

آلودگی خاک:

واقعیتی پنهان

ناٲالیا رودریگز ائوجنیو

ترجمہ:

حبیب خداوردیلو و رقیہ حمزہ نژاد تقلید آباد

Rodriguez Eugenio, Natalia

رودریگز ائوژینو، ناتالیا،

آلودگی خاک: واقعیتی پنهان / تالیف ناتالیا رودریگز ائوژینو، مایکل مک لافلین، دانیل پناک؛ ترجمه حبیب خداوردیلو، رقیه حمزه نژاد تقلیدآباد؛ ویراستار علمی سالار رضاپور، ویراستار ادبی رحیم کوشش شبستری. - ارومیه: انتشارات دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۹

TD

۸۷۸

/۲۲۶ر

۱۳۹۹

۱۴۷ص.: مصور، جدول، نمودار. - (انتشارات دانشگاه ارومیه، ۲۷۰)

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۶۳-۲

نوع منبع: چاپی.

کتابنامه: ص. ۱۱۱-۱۴۷.

خاک -- آلودگی (Soil-- Pollution) الف. مک لافلین، M. McLaughlin ، نویسنده همکار ب. پناک، دانیل ، Pennock Daniel ، نویسنده همکار. ج. خداوردیلو، حبیب، ۱۳۵۷ - ، مترجم د. حمزه نژاد تقلیدآباد، رقیه، مترجم. ز. عنوان. س. فروست. شماره کتابشناسی ملی: ۵۹۸۶۸۷۹ رده بندی کنگره: TD ۸۷۸



عنوان: آلودگی خاک: واقعیتی پنهان

عنوان به انگلیسی: Soil Pollution: A Hidden Reality

ترجمه: دکتر حبیب خداوردیلو و دکتر رقیه حمزه نژاد تقلیدآباد

ویراستار علمی: دکتر سالار رضاپور

ویراستار ادبی: دکتر رحیم کوشش شبستری

ناشر: دانشگاه ارومیه

چاپ اول: ۱۳۹۹ ؛ تعداد صفحات: ۱۴۷ص.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۸۱-۶۳-۲ فروست: انتشارات دانشگاه ارومیه؛ ۲۷۰

قیمت:

Universitypress@urmia.ac.ir

انتشارات دانشگاه: ۰۴۴۳۲۷۷۹۹۳۰

فهرست مطالب

خلاصه جامع.....	۵
واژه‌نامه.....	۳
گفتار ۱- آلودگی خاک چیست؟.....	۵
۱-۱- مقدمه.....	۵
۲- آلودگی نقطه‌ای و غیرمتمرکز خاک.....	۱۱
۱-۲-۱. آلودگی نقطه‌ای.....	۹
۲-۲-۱. آلودگی غیرمتمرکز.....	۱۰
۳-۱. منابع آلاینده‌های خاک.....	۱۱
۱-۳-۱. منابع طبیعی، زمین‌زاد.....	۱۱
۲-۳-۱. منابع انسان‌پدید.....	۱۴
۱-۲-۳-۱. فعالیت‌های صنعتی.....	۱۴
۲-۲-۳-۱. استخراج معدن.....	۱۶
۳-۲-۳-۱. تأسیسات شهری و حمل و نقل.....	۱۷
۴-۲-۳-۱. تولید و دفع زباله و فاضلاب.....	۱۹
۵-۲-۳-۱. فعالیت‌های نظامی و جنگ.....	۲۲
۶-۲-۳-۱. فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری.....	۲۲
۴-۱. آلاینده‌های اصلی خاک.....	۲۷
۱-۴-۱. فلزات سنگین و شبه‌فلزات.....	۲۷
۲-۴-۱. نیتروژن و فسفر.....	۲۹
۳-۴-۱. آفت‌کش‌ها.....	۳۱
۴-۴-۱. هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای.....	۳۴
۵-۴-۱. آلاینده‌های آلی پایدار.....	۳۷
۶-۴-۱. رادیونوکلئیدها.....	۴۰
۷-۴-۱. آلاینده‌های نوظهور.....	۴۲
۸-۴-۱. ریزجانداران بیماری‌زا.....	۴۸
۹-۴-۱. ژن‌ها و باکتری‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک.....	۵۰
۵-۱. برهم‌کنش آلاینده‌ها با اجزای خاک.....	۵۱
۱-۵-۱. جذب آلاینده‌ها.....	۵۱
۲-۵-۱. زیست‌فراهمی، تحرک و تجزیه آلاینده‌ها.....	۵۳
گفتار ۲- پیامدهای آلودگی خاک بر زنجیره غذایی و خدمات اکوسیستمی.....	۵۹
۱-۲. آلودگی خاک، جذب توسط گیاهان و آلودگی زنجیره غذایی.....	۶۰

- ۲-۲. تأثیر آلودگی ناشی از کشاورزی بر خدمات اکوسیستمی خاک..... ۶۴
- ۲-۲-۱. کودهای شیمیایی مصنوعی..... ۶۵
- ۲-۲-۲. اسیدی شدن و کاهش محصول..... ۶۵
- ۲-۲-۳. آفت کش ها..... ۶۶
- ۲-۲-۴. کود حیوانی..... ۶۷
- ۲-۲-۵. زباله های شهری در کشاورزی..... ۶۷
- ۳-۲. خطرات احتمالی آلودگی خاک بر سلامت انسان..... ۶۸
- ۲-۳-۱. مسیرهای در معرض قرارگیری بشر با آلودگی های خاک و تأثیرات آنها بر سلامت انسان..... ۶۹
- ۲-۳-۲. خاک ها به عنوان مخزن باکتری ها و ژن های مقاوم به مواد ضد میکروبی..... ۷۳
- گفتار ۳- مدیریت و اصلاح خاک های آلوده..... ۸۱**
- ۳-۱. رویکردهای ارزیابی احتمال خطر..... ۸۱
- ۳-۲. فنون اصلی برای بهسازی مکان های آلوده..... ۸۷
- ۳-۳. تغییر در عملیات زراعی به منظور کاهش آلودگی زنجیره غذایی و تأثیر بر خدمات اکوسیستمی..... ۹۴
- ۳-۳-۱. کودهای شیمیایی..... ۹۴
- ۳-۳-۲. آفت کش ها..... ۹۷
- ۳-۳-۳. فلزات..... ۹۸
- ۳-۳-۴. شبه فلزات..... ۱۰۰
- ۳-۳-۵. رادیونوکلئیدها..... ۱۰۰
- گفتار ۴- مطالعات موردی در مورد آلودگی و پالایش خاک..... ۱۰۳**
- ۴-۱. پالایش توسط تشدید میرایی طبیعی مکان های آلوده به روغن ها و مواد نفتی در ملل متحد..... ۱۰۳
- ۴-۲. رویکردهای خلاقانه برای پالایش زمین های آلوده به نفت در منطقه تایگایی در غرب سیبری..... ۱۰۴
- ۴-۳. تثبیت سبز حمایت شده: روشی اثربخش برای پالایش دنباله معادن در جنوب شرقی اسپانیا..... ۱۰۷
- منابع..... ۱۱۱

پیش‌گفتار مترجمان

خاک اهمیتی حیاتی در تأمین غذا، آب سالم، الیاف، الوار و غیره برای تداوم حیات در کره زمین دارد. آلودگی خاک، واقعیتی است که کمتر به آن پرداخته می‌شود و در صورت تشخیص نیز به پیامدهای واقعی آن چندان توجه نمی‌شود. آلودگی خاک می‌تواند پیامدهای زیانبار، از بیماری تا مرگ و تخریب اکوسیستم‌ها و نابودی تمدن‌ها را در پی داشته باشد. آگاهی از مصادیق آلودگی خاک و پیامدهای آن نخستین گام در قانون‌گذاری و تصمیم‌سازی جهت پیشگیری از آلودگی خاک و اجرای اقدامات عملی برای پالایش مناطق آلوده است. مترجمان با آگاهی از این که منابع فارسی در مورد آلودگی خاک بسیار انگشت‌شمار و ناکافی است و با اعتقاد به این که اثر مورد ترجمه، مطالبی سودمند و تأثیرگذار در مورد آلودگی خاک و پیامدهای آن دارد، اقدام به ترجمه این اثر نمودند. امیدواریم این اقدام مقدمه‌ای برای تدوین اثری شایسته در مورد آلودگی خاک‌های ایران و زنگ خطری برای پای‌گیری پویشی عمومی برای پیشگیری از آلودگی خاک‌های کشورمان و پالایش خاک‌های آلوده باشد.

بر خلاف قلمرو هنر که در آن هیچ اثری دیگری را رد نمی‌کند، در قلمرو دانش هر یافته‌ای می‌تواند ناقض یافته‌های پیشین باشد. امیدواریم دانش و یافته‌های جدیدی به دست آید که مدیریت خاک‌های آلوده و پیشگیری از آلودگی خاک را، از آنچه امروز هست، ساده‌تر گرداند و حفاظت از خاک به فرهنگی عمومی بدل شود.

از خوانندگان درخواست می‌شود کاستی‌ها را به مترجمان گوشزد نمایند تا در چاپ‌های بعدی اصلاح گردد. رایانامه نویسنده مسئول (حبیب خداوردیلو): h.khodaverdiloo@urmia.ac.ir؛ hkhodaverdiloo@yahoo.com.

مترجمان:

حبیب خداوردیلو

رقیه حمزه‌نژاد تقلیدآباد

پیش‌گفتار انجمن علوم خاک ایران

تاکنون چندین عنوان کتاب با عنوان عمومی آلودگی انتشار یافته است، این کتاب‌ها عموماً به آلودگی محیط‌زیست در بیانی کلی پرداخته‌اند و «آلودگی خاک» عموماً به صورت یکی از فصول آنها آمده است. خاک، بستر اصلی محیط‌زیست بشر می‌باشد و تمام زوایای زندگی اشرف مخلوقات وابسته و عجین شده با آن است. آلودگی خاک مشکل بزرگی است که از یک طرف به طور مستقیم غذای مصرفی انسان را آلوده می‌سازد و از طرف دیگر با آلوده نمودن آب و هوا منشأ انتقال عناصر و عوامل آلاینده به بدن انسان و بروز بیماری‌ها و ناهنجاری‌های فراوان در وجود او می‌گردد. به علاوه، آلودگی خاک عامل بسیار جدی در خدشه‌دار شدن زندگی همه موجودات زنده، اعم از جانوران و گیاهان و نابودکننده منابع طبیعی و محیط‌زیست است.

کتاب «آلودگی خاک: واقعیتی پنهان» ("Soil Pollution: a hidden reality")، که توسط نویسندگانی با شهرت بین‌المللی تالیف شده و توسط سازمان جهانی غذا و کشاورزی سازمان ملل (FAO) در سال ۲۰۱۸ انتشار یافته است، یکی از معدود منابعی است که به صورت تخصصی به آلودگی خاک و جنبه‌های مختلف اندازه‌گیری و ارزیابی آن می‌پردازد. این کتاب که به همت آقای دکتر حبیب خداوردیلو (دانشیار محترم گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ارومیه) و خانم دکتر رقیه حمزه‌نژاد تقلیدآباد (دانش‌آموخته محترم دانشگاه ارومیه) ترجمه شده است، برگردانی شیوا از این اثر است. این کتاب می‌تواند در بررسی وضعیت آلودگی خاک و شناسایی آلاینده‌های اصلی و منابع آنها، که بر سلامت انسان و محیط‌زیست تأثیر می‌نهند و با تأکیدی ویژه بر آلودگی‌های موجود در نظام‌های کشاورزی که از طریق زنجیره غذایی به انسان می‌رسند و همچنین معرفی بهترین فنون موجود برای ارزیابی و اصلاح خاک‌های آلوده کاربردی سودمند داشته باشد.

ضمن تقدیر از مترجمان محترم این کتاب و تشکر از دانشگاه ارومیه که آن را به زینت طبع می‌آراید، باتوجه به تصویب و ابلاغ «قانون حفاظت از خاک» و لزوم اجرایی شدن آن، امیدواریم این اثر بتواند در موارد زیادی راهگشا باشد.

منوچهر گرجی

رئیس انجمن علوم خاک ایران

۱۳۹۸/۰۳/۲۴



خلاصه جامع

«آلودگی خاک»^۱ به حضور یک عنصر شیمیایی یا ماده در خاک اشاره دارد که در جایی که نباید باشد، هست و/یا در مقداری فراتر از غلظت نرمال حضور دارد و تأثیراتی نامطلوب بر روی هر موجود زنده غیرهدف می‌گذارد. آلودگی خاک را اغلب نمی‌توان مستقیماً ارزیابی نمود یا به صورت بصری تشخیص داد، از این رو خطری پنهان است. سامانه جهانی منابع خاک (SWSR)^۲ آلودگی خاک را یکی از مهم‌ترین تهدیدات خاک برشمرده است که بر خاک‌های جهان و خدمات اکوسیستمی ارائه شده توسط آنها تأثیر می‌گذارد.

نگرانی در مورد آلودگی خاک در همه جا در حال افزایش است. اخیراً مجمع محیط‌زیست سازمان ملل متحد^۳ (UNEA-3) با صدور قطعنامه‌ای خواستار اقدامات سریع و همکاری برای حل و مدیریت آلودگی خاک شده است. این توافق که با بیش از ۱۷۰ کشور به دست آمده است، نشانه‌ای روشن از اهمیت جهانی آلودگی خاک و تمایل این کشورها برای یافتن راه‌حلهایی مناسب برای رسیدگی به علل و پیامدهای این تهدید بزرگ است.

منابع اصلی انسان‌پدید آلودگی خاک، مواد شیمیایی مورد استفاده یا تولید شده به عنوان فرآورده‌های جانبی در فعالیت‌های صنعتی، زباله‌های خانگی، دامی و شهری (از جمله پساب)، مواد شیمیایی زیستی و فرآورده‌های مشتق از نفت هستند. این مواد شیمیایی به طور تصادفی، برای نمونه در اثر نشت مواد نفتی یا آبشویی از محل‌های دفن زباله، یا به طور عمدی، از جمله استفاده از کود و آفت‌کش‌ها، آبیاری با پساب تصفیه نشده یا افزودن لجن فاضلاب به اراضی، به محیط‌زیست راه می‌یابند. آلودگی خاک همچنین می‌تواند در اثر نهشته‌های اتمسفری حاصل از ذوب، حمل و نقل، ریزش مه‌پاشی در اثر کاربرد آفت‌کش‌ها و احتراق ناقص بسیاری از مواد و همچنین نهشت رادیونوکلئیدی حاصل از آزمایش‌های سلاح‌های اتمی و حوادث هسته‌ای باشد. نگرانی‌های جدیدی در مورد آلودگی‌های نوظهور برای نمونه داروها، ترکیدن غدد درون‌ریز، هورمون‌ها و سموم و همچنین آلاینده‌های زیستی مانند آلودگی‌های میکروبی در خاک که شامل باکتری‌ها و ویروس‌ها هستند، مطرح شده است.

بر اساس شواهد علمی، آلودگی خاک می‌تواند خدمات اکوسیستمی ارائه شده توسط خاک را به شدت کاهش دهد. آلودگی خاک از طریق کاهش عملکرد محصول در اثر سطوح سمی آلاینده‌ها و همچنین نایمن‌سازی محصولات تولیدشده در خاک‌های آلوده برای مصرف حیوانات و انسان‌ها، امنیت غذایی را می‌کاهد. بسیاری از آلاینده‌ها (از جمله عناصر غذایی اصلی مانند نیتروژن و فسفر) از خاک به آب‌های سطحی و زیرزمینی راه می‌یابند و از طریق غنی‌شدگی^۴، گزنده‌های زیست‌محیطی چشم‌گیری به بار می‌آورند. آلاینده‌ها به طور مستقیم نیز بر میکروارگانیسم‌های خاک و موجودات بزرگ‌تر خاک‌زی تأثیر می‌گذارند و از این طریق تنوع زیستی خاک و خدمات ارائه شده توسط موجودات گزند-دیده را دستخوش تأثیر قرار می‌دهند.

یافته‌های پژوهش‌های علمی نشان می‌دهند که آلودگی خاک به طور مستقیم بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارد. خطرات سلامتی انسان از آلودگی ناشی از عناصری مانند آرسنیک، سرب و کادمیم، مواد شیمیایی آلی از قبیل PCBها (انواع ایزومرهای کلردار بی‌فنیل^۵) PAHها (هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای^۶) و مواد دارویی مانند آنتی-بیوتیک‌ها می‌باشد. خطرات بهداشتی مرتبط با آلودگی گسترده خاک توسط رادیونوکلئیدهای فاجعه چرنوبیل در سال ۱۹۸۶، خاطره‌ای فراموش‌ناشدنی برای بسیاری از مردم است.

¹ "soil pollution"

² Status of the World's Soil Resources

³ United Nations Environmental Assembly

⁴ eutrophication

⁵ polychlorinated biphenyls

⁶ polycyclic aromatic hydrocarbons

اصلاح خاک‌های آلوده ضرورتی حیاتی است و پژوهش‌ها برای ابداع روش‌های نوین دانش‌محور، همچنان ادامه دارند. رویکردهای ارزیابی احتمال خطر⁷ در سراسر جهان مشابه هستند و عبارتند از یک سری از مراحل برای شناسایی و ارزیابی این که آیا مواد طبیعی یا انسان-پدید مسئول آلودگی خاک هستند و تعیین شدتی از آلودگی که منجر به خطر آفرینی برای محیط‌زیست و سلامتی انسان می‌گردد یا نه. روش‌های اصلاح پرهزینه مانند غیرفعال‌سازی شیمیایی⁸ یا تجزیه⁹ در محل‌های دفن زباله با روش‌های بیولوژیکی دانش‌محور از جمله تجزیه میکروبی¹⁰ و یا پالایش‌سبز¹¹ جایگزین شده‌اند.

پیشنهاد منشور جهانی خاک¹² تجدید نظر شده فائو این است که دولت‌ها مقررات مربوط به آلودگی خاک را اجرا نموده و مانع انباشت آلاینده‌ها در مقادیری فراتر از حد مجاز شوند تا سلامتی و رفاه انسان، سلامت محیط‌زیست و سلامت غذا تضمین گردد. دولت‌ها نیز خواستار تسهیل اصلاح خاک‌های آلوده‌ای هستند که آلودگی آنها به بیش از حد تعیین شده برای تضمین سلامت انسان و محیط‌زیست رسیده است. همچنین لازم است آلودگی ناشی از منابع کشاورزی از طریق اجرای جهانی اقدامات مدیریت پایدار خاک، محدود گردد.

هدف این کتاب ارائه خلاصه‌ای از آخرین وضعیت آلودگی خاک و شناسایی آلودگی‌های اصلی و منابع آنها که بر سلامت انسان و محیط‌زیست تأثیر می‌نهند و با تأکیدی ویژه بر آلودگی‌های موجود در نظام‌های کشاورزی که از طریق زنجیره غذایی به انسان می‌رسند، می‌باشد. این کتاب با ارائه برخی مطالعات موردی از بهترین فنون موجود برای ارزیابی و اصلاح خاک‌های آلوده پایان می‌پذیرد.

این کتاب در چارچوب سمپوزیوم جهانی آلودگی خاک (GSOP18)¹³ و با هدف شناسایی کاستی‌های اصلی در دانش آلودگی خاک در سرتاسر جهان و استفاده از آن به عنوان مبنایی برای بحث‌های آینده تهیه شده است.

7 Risk assessment

8 chemical inactivation

9 sequestration

¹⁰ microbial degradation

¹¹ phytoremediation

¹² *World Soil Charter*

¹³ Global Symposium on Soil Pollution (GSOP18)

واژه‌نامه

آلاینده^۴: ماده یا عامل وارد شده به خاک در اثر فعالیت انسان (ISO, ۲۰۱۳).

آبشویی^۵: انحلال و انتقال مواد حل شده توسط آب (ISO, ۲۰۱۳).

مواد مادری^۶: مواد اولیه (معدنی و/یا آلی) که خاک از طریق فرایندهای خاک‌سازی^۷ از آن تشکیل می‌شود.

آلاینده آلی پایدار (POP)^۸: ترکیبات مصنوعی پایه کربنی حاصل از مواد شیموکشاورزی^۹ و فراورده‌های صنعتی که عموماً زیست‌تجزیه‌پذیری بسیار ضعیفی دارند و بخش عمده آنها در بافت‌های موجودات زنده انباشته می‌شوند. برخی از آفت‌کش‌ها جزو آلاینده‌های آلی پایدار هستند، از جمله پلی‌کلرو دی‌بنزودیوکسین‌ها^{۱۰} (PCDDs)، پلی‌کلرو دی‌بنزوفوران‌ها^{۱۱} (PCDFs)، انواع ایزومرهای کلردار بی‌فنیل (PCBs)^{۱۲} و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)^{۱۳}.

خاک^{۱۴}: لایه بالایی پوسته زمین که به واسطه هوازدگی فرایندهای و فیزیکی / شیمیایی و زیستی تغییر شکل یافته است. خاک شامل ذرات معدنی، مواد آلی، آب، هوا و موجودات زنده است که در قالب افق‌های ژنتیکی مرتب شده‌اند (ISO, ۲۰۱۳).

کارکردهای اکوسیستمی خاک^{۱۵}: تشریح اهمیت خاک برای انسان و محیط‌زیست. مثال‌هایی از این کارکردها عبارتند از: (۱) کنترل چرخه ماده و انرژی در اکوسیستم‌ها؛ (۲) زیربنایی برای زندگی گیاهان، حیوانات و انسان؛ (۳) شالوده پایداری سازه‌ها و جاده‌ها؛ (۴) زیرساخت برای کشاورزی و جنگل‌داری؛ (۵) حامل اندوخته ژنتیکی؛ (۶) سند تاریخ طبیعی؛ و (۷) سند باستان‌شناسی و دیرینه‌شناسی زمین‌شناختی (ISO, ۲۰۱۳).

سلامت خاک^{۱۶}: ظرفیت پیوسته خاک در انجام وظیفه به عنوان یک سیستم زنده حیاتی، در مرزهای محیط‌زیست و کاربری اراضی، برای حفظ بهره‌وری زیستی، ارتقاء کیفیت محیط‌های هوا و آب، حفظ سلامتی گیاهان، حیوانات و انسان (Doran و همکاران، ۲۰۰۲).

خدمات اکوسیستمی خاک^{۱۷}: ظرفیت فرایندهای طبیعی و اجزای سازنده برای تامین کالاها و خدماتی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم نیازهای انسانی را برآورده می‌کنند (Groot, ۱۹۹۲).

امنیت غذایی^{۱۸}: به عنوان فراهمی، دسترس‌پذیری، به کارگیری و پایداری عرضه مواد غذایی تعریف شده است. آلاینده خاک^{۱۹}: زمانی رخ می‌دهد که غلظت یک عنصر شیمیایی یا یک ماده بالاتر از حد طبیعی باشد، اما لزوماً سبب آسیب نشود (در این کتاب).

آلودگی خاک^{۲۰}: اشاره به حضور یک عنصر شیمیایی یا ماده در خاک در جایی که نباید باشد و/یا حضور در مقداری فراتر از غلظت نرمال که پیامدهایی نامطلوب بر روی هر موجود زنده غیر-هدف داشته باشد (در این کتاب).

¹⁴ Contaminant

¹⁵ Leaching

¹⁶ Parent material

¹⁷ pedogenetic

¹⁸ Persistent organic pollutant (POP)

¹⁹ agrochemicals

²⁰ Polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs)

²¹ Polychlorinated dibenzofurans (PCDFs)

²² polychlorinated biphenyls (PCBs)

²³ polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

²⁴ Soil

²⁵ Soil ecosystem functions

²⁶ Soil health

²⁷ Soil ecosystem services

²⁸ Food security

²⁹ Soil contamination

³⁰ Soil pollution

گفتار ۱

آلودگی خاک چیست؟

۱-۱- مقدمه

«آلودگی خاک»^{۳۱} به حضور یک عنصر شیمیایی یا ماده در خاک اشاره دارد که در جایی که نباید باشد و/یا در مقداری فراتر از غلظت نرمال حضور دارد و بر روی هر موجود زنده غیرهدف تأثیراتی نامطلوب می‌گذارد (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). اکثر آلاینده‌ها منشأ انسان‌پدید دارند، با این حال برخی از آلاینده‌ها می‌توانند به صورت طبیعی به عنوان جزئی از ساختار کانی‌ها در خاک‌ها حضور داشته و در غلظت‌های بالا سمی باشند. آلودگی خاک را اغلب نمی‌توان مستقیماً ارزیابی نمود یا به صورت بصری تشخیص داد، از این رو خطری پنهان است.

گوناگونی آلاینده‌ها به دلیل توسعه مداوم مواد شیموکشاورزی و صنعتی در حال گسترش است. این تنوع و تبدیل ترکیبات آلی در خاک‌ها به متابولیت‌های گوناگون توسط فعالیت‌های زیستی، منجر به دشواری و پرهزینه بودن شناسایی آلاینده‌ها می‌شود. پیامدهای آلودگی خاک به ویژگی‌های خاک نیز وابسته است، زیرا این ویژگی‌ها بر تحرک، زیست‌فراهمی و زمان اقامت آلاینده‌ها تأثیر می‌گذارند (FAO و ITPS، ۲۰۱۵).

صنعتی شدن، جنگ، استخراج معادن و تشدید کشاورزی، آلودگی خاک‌ها را در سراسر جهان به ارمغان آورده است (Bundschuh و همکاران، ۲۰۱۲؛ DEA، ۲۰۱۰؛ EEA، ۲۰۱۴؛ Luo و همکاران، ۲۰۰۹؛ SSR، ۲۰۱۰). از آغاز توسعه شهری، از خاک به عنوان مخزنی برای تخلیه ضایعات جامد و مایع استفاده شده است. چنین پنداشته شده است که آلاینده‌ها به محض دفن شدن در خاک و دور شدن از نظر، هیچ گونه خطری برای سلامتی انسان یا محیط زیست ایجاد نمی‌کنند و در خاک به نحوی از بین می‌روند (Swartjes و همکاران، ۲۰۱۱). منابع اصلی آلودگی خاک، انسان-پدید می‌باشند که منجر به انباشت آلاینده‌ها در خاک و رسیدن به سطوح نگران‌کننده می‌شود. (Cachada و همکاران، ۲۰۱۸).

آلودگی خاک مسئله‌ای نگران‌کننده است. آلودگی خاک عنوان سومین تهدید مهم برای کارکردهای خاک در اروپا و اوراسیا، چهارمین تهدید در شمال آفریقا، پنجمین تهدید در آسیا، هفتمین تهدید در شمال غربی اقیانوس آرام، هشتمین تهدید در آمریکای شمالی و نهمین تهدید در کشورهای جنوب صحرای آفریقا و آمریکای لاتین شناخته شده است (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). بر اساس سامانه جهانی منابع خاک (SWSR)، حضور برخی از آلاینده‌ها ممکن است به عدم تعادل عناصر غذایی و اسیدی شدن خاک منجر شود که دو موضوع اصلی در بسیاری از نقاط جهان می‌باشند (FAO و ITPS، ۲۰۱۵).

برآورد منحصر به فرد جهانی آلودگی خاک در دهه ۱۹۹۰ توسط مرکز بین المللی مرجع و اطلاعات خاک (ISRIC)^{۳۲} و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد (UNEP)^{۳۳} انجام شد که بر اساس این برآوردها، ۲۲ میلیون هکتار تحت تأثیر آلودگی خاک قرار گرفته‌اند (Oldeman، ۱۹۹۱). با این حال، آخرین اطلاعات نشان می‌دهند که این رقم

³¹ "soil pollution"

³² International Soil Reference and Information Centre

³³ United Nations Environment Programme

ممکن است ماهیت و وسعت این مشکلات را کم‌تر از واقعیت برآورد کند. تلاش‌های ملی برای برآورد میزان آلودگی خاک به طور عمده در کشورهای توسعه یافته صورت گرفته است. بر اساس گزارشات وزارت حفاظت محیط‌زیست چین^{۳۴}، ۱۶ درصد از کل خاک‌های چین و ۱۹ درصد از خاک‌های کشاورزی این کشور به عنوان خاک‌های آلوده طبقه‌بندی شده‌اند (CCICED، ۲۰۱۵). همچنین حدود ۳ میلیون مکان بالقوه آلوده در منطقه اقتصادی اروپا و کشورهای همکار در بالکان غربی (EEA-39) وجود دارند (EEA، ۲۰۱۴) و بیش از ۱۳۰۰ مکان آلوده یا بالقوه آلوده در ایالات متحده آمریکا (USA) در فهرست اولویت‌های ملی بودجه حذف انباشته‌های مواد سمی^{۳۵} قرار دارند (US EPA، ۲۰۱۳). تعداد کل مکان‌های آلوده در سراسر استرالیا ۸۰،۰۰۰ برآورد شده است (DESA، ۲۰۱۰). در حالی که این اعداد اطلاعاتی برای درک پیامدهای فعالیت‌های خاص بر خاک فراهم می‌کنند، گستره کامل آلودگی خاک را در سراسر جهان نشان نمی‌دهند و ناکافی بودن اطلاعات موجود و تفاوت در ثبت مکان‌های آلوده را در مناطق مختلف جغرافیایی به تصویر می‌کشند (Panagiotakis و Dermats، ۲۰۱۵). در کشورهایی با درآمد کم و متوسط، فقدان داده و اطلاعات، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جهانی را از دید جامعه بین‌المللی پنهان نگاه می‌دارد. با این نگاه کلی، نیاز فوری به ارزیابی جهانی آلودگی خاک آشکار می‌گردد.

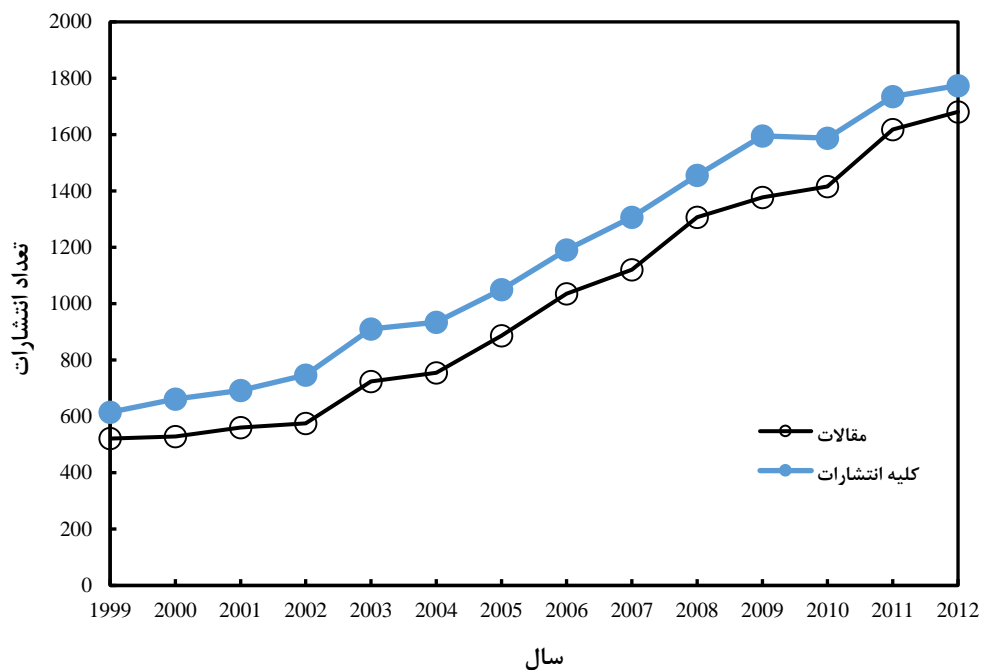
خوشبختانه آگاهی در مورد اهمیت آلودگی خاک در سراسر جهان در حال افزایش است که منجر به افزایش پژوهش‌ها در مورد ارزیابی و پالایش آلودگی خاک شده است (شکل ۱). پیشنهاد منشور جهانی خاک^{۳۶} تجدید نظر شده (FAO، ۲۰۱۵b) این است که دولت‌های ملی مقررات مربوط به آلودگی خاک را اجرا نمایند و مانع انباشت آلاینده‌ها در مقادیری فراتر از حد مجاز شوند تا سلامت و رفاه انسان تضمین گردد. دولت‌ها نیز خواستار تسهیل اصلاح خاک‌های آلوده‌ای هستند که آلودگی آنها به بیش از حد تعیین شده برای حفاظت از سلامت انسان و محیط‌زیست رسیده است. آلودگی خاک جایگاهی مرکزی در پنجمین نشست علنی مشارکت جهانی خاک (GSP)^{۳۷} یافته است (GSP، ۲۰۱۷).

³⁴ Chinese Environmental Protection Ministry

³⁵ Superfund National Priorities List

³⁶ World Soil Charter

³⁷ Fifth Global Soil Partnership (GSP) Plenary Assembly



شکل ۱- تعداد انتشارات علمی در زمینه آلودگی خاک در بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۹۹. منبع: Guo و همکاران، ۲۰۱۴.

اخیراً مجمع محیط‌زیست سازمان ملل متحد^{۳۸} (UNEA-3) با صدور قطعنامه‌ای خواستار اقدامات سریع و همکاری برای حل و مدیریت آلودگی خاک در چارچوب توسعه پایدار شده است. این توافق که با بیش از ۱۷۰ کشور به دست آمده است، نشانه‌ای روشن از اهمیت جهانی آلودگی خاک و تمایل این کشورها برای یافتن راه‌حل‌هایی مناسب جهت رسیدگی به مشکلات آلودگی است (UNEP، ۲۰۱۸). در سطح ملی، بسیاری از کشورها در سراسر جهان قوانین ملی برای حفاظت از خاک، جلوگیری از آلودگی و رسیدگی به مشکلات تاریخی آلودگی مصوب نموده یا در حال حاضر تصویب هستند. در دوران ریاست استونی بر شورای اتحادیه اروپا در نیمه دوم سال ۲۰۱۷، خاک به یکی از موضوعات محوری در بحث‌های اروپایی‌ها تبدیل شد که تمرکز آن بر نقش کلیدی خاک در تولید مواد غذایی بود. در چین طی چند سال گذشته، نگرانی‌های آلودگی خاک به دلیل ارتباط مستقیم با سلامت انسان افزایش یافته است. اخیراً سایر کشورهای در حال توسعه نیز مقرراتی برای جلوگیری و کنترل آلودگی خاک و تعیین کیفیت خاک اتخاذ کرده‌اند (Conselho Nacional do Meio Ambiente، ۲۰۰۹؛ MINAM، ۲۰۱۷، MMA، ۲۰۱۳).

اصطلاح «آلایش خاک»^{۳۹} اغلب مترادف با آلودگی خاک به کار می‌رود. پانل فنی بین‌الدول خاک (ITPS)^{۴۰} تحت مشارکت جهانی خاک (GSP) تعاریف این دو اصطلاح را رسمی کرده‌اند (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). آلایش خاک زمانی رخ می‌دهد که غلظت یک عنصر شیمیایی یا یک ماده بالاتر از حد طبیعی باشد اما لزوماً سبب آسیب نشود. از سوی دیگر، آلودگی خاک به حضور یک عنصر شیمیایی یا ماده در خاک اشاره دارد که در جایی که نباید باشد، هست و/یا در مقداری فراتر از غلظت نرمال حضور دارد که تأثیراتی نامطلوب بر روی هر موجود زنده غیر-هدف می‌گذارد. یکی از مسائل، دشواری در تعریف «غلظت‌های نرمال» می‌باشد. تعیین غلظت خطرناک برای مواد انسان‌پدید که در خاک به طور طبیعی وجود ندارند، آسان‌تر است، اما برای فلزات سنگین و شبه‌فلزاتی که از هوازدگی سنگ‌ها و کانی‌ها حاصل می‌شوند، می‌تواند دشوار باشد. در این مورد، باید پیش از تعیین حد آستانه به مواد مادری، اقلیم و میزان هوازدگی

³⁸ United Nations Environmental Assembly

³⁹ soil contamination

⁴⁰ Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS)

توجه شود. افزون بر این، کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت می‌تواند سطوح زمینه مواد موجود در خاک را تحت تأثیر قرار دهد.

در مورد سطوح توصیه‌شده، نه تنها در مورد خود مقادیر، بلکه در اصطلاح علمی که برای تعریف آن به کار می‌رود، نیز تفاوت‌های زیادی در میان کشورها و مناطق مختلف وجود دارد، از جمله مقادیر غربالگری^{۴۱}، مقادیر آستانه^{۴۲}، غلظت‌های قابل قبول^{۴۳}، مقادیر هدف^{۴۴}، مقادیر اقدام^{۴۵}، مقادیر پاکسازی^{۴۶} و بسیاری دیگر (Beyer، ۱۹۹۰؛ Carlon و همکاران، ۲۰۰۷؛ Jenning، ۲۰۱۳). به همین دلیل، انجام مطالعه‌ای جهانی در مورد وضعیت واقعی آلودگی خاک و امکان مقایسه آن‌ها بسیار پیچیده است. با این حال، این یکی از چالش‌های اصلی در ارزیابی منطقه‌ای یا جهانی آلودگی خاک می‌باشد.

همگرایی دانشمندان در مفاهیم و تعاریف، به سیاست‌گذاران و ذی‌نفعان در شناسایی انواع راهبردها و فنون مورد استفاده در نقاط مختلف جهان برای ارزیابی و رسیدگی به آلودگی خاک کمک خواهد نمود. استفاده از زبانی مشترک و ساده، به درک بهتر مسئله آلودگی خاک نیز منجر می‌شود.

۲-۱. آلودگی نقطه‌ای و غیرمتمرکز خاک

همان‌گونه که ذکر شد، آلودگی خاک می‌تواند ناشی از فعالیت‌های خواسته و ناخواسته باشد. این فعالیت‌ها می‌توانند شامل نهشته‌شدن مستقیم آلاینده‌ها به خاک و همچنین فرایندهای پیچیده محیطی باشند که به آلودگی غیرمستقیم خاک از طریق آب و یا رسوب جوی منجر می‌شوند (Tarazona، ۲۰۱۴). در بخش‌های زیر انواع گوناگون آلودگی خاک شرح داده شده است.

۱-۲-۱. آلودگی نقطه‌ای^{۴۷}

آلودگی خاک می‌تواند ناشی از یک رویداد ویژه یا یک سری رویدادها در ناحیه‌ای خاص باشد که در آن آلاینده‌ها به خاک رها شده و منبع و نوع آلودگی به راحتی شناسایی می‌شوند. این نوع آلودگی، به عنوان آلودگی نقطه‌ای شناخته شده است. فعالیت‌های انسان‌پدید جزو منابع اصلی آلودگی نقطه‌ای می‌باشند. نمونه‌هایی از این نوع شامل مکان‌های سابق کارخانه‌ها، دفع نامناسب زباله و پساب، محل‌های کنترل‌نشده دفن زباله، استفاده بیش از حد از مواد شیمیوکشاورزی، نشت مواد مختلف و بسیاری موارد دیگر است. فعالیت‌هایی مانند استخراج معدن و ذوب، که با استفاده از استانداردهای ضعیف زیست‌محیطی انجام می‌شوند، نیز از منابع آلودگی فلزات سنگین در بسیاری از نقاط جهان هستند (Lu و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mackay و همکاران، ۲۰۱۳؛ Podolsky و همکاران، ۲۰۱۵؛ Strzebonska و همکاران، ۲۰۱۷). سایر نمونه‌های آلودگی نقطه‌ای عبارتند از: هیدروکربن‌های آروماتیک و فلزات سمی که در ارتباط با محصولات نفتی می‌باشند. این مکان‌ها از نشت تأسیسات مخزن در گرینلند که به سطوحی از هیدروکربن‌های آروماتیک و فلزات

41 screening values
42 threshold values
43 acceptable concentrations
44 target values
45 intervention values
46 clean-up values
47 point-source pollution

سمی فراتر از شاخص کیفیت زیست‌محیطی دانمارک (Fritt-Rasmussen و همکاران، ۲۰۱۲) منجر شد تا نشت تصادفی از مخازن ذخیره‌سازی پالایشگاه نفت در تهران (Bayat و همکاران، ۲۰۱۶) متغیر است. آلودگی نقطه‌ای در مناطق شهری بسیار رایج است. خاک‌های نزدیک به جاده‌ها دارای سطوح بالایی از فلزات سنگین، هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و سایر آلاینده‌ها هستند (Kim و همکاران، ۲۰۱۷؛ Kumar و Kothiyal، ۲۰۱۶؛ Venuti و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۵). محل‌های قدیمی یا غیرقانونی دفن زباله‌ها که در آن زباله‌ها به‌درستی یا بر اساس سمیت آنها (مانند باتری‌ها یا زباله‌های رادیواکتیو) دفع نمی‌شوند و همچنین دفع لجن فاضلاب و پساب، نیز می‌تواند از مهم‌ترین آلاینده‌های نقطه‌ای به شمار آیند (Baderna و همکاران، ۲۰۱۱؛ Sikorski و Bauman- Kaszubska، ۲۰۰۹؛ Swati و همکاران، ۲۰۱۴). درنهایت، آلودگی ناشی از فعالیت‌های صنعتی می‌تواند سلامت انسان را تهدید کند. برای نمونه، در حال حاضر بیش از ۵،۰۰۰ زمین متروکه^{۴۸} در چین، بر سلامت ساکنان آنها تأثیر می‌گذارد (Yang و همکاران، ۲۰۱۴). زمین‌های متروکه شهری که در مراکز شهر واقع شده‌اند، مکان‌هایی هستند که زمانی تحت فعالیت‌های صنعتی بوده‌اند و اکنون به جای دیگر انتقال یافته‌اند.

۱-۲-۲. آلودگی غیرمتمرکز

آلودگی غیرمتمرکز نوعی آلودگی است که در پهنه‌ای بسیار وسیع گسترش یافته باشد، در خاک تجمع یابد و منبع واحد، یا منبعی که به آسانی قابل تعیین باشد، ندارد. آلودگی غیرمتمرکز ناشی از انتشار، تبدیل و رقت آلاینده‌ها در سایر محیط‌ها پیش از انتقال آنها به خاک است (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). آلودگی غیرمتمرکز شامل انتقال آلاینده‌ها از طریق سیستم‌های هوا-خاک-آب می‌باشد. بنابراین، تجزیه و تحلیل‌های پیچیده این سه بخش به منظور ارزیابی مناسب این نوع آلودگی ضرورت دارد (Geissen و همکاران، ۲۰۱۵).

به همین دلیل، تجزیه و تحلیل آلودگی غیرمتمرکز دشوار است و ردیابی و مرزبندی مکانی آن می‌تواند دشوار باشد. بسیاری از آلاینده‌هایی که سبب آلودگی نقطه‌ای می‌شوند ممکن است در آلودگی غیرمتمرکز نیز دخیل باشند، زیرا شناخت درستی از سرنوشت آنها در محیط زیست وجود ندارد (Grathwohl و Halm، ۲۰۰۳). نمونه‌هایی از آلودگی غیرمتمرکز فراوان هستند و می‌توانند شامل منابعی از انرژی هسته‌ای و فعالیت‌های تسلیحاتی؛ دفع کنترل نشده زباله‌ها و فاضلاب‌های آلوده‌ای که درون آبریزها یا نزدیک آنها رها می‌شوند؛ افزودن لجن فاضلاب به اراضی؛ کاربرد آفت‌کش‌ها و کودهای حاوی فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی پایدار، عناصر غذایی اضافی و مواد شیمیوکشاورزی در کشاورزی که از طریق رواناب سطحی، رویدادهای سیل، انتقال و نهشت جوی و/یا فرسایش خاک به پایین دست انتقال می‌یابند؛ باشند (شکل ۲). آلودگی غیرمتمرکز تأثیر چشم‌گیری بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد، هرچند که شدت و گستردگی آن معمولاً ناشناخته است.

تحقیقات به خوبی نشان داده است که لایه‌های بالایی خاک سرشار از بسیاری از فلزات و سایر عناصری هستند که با نهشته‌های جوی حاصل از منابع طبیعی و انسان‌پدید ارتباط دارند (Blaser و همکاران، ۲۰۰۰؛ Steinnes و همکاران، ۱۹۹۷؛ Steinnes و همکاران، ۲۰۱۱). تقریباً همه خاک‌های نیمکره شمالی، حتی در مناطق دور افتاده آمریکای شمالی و آسیای شرقی، حاوی رادیونوکلئیدها در غلظت‌های بالاتری از سطح زمینه^{۴۹} می‌باشند. به دلیل فروریزش هسته‌ای پس از حادثه فاجعه‌بار چرنوبیل^{۵۰}، رادیونوکلئیدها برای قرن‌ها در خاک‌ها حضور خواهند داشت

⁴⁸ Brownfield

⁴⁹ background level
50 Chernobyl

(Fesenko و همکاران، ۲۰۰۷). برای رسیدن به کاهش ۵۰ درصدی رادیونوکلئید، مانند ^{241}Am یا $^{239/240}\text{Pu}$ در مناطق با فاصله بیش از ۲۰۰ کیلومتری از چرنوبیل، بیش از ۵۰ سال زمان مورد نیاز است.



به دلیل انواع گوناگون آلودگی‌ها حاصل از منابع مختلف، افزایش تلاش‌های علمی و فنی برای توسعه روش‌های جدید برای اندازه‌گیری، پایش و شناخت بهتر فرایندهای نهشت جوی و شدت آلودگی‌های غیرمتمرکز ضروری است.

۳-۱. منابع آلاینده‌های خاک

۱-۳-۱. منابع طبیعی، زمین‌زاد

در هنگام تعریف شدت آلودگی در مناطقی که قوانین زیست‌محیطی هنوز محدودیت‌های مداخله برای تمام معیارهای زیست‌محیطی ایجاد نکرده است، جدا کردن مقادیر زمینه از مقادیر مبنا^{۵۱} بسیار مهم و حیاتی است (Albanese و همکاران، ۲۰۰۷). مقادیر زمینه بیانگر مقدار طبیعی زمین‌زاد است، در حالی که مقادیر مبنا میزان واقعی یک عنصر در محیط‌زیست سطحی را در هر نقطه نشان می‌دهند (Reimann و همکاران، ۲۰۰۵؛ Salminen و Gregorauskiene، ۲۰۰۰).

غلظت‌های زمینه در خاک‌های یک منطقه به شدت به جزء پدو-ژئوشیمیایی^{۵۲} و دینامیک زیست‌محیطی ارتباط دارد که منجر به تشکیل آن خاک می‌شود. بنابراین استفاده از میانگین یا بازه‌های جهانی برای تعیین سطح زمینه در سطح منطقه‌ای یا محلی مناسب نیست (Horckmans و همکاران، ۲۰۰۵؛ Paye و همکاران، ۲۰۱۲). برای نمونه، مقدار فلزات سنگین در خاک‌ها، بسته به تغییرات طبیعی غلظت فلزات کمیاب در نوع سنگ مادری، ممکن است بیش از دو تا سه مرتبه متفاوت باشد (Shacklette و Boerngen، ۱۹۸۴).

⁵¹ baseline values

⁵² pedo-geochemical

برخی مواد مادری خاک، منبع طبیعی برخی فلزات سنگین و سایر عناصر مانند رادیونوکلیید هستند و اینها می‌توانند در غلظت‌های بالا، محیط زیست و سلامت انسان را در معرض خطر قرار دهند. آلودگی آرسنیک (As) یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی در سراسر جهان است. منابع طبیعی شامل فوران آتشفشانی (Albanese و همکاران، ۲۰۰۷) و هوازدگی کانی‌ها و سنگ معدن حاوی آرسنیک (Diez و همکاران، ۲۰۰۹)؛ و همچنین مناطق طبیعی معدنی آرسنوپیریت^{۵۳} (گوسان‌ها (کلاهدک آهکی)^{۵۴}) می‌باشند که در اثر هوازدگی سنگ حاوی سولفید تشکیل می‌شود (Scott و همکاران، ۲۰۰۱). بسیاری از این کانی‌ها تغییرات مکانی بالایی دارند و بسیاری از آنها در غلظت‌های بالاتر در لایه‌های عمقی یافت می‌شوند (Li و همکاران، ۲۰۱۷). با این حال، آرسنیک زمانی که از منابع طبیعی نشأت گرفته باشد؛ دسترس‌پذیری زیستی^{۵۵} اندکی دارد (Juhász و همکاران، ۲۰۰۷).

خاک‌ها و سنگ‌ها منابع طبیعی گاز رادیواکتیو رادون^{۵۶} (Rn) نیز هستند. پخشیدگی رادون از لایه‌های عمقی به سطحی، تا حدی توسط ساختمان خاک و تخلخل آن کنترل می‌شود (Hafez و Awad، ۲۰۱۶). رادیواکتیویته طبیعی بالا در سنگ‌های آذرین اسیدی، به‌ویژه در سنگ‌های غنی از فلدسپار و سنگ‌های غنی از ایلیت متداول است (Blume و همکاران، ۲۰۱۶). Gregoric و همکاران انتشار بالاتری از رادون را از خاک‌های حاوی کربنات‌ها نسبت به سایر خاک‌ها یا سنگ‌ها گزارش کردند (Gregoric و همکاران، ۲۰۱۳). داده‌های مرجع برای سایر رادیونوکلییدهای طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

حوادث طبیعی مانند فوران آتشفشان یا آتش‌سوزی جنگل، در صورت رهاسازی بسیاری از عناصر سمی در محیط-زیست، می‌توانند سبب آلودگی طبیعی شوند. این عناصر سمی شامل ترکیبات شبه-دیوکسین^{۵۷} (Deardorff و همکاران، ۲۰۰۸) و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای^{۵۸} (PAHs) می‌باشند. سطح بالای فلزات سنگین در خاک-های آتشفشانی در رونیون^{۵۹} شناسایی شده است که می‌تواند در ارتباط با فعالیت شدید آتشفشانی، عمدتاً جیوه (Hg)، یا هوازدگی مواد مادری که در آنها مقادیر بالای کروم (Cr)، مس (Cu)، نیکل (Ni) و روی (Zn) با منشأ طبیعی پدو-ژئوشیمیایی^{۶۰} وجود دارد، باشد (Drnisch و همکاران، ۲۰۰۶). مقادیر بالای کروم و نیکل در خاک‌های آتشفشانی اندونزی نیز گزارش شده است که منشأ پدو-ژئوشیمیایی دارند (Anda، ۲۰۱۲). با این حال، معمولاً این آلودگی طبیعی به‌دلیل توانایی احیاکنندگی و توانایی سازگاری گیاهان، منجر به مشکلات زیست‌محیطی نمی‌شود (Kim و همکاران، ۲۰۱۱). مشکلات زمانی به وجود می‌آیند که اکوسیستم‌ها تحت فشارهایی خارجی قرار گیرند، که برگشت‌پذیری و توانایی پاسخ آنها را تغییر می‌دهند.

جدول ۱- فعالیت ویژه رادیونوکلییدهای طبیعی در سنگ‌ها و خاک‌ها (بر حسب Bq kg^{-1})^{*}، منبع Blume و همکاران، (۲۰۱۶).

سنگ/خاک	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
ماسه سنگ ^{۶۱}	۴۶۱	۳۵	۴

⁵³ arsenopyrite

⁵⁴ gossans

⁵⁵ bioaccessible

⁵⁶ Radon

⁵⁷ dioxin-like compounds

⁵⁸ polycyclic aromatic hydrocarbons

⁵⁹ Reunion

⁶⁰ pedo-geochemical

⁶¹ Sandstones

۴۱	n.d.	۸۷۶	سنگ رس ^{۶۲}
۶۰	۳۰۰۰	۱۰۰۰	شیست ^{۶۳} (فرانکونیا ^{۶۴})
۵	۱۰	۹۷	کربنات‌ها
۵۲	۳۷	۹۹۷	سنگ‌های آذرین اسیدی
۸	۱۰>	۱۸۷	سنگ‌های آذرین بازی
۵۴	۴۱	تعیین نشده است	خاک‌های لسی ^{۶۵}
۳۸-۷۲	۶۵-۷۵	~۱۱۰۰	خاک‌های حاصل از گرانیت ^{۶۶}
۶۳-۷۰	۵۴-۵۶	~۳۰۰	خاک‌های حاصل از کوارتزیت ^{۶۷}
۵۰-۸۰	۴۰-۷۰	تعیین نشده است	خاک‌های حاصل از فیلیت ^{۶۸}

Bq* معیار بکرل شاخصی برای سنجش تخریب رادیواکتیو بر حسب تعداد اتم‌های متلاشی شده در هر ثانیه است (م).

هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای نیز می‌توانند به طور طبیعی در خاک یافت شوند. هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای معمولاً منشأ کیهانی دارند و در نمونه‌های گرد و غبار کیهانی و شهاب‌سنگ‌ها نسبتاً متداول هستند (Basile و همکاران، ۱۹۸۴؛ Li، ۲۰۰۹)، یا از فرایندهای دگرگونی دیاژنز یا سنگ‌زایی^{۶۹} و صمغ‌های^{۷۰} موجود در مواد آلی خاک حاصل می‌شوند (Trendel و همکاران، ۱۹۸۹). تولید زیستی PAHها در شرایط احیا تشدید می‌شود (Thiele و Brummer، ۲۰۰۲).

آزبست طبیعی^{۷۱} (NOA)، کانی‌هایی رشته‌ای هستند که به طور طبیعی در خاک‌هایی یافت می‌شود که از سنگ بسیار بازی^{۷۲}، به‌ویژه سرپانتین^{۷۳} و آمفیبول^{۷۴} تشکیل شده‌اند. تهدید اصلی NOA، استنشاق آن توسط انسان در فعالیت‌های استخراج می‌باشد، در حالی که حضور طبیعی آن در خاک، خطر ناچیزی برای محیط زیست دارد. با این حال، NOA به‌راحتی می‌تواند با فرسایش بادی پخش شده و تحرک آن به خصوصیات کانی‌های حاوی آزبست، ویژگی‌های خاک، رطوبت و شرایط آب و هوایی محلی بستگی دارد (Tromp و Swartjes، ۲۰۰۸). مشکلات زیست-محیطی ناشی از NOA زمانی افزایش می‌یابد که از خاک‌های نزدیک مناطق شهری آزاد می‌شوند، زیرا آزبست ماده‌ای سرطان‌زا است و از طریق استنشاق به تهدید سلامت انسان منجر می‌شود (Lee و همکاران، ۲۰۰۸).

⁶² Claystones

⁶³ Schist

⁶⁴ Franconia

⁶⁵ loess

⁶⁶ granite

⁶⁷ quartzite

⁶⁸ phyllite

⁶⁹ diagenetic

⁷⁰ waxes

⁷¹ Naturally occurring asbestos (NOA)

⁷² ultramafic

⁷³ serpentine

⁷⁴ amphibole

۱-۳-۲. منابع انسان پدید

تداوم قرن‌ها فعالیت‌های انسان پدید منجر به مشکل گسترده آلودگی خاک در سراسر جهان شده است (Bundschuh و همکاران، ۲۰۱۲؛ DEA، ۲۰۱۰؛ EEA، ۲۰۱۴؛ FAO و ITPS، ۲۰۱۵، Luo و همکاران، ۲۰۰۹؛ SSR، ۲۰۱۰). منابع اصلی انسان پدید آلودگی خاک، مواد شیمیایی مورد استفاده یا تولید شده به عنوان فرآورده‌های جانبی در فعالیت‌های صنعتی، زباله‌های خانگی و شهری، از جمله پساب، مواد شیموکشاورزی و فرآورده‌های مشتق از نفت هستند (شکل ۳). این مواد شیمیایی به طور تصادفی، برای نمونه در اثر نشت مواد نفتی و یا آبشویی از محل‌های دفن زباله و یا به طور عمدی، از جمله استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، آبیاری با پساب تصفیه نشده و یا افزودن لجن فاضلاب به اراضی، به محیط‌زیست راه می‌یابند.

۱-۳-۲-۱. فعالیت‌های صنعتی

دامنه انواع مواد شیمیایی مورد استفاده در فعالیت‌های صنعتی و همچنین تأثیر آنها بر محیط‌زیست گسترده است. فعالیت‌های صنعتی، آلاینده‌ها را به اتمسفر، آب و خاک رها می‌سازند. آلاینده‌های گازی و رادیونوکلئیدها به اتمسفر آزاد می‌شوند و می‌توانند به طور مستقیم از طریق باران اسیدی یا نهشته‌های اتمسفری وارد خاک شوند؛ اراضی صنعتی با قدمت ممکن است با انباشت نادرست مواد شیمیایی یا تخلیه مستقیم زباله‌ها در خاک آلوده شوند؛ آب و سایر مایعات مورد استفاده برای خنک‌سازی در نیروگاه‌های حرارتی و بسیاری از فرایندهای صنعتی دیگر ممکن است به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها برگردانده شوند و سبب آلودگی حرارتی و ورود فلزات سنگین و کلر شوند که بر زندگی آبزیان و سایر پیکره‌های آبی تأثیر می‌گذارد. حضور فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های انسان پدید نیز در مکان‌های صنعتی شایع است که می‌تواند ناشی از گرد و غبار و ریختن مواد خام، زباله‌ها، محصولات نهایی، خاکستر سوخت و آتش سوزی باشد (Alloway، ۲۰۱۳).



شکل ۳-۱ مسیره‌های بالقوه مرتبط با هم در آلودگی شیمیایی خاک-زیر سطح زمین. منبع: Yaron و همکاران، ۲۰۱۲

بر اساس دستورالعمل اروپا در مورد پیشگیری و کنترل یکپارچه آلودگی (IPPC)^{۷۵} (EC، ۱۹۹۶)، فعالیت‌های بالقوه آلوده‌کننده را می‌توانیم به شش گروه اصلی تقسیم کنیم: (۱) صنایع انرژی؛ (۲) تولید و فرآوری فلزات؛ (۳) صنایع معدنی؛ (۴) صنایع شیمیایی و تأسیسات شیمیایی؛ (۵) مدیریت زباله؛ و (۶) سایر فعالیت‌ها (شامل تولید کاغذ و تخته، تولید الیاف یا منسوجات، دباغی چرم و پوست، کشتارگاه‌ها، پرورش متمرکز طیور و خوک، تأسیسات مرتبط با حلال‌های آلی و تولید کربن یا گرافیت (Garcia-Perez و همکاران، ۲۰۰۷).

شور شدن^{۷۶}، به عنوان یک تهدید بزرگ دیگر برای خاک‌های جهان، بر روی بسیاری از خاک‌های پیرامون برخی فعالیت‌های صنعتی خاص تأثیر می‌گذارد، که عمدتاً مرتبط با کلر-قلیایی، منسوجات، شیشه، تولید لاستیک، دباغی پوست و چرم حیوانات، فرآوری فلزات، صنایع دارویی، حفاری نفت و گاز، تولید رنگدانه، تولید سرامیک و تولید صابون و مواد شوینده می‌باشد (Saha و همکاران، ۲۰۱۷).

۱-۳-۲- استخراج معدن

استخراج معدن از زمان‌های قدیم تاکنون بر خاک، آب و زیستگاه تأثیر زیادی داشته است (FAO و ITPS، ۲۰۱۵). بسیاری از نمونه‌های مستند از خاک‌های بسیار آلوده مرتبط با فعالیت‌های استخراج معدن را می‌توان در سراسر جهان یافت (Alloway، ۲۰۱۳).

⁷⁵ integrated pollution prevention and control (IPPC)

⁷⁶ Salinization

ذوب فلز برای جدا کردن کانی‌ها منجر به ورود بسیاری از آلاینده‌ها به خاک شده است. تسهیلات استخراج معدن و ذوب، مقادیر زیادی از فلزات سنگین و سایر عناصر سمی را به محیط‌زیست رها می‌سازند که تا مدت‌های طولانی و پس از پایان این فعالیت‌ها باقی می‌مانند (Ogundele و همکاران، ۲۰۱۷).

زباله‌های سمی معادن در دنباله معادن باقی می‌مانند که عمدتاً از ذرات ریز تشکیل شده‌اند و ممکن است غلظت‌های مختلفی از فلزات سنگین را در خود داشته باشند. این ذرات آلوده می‌توانند توسط فرسایش بادی و آبی پراکنده شده و گاهی اوقات به خاک‌های کشاورزی راه یابند. برای نمونه، Mileusnic و همکاران سطوح بالای سرب و مس را در مزارع کشاورزی واقع در نزدیکی سدهای باطله^{۷۷} در نامیبیا^{۷۸} گزارش کردند (Mileusnic و همکاران، ۲۰۱۴). غلظت‌های سمی کروم و نیکل نیز در خاک‌های کشاورزی در نزدیکی زباله‌های معدنی حاوی مقادیر بالای کروم-آزبست در هند و در گیاهانی که در این خاک‌ها رشد می‌کنند، مشاهده شد که به تهدید زیاد سلامت انسان و دام منجر شده است (Maiti و Kumar، ۲۰۱۵).

کاربرد سنگ‌های فسفات (که به طور طبیعی غنی از مواد رادیواکتیو هستند) در تولید کودها، منجر به تولید فراورده‌های جانبی بنام فسفوژنپسم^{۷۹} می‌شود که تقریباً ۸۰ درصد از خاصیت رادیواکتیویته اصلی خود را به‌دلیل تخریب فراورده‌های ^{238}U از جمله رادون، ^{226}Ra و پولونیم، ^{210}Po حفظ می‌کند. این صنایع، منبع آلودگی رادیواکتیو تولید می‌کنند که تهدیدی برای اکوسیستم‌ها و موجودات زنده پیرامون می‌باشد (Bolivar و همکاران، ۱۹۹۵). آلودگی نقطه‌ای چشم‌گیری در خاک در اثر نشت نفت خام و شورابه ناشی از استخراج نفت و گاز رخ می‌دهد. شورابه‌ها دارای سطوح بالای شوری هستند و می‌توانند حاوی عناصر کمیاب سمی و مواد طبیعی رادیواکتیو باشند. نشت شورابه گسترده است: برای نمونه، Lauer و همکاران اظهار داشتند که از سال ۲۰۰۷ حدود ۳،۹۰۰ بار نشت شورابه مرتبط با تولید غیرمعمول نفت و گاز (از جمله استحصال گاز طبیعی^{۸۰}) از ناحیه باکان^{۸۱} واقع در داکوتای شمالی^{۸۲} وجود داشته است (Lauer و همکاران، ۲۰۱۶). نشت نفت خام از محل چاه‌ها و از خطوط لوله نیز منبع اصلی آلودگی خاک در مناطق تولید نفت است.

۱-۳-۲-۳. تأسیسات شهری و حمل و نقل

توسعه گسترده تأسیساتی مانند مسکن، جاده‌ها و راه‌آهن به طور چشم‌گیری در تخریب محیط‌زیست نقش داشته است. آشکارترین پیامدهای منفی این تأسیسات بر خاک، سله‌بندی خاک و اشغال اراضی است. به غیر از این تهدیدات آشکار خاک، یکی دیگر از تأثیرات عمده فعالیت‌های تأسیساتی ورود آلاینده‌های مختلف به سیستم خاک است. هر چند که این یک تهدید اصلی است، آلودگی خاک در اثر فعالیت‌های تأسیساتی از نظر برنامه‌ریزی و ارزیابی تأثیر آن بسیار کم اهمیت تلقی شده است.

فعالیت‌های مرتبط با حمل و نقل در داخل و اطراف مراکز شهری، یکی از منابع اصلی آلودگی خاک هستند، نه تنها به‌دلیل انتشار گازهای موتورهای احتراق داخلی که از فاصله بیش از ۱۰۰ متر در اثر نهشته‌های اتمسفری و نشت بنزین به خاک می‌رسند، بلکه در اثر فعالیت‌ها و تغییراتی که به گونه کلی از آنها ناشی می‌شوند (Mirsal، ۲۰۰۸). پاشیدگی آب توسط ماشین‌ها در حین بارندگی و رواناب، که ممکن است در صورت عدم زهکشی خوب مهم باشند، ممکن است به حمل ذرات غنی از فلزات سنگین ناشی از خوردگی قطعات فلزی خودرو، لاستیک‌ها و ساییدگی آسفالت

⁷⁷ tailings dam

⁷⁸ Namibia

⁷⁹ phosphogypsum

⁸⁰ fracking

⁸¹ Bakken

⁸² North Dakota

(Alfonsi و همکاران، ۲۰۱۶؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۵b) و سایر آلاینده‌ها مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه-ای، ترکیبات ناشی از لاستیک و قطعات پلاستیکی خودرو منجر شود (Kothiyal و Kumar، ۲۰۱۶؛ Wawer و همکاران، ۲۰۱۵). آلودگی خاک مرتبط با جاده‌ها و بزرگراه‌ها به‌ویژه در خاک‌های شهری و برون‌شهری بسیار مهم است و زمانی که تولید مواد غذایی در مناطق پیرامون شهرها رخ می‌دهد، می‌تواند تهدیدی عمده باشد. نهشته شدن بر روی برگ‌ها و جذب از طریق ریشه و انتقال فلزات سنگین زیست‌فراهم به بافت‌های روزمینی، فرایندهای اصلی مشاهده‌شده در خاک کنار جاده‌ای می‌باشند (Hashim و همکاران، ۲۰۱۷؛ Kim و همکاران، ۲۰۱۷؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۵b). چرای دام در خاک‌های کنار جاده نیز بسیار معمول است و مصرف خاک و گیاهان آلوده سبب انتقال مواد آلاینده می‌شود که بر سلامت حیوانات و انسان تأثیر می‌گذارد (Cruz و همکاران، ۲۰۱۴).

منبع موروثی اصلی آلودگی خاک مرتبط با حمل و نقل، آلودگی سربی خاک‌ها در اثر استفاده از بنزین حاوی سرب می‌باشد. Mielke و Reagan در پژوهشی گزارش نمودند که بیش از ۱۰ میلیون تن سرب از طریق ناوگان حمل و نقل موتوری به محیط‌زیست راه می‌یابد، که حدود ۵/۹ میلیون تن آن تنها در ایالات متحده آمریکا رخ می‌دهد (Mielke و Reagan، ۱۹۹۸). آلودگی سربی خاک در اطراف جاده‌ها تجمع می‌یابد و به‌ویژه در مناطق مرکزی شهرها غلظت بالایی دارد.

دفع زباله شهری در محل‌های دفن زباله، دفع غیرقانونی یا قانونی و تصفیه نشده پساب در محیط‌زیست منبع مهمی از فلزات سنگین، ترکیبات آلی با تجزیه‌پذیری^{۸۳} ضعیف و سایر آلاینده‌ها است که وارد خاک می‌شوند. در اغلب کشورهای توسعه یافته، مقررات سخت‌گیرانه‌ای برای کنترل دفع و بازیافت زباله‌های جامد و مایع وجود دارد (EC، ۱۹۸۶؛ US Federal Register، ۱۹۹۳)، اما کشورهایی وجود دارند که دفع و تیمار پسماندها در آنها هنوز تهدیدی فراروی محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها است.

بسیاری از مواد شیمیایی خانگی، به‌ویژه آنهایی که در مقادیر زیادی استفاده می‌شوند، مانند مواد شوینده و فرآورده‌های بهداشتی^{۸۴} (PPCP)، نیز به عنوان فاضلاب بهداشتی به شمار می‌آیند. زیست‌جامدات^{۸۵} تولید شده از تصفیه فاضلاب شهری ممکن است مقادیر زیادی از PPCPها در خود داشته باشد و کاربرد زمینی آنها می‌تواند به طور بالقوه این آلاینده‌ها را به محیط‌های خاکی و آبی وارد نماید. استفاده از DDT در گذشته و حال برای کنترل بیماری‌های ناقل-زاد^{۸۶} مانند مالاریا منجر به آلودگی خاک‌ها در مناطق شهری و برون-شهری شده است (Mansouri و همکاران، ۲۰۱۷).

رنگ حاوی سرب یکی از اصلی‌ترین منابع آلودگی سربی (Pb) در مناطق شهری است. زمانی که رنگ حاوی سرب در هنگام بازسازی یا تخریب با ذرات گرد و غبار یا ذرات ریز مخلوط می‌شود و سپس به محیط‌زیست راه می‌یابد سبب آلودگی خاک‌ها می‌گردد (Mielke و Reagan، ۱۹۹۸). در ایالات متحده آمریکا، مقدار سرب مصرفی در سال‌های بین ۱۹۲۹ و ۱۹۸۹ در بنزین حاوی سرب و در سال‌های بین ۱۸۸۴ و ۱۹۸۹ در رنگدانه‌های رنگ سفید-سربی تقریباً یکسان بوده است و بیشترین مقدار مصرف در سال‌های بین ۱۹۲۰ تا ۱۹۲۹ در رنگ‌های حاوی سرب بوده است (Mielke و Reagan، ۱۹۹۸).

پلاستیک‌ها نیز منبع مهمی از آلودگی می‌باشند. پلاستیک‌ها به طور گسترده‌ای در بسته‌بندی مواد غذایی، کیسه‌های خرید و وسایل خانگی مانند مسواک‌ها و مدادها، مواد بهداشتی-آرایشی و بسیاری موارد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. پلاستیک در سطح جهانی حضوری گسترده در محیط زیست دارد. به طور کلی پلاستیک‌ها در مقادیر بسیار

⁸³ biodegradable

⁸⁴ personal care products

⁸⁵ biosolids

⁸⁶ vector-borne diseases

زیاد در محیط وجود داشته و به گونه گسترده‌ای در اقیانوس‌ها و محل‌های دفن زباله و همچنین در خاک‌هایی که کارخانه‌های تولیدی وجود دارد، انباشته می‌شوند. پلیمرها معمولاً از نظر بیوشیمیایی خنثی بوده و خطری برای محیط زیست ندارند. با این حال، مونومرهای باقی‌مانده واکنش‌ناپذیر^{۸۷} یا الیگومرهای کوچک می‌توانند در مواد پلاستیکی یافت شوند، زیرا واکنش‌های پلیمری شدن به ندرت به طور کامل رخ می‌دهند (Araujo و همکاران، ۲۰۰۲). خطرناک‌ترین مونومرها که به عنوان مونومرهای سرطان‌زا یا مونومرهای سرطان‌زا و جهش‌زا^{۸۸} طبقه‌بندی می‌شوند، متعلق به خانواده‌های پلی‌اورتان‌ها^{۸۹}، پلی‌آکریلونیتریل‌ها^{۹۰}، پلی‌وینیل‌کلرید^{۹۱}، رزین‌های اپوکسی^{۹۲} و کوپلیمرهای استیرن^{۹۳} هستند (Lithner و همکاران، ۲۰۱۱). افزون بر این، چندین هزار افزودنی مختلف از قبیل مواد ضد حریق برومی^{۹۴}، ترکیبات فتالات‌ها^{۹۵} و سرب در تولید پلاستیک استفاده می‌شوند. بسیاری از این افزودنی‌ها، با اختلال در عملکرد غدد درون‌ریز^{۹۶} و پیامدهای سرطان‌زا و جهش‌زا بر موجودات زنده، مضر هستند (Darnerud، ۲۰۰۳؛ Heudorf و همکاران، ۲۰۰۷؛ Lithner و همکاران، ۲۰۱۱). تمام پلاستیک‌ها، در اندازه‌های ماکرو تا نانو، در معرض آبشویی و جذب مواد خطرناکی مانند آلاینده‌های آلی پایدار و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه ای هستند (Bjornsdotter، ۲۰۱۵). پلاستیک‌ها همچنین سبب تجمع فلزات سنگین در مقادیر زیاد می‌گردند (Mato و همکاران، ۲۰۰۱). اندازه و سطح ویژه عوامل مهمی هستند که بر آبشویی و رفتار جذب تأثیر می‌گذارند: ذرات کوچک‌تر، نسبت سطح به حجم بزرگتری دارند. بنابراین ظرفیت آزادسازی یا جذب ترکیبات نیز در ذرات کوچک‌تر نسبت به ذرات بزرگ‌تر بیشتر است. پلاستیک‌ها می‌توانند از طریق تأسیسات تصفیه‌کننده پساب به خاک و سیستم‌های آبی راه یابند. همچنین می‌توانند به وسیله باد از محل‌های دفن زباله انتقال و در هوا معلق شده و در سطحی گسترده پراکنده شوند. در اراضی کشاورزی که مالچ‌پاشی پلاستیکی انجام می‌شود، مقدار فراوانی مواد پلاستیکی در خاک یافت می‌شود. حضور و پیامدهای پلاستیک در موجودات زنده آبی و اکوسیستم‌ها به خوبی اثبات شده است (Browne و همکاران، ۲۰۰۸؛ Thompson و همکاران، ۲۰۰۴). با این حال، خطرات استفاده از پلیمرها و محصولات پلاستیکی بر سلامت انسان و اکوسیستم‌های خاکی هنوز نیاز به ارزیابی دارد (Lithner و همکاران، ۲۰۱۱؛ Rillig، ۲۰۱۲؛ Rocha Santos و Duarte، ۲۰۱۵). تقریباً هیچ مطالعه‌ای درباره سرنوشت پلاستیک در خاک انجام نشده است.

۱-۳-۲-۴. تولید و دفع زباله و فاضلاب

افزایش جمعیت جهان به افزایش تولید زباله منجر شده است. در کشورهای در حال توسعه و کشورهای کمتر توسعه یافته، نرخ بالای رشد جمعیت و افزایش تولید زباله و فاضلاب به همراه کمبود خدمات شهری که با مدیریت زباله سر و کار دارد، وضعیتی خطرناک ایجاد می‌کنند. بر اساس گزارش بانک جهانی (Bhada-Tata و Hoornweg، ۲۰۱۲)، تولید جهانی مواد زائد جامد شهری در سال ۲۰۱۲ به میزان ۱/۳ میلیارد تن در سال تخمین زده شده است که در کشورهای جنوب صحرای آفریقا روزانه از ۰/۴۵ کیلوگرم به ازای هر فرد تا ۲/۲ کیلوگرم سرانه سالانه در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)^{۹۷} (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، سازمانی بین‌المللی که ۳۶ کشور در آن عضو هستند و اعضای آن متعهد به اصول اقتصاد آزاد و دموکراتیک می‌باشند و مأموریت آن ترویج سیاست‌هایی است

⁸⁷ Unreacted residual monomers

⁸⁸ mutagenic

⁸⁹ polyurethanes

⁹⁰ polyacrylonitriles

⁹¹ polyvinyl chloride

⁹² epoxy resins

⁹³ styrenic copolymers

⁹⁴ brominated flame retardants

⁹⁵ phthalates

⁹⁶ endocrine

⁹⁷ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)

که به بهبود رفاه اقتصادی و اجتماعی مردم جهان منجر می‌گردد (م.) متغیر می‌باشد. با این حال پیش‌بینی‌های آینده نگران‌کننده است، به طوری که انتظار می‌رود تولید زباله تا سال ۲۰۲۵ به ۲/۲ میلیارد تن افزایش یابد.

دفع زباله شهری در محل دفن زباله و سوزاندن، دو روش رایج در مدیریت زباله می‌باشند. در هر دو مورد، بسیاری از آلاینده‌ها، مانند فلزات سنگین، هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک^{۹۸}، ترکیبات دارویی^{۹۹}، محصولات بهداشت شخصی و محصولات مشتق شده از آنها در خاک انباشت می‌شوند (Swati و همکاران، ۲۰۱۴) که یا به طور مستقیم از محل دفن زباله آبشویی شده و ممکن است خاک و آب‌های زیرزمینی را آلوده کنند، یا از طریق پراکنش خاکستر حاصل از تأسیسات سوزاندن زباله در خاک تجمع می‌یابند (Mirsal، ۲۰۰۸). Baderna و همکاران مخلوط پیچیده‌ای از آلاینده‌ها را در شیرابه محل دفن زباله کشف کردند که کیفیت آب زیرزمینی را تغییر می‌دهد و به نوبه خود بر زنجیره غذایی تأثیر می‌گذارد (Baderna و همکاران، ۲۰۱۱).

مراکز بازیافت باتری‌های سربی، به عنوان منابع اصلی آلودگی خاک در سراسر جهان شناخته شده‌اند. این مسئله به‌ویژه در آفریقا صدق می‌کند که در چند سال گذشته صنعت باتری‌های سربی به طور چشم‌گیری گسترش یافته و همچنان در حال رشد است، در حالی که قوانین ضعیفی وجود داشته یا وجود ندارد (Gottesfeld و همکاران، ۲۰۱۸). نزدیکی صنایع باتری‌های سربی و تأسیسات بازیافت‌کننده به جوامع، خطری بالقوه برای سلامت انسان به شمار می‌رود، به طوری که نمونه‌های خون نشان‌دهنده سطوح بالاتر سرب نسبت به معیارهای سطح غربالگری^{۱۰۰} است (US Agency for Substances and Disease Registry، ۲۰۱۱؛ Zahran و همکاران، ۲۰۱۳).

تولید تجهیزات الکترونیکی و قرن بیست و یکم با پیشرفت ارتباطات و پیشرفت‌های مهم تکنولوژیکی همراه شد. الکترونیکی در جهان به سرعت در حال رشد است و همچنان رشد خواهد کرد و کشورهای در حال توسعه به ، (۲۰۰۹). با این حال، زمانی که عمر دستگاه‌ها به Rabinson تولیدکنندگان اصلی در دهه آینده تبدیل خواهند شد (پایان برسد یا دستگاه‌ها از کار بیفتند، در نهایت تبدیل به زباله

⁹⁸ polyaromatic

⁹⁹ pharmaceutical compounds

¹⁰⁰ screening level criteria