال در دستگاه، به صورت شماتیک در شکل۳ نشان داده شده است.

برای عصاره‌گیری هیدروکربن‌های آروماتیک در خاک، از حلال‌های آلی استفاده می‌شود. بهتر است از حلال‌های دی‌کلرومتان و n- هگزان استفاده گردد. از هر نمونه خاک ۲۰ گرم توزین و داخل کاغذ مخصوصی به نام تیمبل قرار داده شود. پرزهای این نوع کاغذ به شکلی است که حلال ازآن عبور می‌کند، ولی ذرات خاک از آن عبور نمی‌نمایند. تیمبل پس از آماده شدن در سوکسله قرار داده شده و به ازای ۲۰ گرم خاک توزین شده، ۱۲۵ میلی لیتر از هر حلال به فلاسک دستگاه اضافه شود. با تنظیم دستگاه در دمای ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد (دمای جوش حلال‌ها)، ترکیبات نفتی خاک عصاره‌گیری می‌شد. سپس دستگاه خاموش و مایع داخل فلاسک صاف گردد. در این مرحله برای دست‌یابی به محلول کاملا صاف، نمونه جمع آوری شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شود.

کل هیدروکربن‌های نفتی پس از خارج شدن حلال‌ها باتوزن عصاره‌ی بدست آمده نسبت به وزن خاک تعیین می‌گردد. هیدروکربن‌ها و برخی از ترکیبات آروماتیک عصاره‌ی بدست آمده با استفاده از دستگاه گاز کروماتوگراف مجهز به شاساگر Gas Chromatography, (GC) و یا High Performance Liquid Chromatography (**HPLC**) تعیین گردد.



شکل 4-6. دستگاه سوکسله و مسیر حرکت حلال در آن

درصد ماده نفتی موجود در خاک محاسبه گردید.

$$\%TPH = (\text{حجم ماده نفتی} / ۲۰) \times ۱۰۰$$

۴ـ۷ـ دستگاه سوکسله و مسیر حرکت حلال نفتی در آن

منابع

۱.امین، م.، ۱۳۸۸، گزارش مطالعات مواد زاید جامد شهرک صنعتی مورچه خورت، هیئت امنای شهرک صنعتی مورچه خورت.

۲.کوچکزاد، م. ت. ۱۳۸۴ .صنعت نفت و محیط زیست. انتشارات شرکت پالایش و پخش شرکت ملی پالایش و پخش فرآوردههای نفتی ایران، تهران.

۳.ابریشم چی، ا.، افشار و ج، بهشید، (مترجمان).، ۱۳۷۴. مهندسی فاضلاب (شرکت مهندسی متکاف وادی)، مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب مرکز نشر دانشگاهی اصفهان.

۴.اسدالهی، ا.، ۱۳۹۲، اثر لجن فاضلاب و گیاه ذرت، همراه با تلقیح قارچ Piriformospora indica درکاهش آلودگی نفتی ازیک خاک آهکی، پایان¬نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵.حاتمیان زارعی، ا.، ۱۳۷۹. زیست سالم‌سازی خاک‌های آلوده به هیدروکربن‌ها (آروماتیک‌های چند حلقه‌ای)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۶.حسینیان، س. م.، ۱۳۷۸. اصول طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری و پساب صنعتی، چاپ اول انتشارات آینده سازان.

۷.عابدی کوپایی، ج. و اسد کاظمی، ج. ۱۳۸۴. تاثیر کاربرد زئولیت در خاک بر بهینه سازی مصرف اب فضای سبز. مجموعه مقالات کارگاه فنی آبیاری سطحی مکانیزه تهران – کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ آذر ۱۳۸۴. ص ۱۵۱-۱۵۸.

۸.فلاح، م.، ۱۳۹۰. تاثیر آلاینده¬های هیدروکربنی بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی دو نوع خاک، پایان-نامه کارشناسی ارشد، علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۹.کرمانپور، م.، ۱۳۹۲. اثر آلودگی نفتی بر ویژگی¬های هیدرولیکی، آب قابل استفاده و آب¬گریزی خاک در بختیار دشت اصفهان، پایلن¬نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۰.مدرسی، س.،۱۳۹۲. تثبیت هیدروکربن‌های نفتی خاک با استفاده از کربن فعال و بنتونیت طبیعی و اصلاح شده تحت کشت ذرت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۱.مللی، ا.، ۱۳۸۶. گیاه‌پالایی هیدروکربن‌های نفتی لجن تصفیه فاضلاب پالایشگاه اصفهان در دو خاک آهکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

12.Agbogidi, O., P. Eruotor, S. Akparobi and G. Nnaji. 2007. Evaluation of crude oil contaminated soil on the mineral nutrient elements of maize (Zea mays L.). J. Agron .6: 188.

13.Ahmad, M., S. S. Lee, A. Upamali, S, Lee and Y, Sik. 2013. Trichloroethylene adsorption by pine needle biochars produced at various pyrolysis temperatures. Bioresour. Technol. 143: 615-622.

14.Akpor, O. B., M. N. B. Momba and J. Okonkwo. 2007. Phosphorus and nitrate removal by selected wastewater protozoa isolates. Pak. J. Biol. Sci. 10: 4008-4014 .

15.Alarcón, A., F. T. Davies Jr, R. L. Autenrieth and D. A. Zuberer. 2008. Arbuscular mycorrhiza and petroleum-degrading microorganisms enhance phytoremediation of petroleum-contaminated soil. Int. J. Phytorem. 10: 251-263.

16.Amezketa, E., 1999. Soil aggregate stability: a review. J Sustain. Agric. 14:83_151.

17.Anderson, T., E. Guthrie and B. Walton. 1993. Bioremediation in the rhizosphere. Environ. Sci. Technol. 27: 2630-2636 .

18.Aprill, W., and R. C. Sims. 1990. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. Chemosphere. 20: 253-265 .

19.ATSDR, U. 1997. Agency for toxic substances and disease registry. Case Studies in Environmental Medicine./http://www. atsdr. cdc. gov/HEC/CSEM/csem. html S.

20.Ball, P. N., M. D. MacKenzie, T. H. DeLuca and W. E. Holben. 2010. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacteria abundance in dry montane forest soils. J. Environ. Qual. 39: 1243-1253.

21.Banks, M. K., H. Mallede and K. Rathbone. 2003. Rhizosphere microbial characterization in petroleum-contaminated soil. J. Soil Contam. 12: 371-385.

22. Abedi-Koupai, J., R. Ezzatian, M. Vossoughi-Shavari and S. Yaghmaei. 2007. The effects of microbial population on phytoremediation of petroleum contaminated soils using Tall fescue. Agric. Biol. 2: 242-246.

23.Adriano, D. 1999. Phytoremediation research programs, DOE Scientific and Technical Information, USA.
24.Alexander, M. 1999. Biodegradation and Bioremediation. Academic Press INC., San Diego, USA.
25.Bachmann, G. and H. Kinzel. 1992. Physiological and ecological aspects of the interactions between plant roots and rhizosphere soil. Soil Biol. Biochem. 24: 543-552.
26.Banks, M. K., R. S. Govindaraju, A. P. Schwab, P. Kulakow and J. Finn. 2000. Phytoremediaiton of Hydrocarbon Contaminated Soil. CRC Press, Boca Raton.
27.Brady, N. C. and R. R. Weil. 1996. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
28.Burt, R. 2004. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey investigations report No. 42, Version 4.0. Natural Resources Conservation Service.700 p.
29.Cluis, C. 2004. Phytoremediation as a new option for soil decontamination. Bio. Teachnol. 2: 61-67.
30.Christopher, S., P. Hein, J. Marsden and A.S. Shurleff. 1988 Evaluation of methods 3540 (soxhlet) and 3550 Sonication) for evaluation of appendix IX analyses from solid samples. S-CUBED, Report for EPA contract ۶۸۷۵-۳۳-۰۳, work assignment No.03, Document No. SSS-R-88-9436.
31.Cunningham, S. D., T. A. Anderson, A. P. Schwab and F. C. Hsu. 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Adv. Agron. 56: 55-114.
33.Edwards, N. T., B. M. Ross-Todd and E. G. Garver. 1982. Uptake and metabolism of 14C anthracene by soybean Glycine max. Environ. Exper. Bot. 22: 349-357.
34.Ferro, A. M., R. C. Sims and B. Bugbe. 1994. Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil. J. Environ. Qual. 23: 272-279.
35.Frick, C. M., R. E. Farrell and J. J. Germida. 1999. Assessment of phytoremediation as an in-situ technique for cleaning oil-contaminated sites. Dept. of Soil Science, Univ. of Saskatchewan, Canada.
36.Godson, R. E. E., K. C. Mynepalli and O. Godwin. 2009. A comparative assessment of soil pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons in two Niger Delta communities, Nigeria. Afr. J. Pure and Appl. Chem. 3(3):31-41.
37.Harmsen, J. 1991. Possibilities and limitations of landfarming for cleaning contaminated soils. PP. 255–272. In: Hinchee, R. E and R. F. Ollen-buttel. (Eds.), on site Bioreclamation.
38.Huang, X., Y. El-Alawi, M. Donna, B. Penrose, R. Glick and M. Bruce. 2005. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. Micro. Chem. 81: 139–147.
39.Hutchinson, S. L., M. K. Banks and A. P. Schwab. 2001. Phytoremediation of Aged Petroleum Sludge: Effect of Inorganic Fertilizer. J. Environ. Qual. 30: 395–403.
40.Jerald, L. and S. Schnoor. 1997. Phytoremediation. The University of Iowa, Department of Civil and Environmental Engineering and Center for Global and Regional Environmental Research.
41.Leahy, J. G. and R. R. Colwell. 1990. Microbial degradation of hydrocarbons in the environment. Microbial. Rev. ۳۱۵–۳۰۵ :۵۴ .
42.Method 3050B. EPA. 1996. Acid digestion of sediment, sludge and soils .
43.Klute, A., et al. 1986. Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., SSSA book series: 5. American Society of Agronomy Inc., Soil Society of Agronomy Inc.,pp 1188.
44.Nicoll, M. C. and A. S. Baweja. 1995. Bioremediation of Petroleum contaminated Soils: An Innovative, Environmental Friendly Technology, Canada.
45.Qui, X., S. I. Shah, E. W. Kendall, D. L. Sorenson, R. C. Sims and M. C. Engelke. 1994. Grass-enhanced bioremediation for clay soils contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons. Chem. 15: 142-157.
46.Rock, S. 1997. Phytoremediation. PP. 93-112. In: Freeman, H. (Ed.), Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal. 2nd ed., McGraw Hill Inc., New York.
47. U. S. EPA. 1984. Interalaboratory Comparison Stunt: Methods for volatile and semi–volatile compounds, Environmental monitoring systems laboratory. Office of Research and Development, Las Vegas, NV, EPA. ۰۲۷ -۸۴ -۴/۶۰۰ .

48.Vasudevan, N. and P. Rajabian. 2001. Bioremediation of oil sludge-contaminated soil. J. Environ. Qual. 26: 409-411.
49. Wei, O., B. Hong Liu, V. Murygina, Y. Yu, Z. Xiu and S. Kalyuzhnyi. 2005. Comparison of bio-augmentation and composting for remediation of oily sludge: A field-scale study in China. Proc. Biochem. 40: 3763–3768.
50.http://www.epa.gov
51.http://www.nps. ars.usda.gov/programs/cppvs.htm.
52.U.S. EPA. 1996. *Soil Screening Guidance: Technical Background Document.* Office of Emergency and Remedial Response,Washington, DC. EPA/540/R95/128.
53.Klute, A., et al. 1986. Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am. Inc publisher .
54.Page A.L., Miller, R.H., and Keeny, D.R. 1982 Methods of soil analysis part 2: Chemical and biological properties. Soil Sci. Soc. Am. Inc publisher .
55.U.S. EPA5021 Volatile organic compounds in soils and other solid matrices using equilibrium headspace analysis.,USA,1996 .
56.U.S. EPA. 1991e. *User's Guide to the Contract Laboratory Program.* Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. NTIS PB91-921278CDH
57.U.S. EPA. 1991e. User's Guide to the Contract Laboratory Program. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. NTIS PB91-921278CDH
58.U.S. EPA. 1989a. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Volume 1: Human Health Evaluation Manual (HHEM), Part A, Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. EPA/540/1-89/002. NTIS PB90-155581/CCE
59.U.S. EPA. 1990b. Sampler's Guide to the Contact Laboratory Program. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC. NTIS PB91-92133OCDH
60.U.S. EPA. 1994d. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods (SW-۸۴۶) Third Edition, Revision 2. Washington,DCU.S. EPA. 1996. Soil Screening Guidance: Technical Background Document. Office of Emergency and Remedial Response,Washington, DC. EPA/540/R95/128.
61.mith, E., R. Naidu and A. M. Alston. 1998. Arsenic in the soil environment. Adv. Agron. 64: 149-
62.Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part. 3: 961-1010.195.