

اللَّهُمَّ احْمَدُكَ





دانشکده کشاورزی
گروه خاکشناسی

پایان نامه آقای حامد قاسمی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی خاکشناسی گرایش فیزیک و حفاظت خاک با عنوان: پهنه‌بندی غلظت کل فلزات سنگین (سرب، روی، کادمیم، نیکل) در خاک‌های سطحی دشت سرخون (بندرعباس) با استفاده از فناوری‌های زمین آمار و سامانه اطلاعات جغرافیایی در تاریخ ۱۳۹۰/۰۴/۰۱ با حضور هیأت داوران زیر بررسی و با نمره ۱۹/۲۵ مورد تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استادان راهنمای پایان نامه

دکتر جهانگرد محمدی با مرتبه علمی دانشیار

دکتر مهدی نادری با مرتبه علمی استادیار

۲. استاد مشاور پایان نامه

دکتر علیرضا حسین پور با مرتبه علمی دانشیار

۳. استادان داور پایان نامه

دکتر محمد حسن صالحی با مرتبه علمی دانشیار

دکتر نبی الله یارعلی با مرتبه علمی استادیار

دکتر سید حسن طباطبائی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده کشاورزی

تشکر و قدردانی

ممد و سپاس خداوند بی همتا که ما را به نور علم زینت بخشید و در اندوختن آن استوار ساخت. خدایا مرا از شاگردان درگاهت و حقیقت پیویان راهت قرارم ده و مرا یاری کن که در آموختن نلغزم و آنچه را که آموخته-ام، به شایستگی عرضه نمایم.

اینگ که در پرتو الطاف بیکران خداوند منان نگارش این پایان نامه به اتمام رسید، بر خود واجب می‌دانم از کلیه عزیزانی که من را در انجام این تحقیق یاری نمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را بنمایم.

ضمن قدردانی از زحمات فراوان پدر و مادر بزرگوارم و اعضای خانواده‌ام که از هیچ کوششی در راه تکمیل من دریغ نکردند، از زحمات اساتید راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر جعانگرد مممدی و جناب آقای دکتر ممدی نادری که با رهنمودهای حکیمانه خویش در کلیه مراحل این تحقیق اینبانم را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم. همچنین از مشاور متمد این تحقیق، جناب آقای دکتر علیرضا مسین‌پور که افتخار شاگردی ایشان را داشتم، به خاطر همفکری‌های صمیمانه و ارزشمندشان سپاسگزارم. از جناب آقایان دکتر مممد مسن صالحی و دکتر نبی الله یارعلی که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را پذیرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از تمامی کسانی که به نموی مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

نامد قاسمی- تابستان ۱۳۹۰

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پایان نامه از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه گردید که بدین وسیله از همکاری مدیریت محترم و کارکنان این سازمان، به‌خصوص از همکاری‌های معاونت اداره کل حفاظت محیط زیست هرمزگان جهت همکاری در مراحل نمونه برداری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

از گروه عوامل مشکل ساز در اکوسیستم، فلزهای سنگین می‌باشند که به دلیل غیر قابل جذب بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت پائین بر فعالیت جانداران، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. بهره‌گیری از فلزهای سنگین در صنعت و نیاز به برخی از آن‌ها در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان و جانداران و همچنین داشتن تاثیر مستقیم بر سلامت بشر، تولیدات کشاورزی و آلودگی محیط، جنبه‌های گوناگونی دارد که این عناصر را مورد توجه ویژه قرار داده است. مطالعه تغییرات مکانی عناصر سنگین با استفاده از فناوری زمین آمار، یکی از روش‌های متداول بررسی عناصر سنگین به شمار می‌رود. این پژوهش با هدف پهنه‌بندی غلظت کل سرب، روی، کادمیم و نیکل در خاک‌های دشت سرخون واقع در شمال بندرعباس به کمک فناوری زمین آمار و یافتن روابط بین غلظت عناصر مورد نظر و بازتاب طیفی حاصل از ماهواره IRS-P6-LISS III انجام گرفت. در یک فعالیت میدانی تعداد ۱۲۰ نمونه مرکب خاک به صورت سیستماتیک (۹۰۰ × ۹۰۰ متر) از کل منطقه برداشت شد. پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌های خاک، مقدار کل عناصر سرب، روی، کادمیم و نیکل به وسیله تیمار با اسید نیتریک ۴ مولار در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد و توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. همچنین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل توزیع اندازه ذرات (به روش هیدرومتری)، کربن آلی (به روش اکسیداسیون تر)، pH و هدایت الکتریکی (در عصاره ۱:۲ خاک به آب) اندازه‌گیری شد. نقشه‌های غلظت عناصر سرب، روی، کادمیم و نیکل به کمک فناوری زمین آمار تهیه شد. نتایج نشان داد که منطقه در معرض آلودگی نیکل قرار دارد. آلودگی مرتبط با نیکل در قسمت جنوب شرقی منطقه مشاهده شد. با توجه به نقشه گلباد و قرار داشتن پالایشگاه گاز در ۵ کیلومتری جنوب شرقی منطقه، این آلودگی می‌تواند متاثر از فعالیت پالایشگاه گاز سرخون باشد. نتایج حاصل از تغییرنا ساختار مکانی مناسبی را برای تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده از خود نشان داد. تغییرنماهای بدست آمده با استفاده از مدل‌های نمایی و کروی برازش داده شدند. تفاوت در دامنه و همبستگی‌های معنی‌دار بین عناصر سنگین می‌تواند ناشی از تفاوت در منشا این عناصر باشد. در بین عناصر مذکور فقط کادمیم همبستگی با باندهای ۲، ۳ و ۴ داشت، که این موضوع می‌تواند به دلیل حضور آهن و اکسیدهای آهن در خاک و یا پیوند قوی‌تر این عنصر با ماده آلی باشد.

کلمات کلیدی: زمین آمار، عناصر سنگین، تغییرات مکانی، پهنه بندی، همبستگی مکانی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸	فصل اول - مقدمه و کلیات تحقیق
۸	۱-۱ مقدمه
۹	۲-۱ اهداف اصلی طرح
۱۰	۳-۱ فلزات سنگین
۱۱	۱-۳-۱ روی
۱۲	۱-۳-۱-۱ خصوصیات فیزیکی روی
۱۲	۲-۱-۳-۱ راه‌های ورود به طبیعت
۱۲	۳-۱-۳-۱ اثرات سوء روی
۱۲	۴-۱-۳-۱ پراکنش روی
۱۲	۵-۱-۳-۱ واکنش با ترکیبات خاک
۱۳	۶-۱-۳-۱ آلودگی خاک توسط روی
۱۳	۷-۱-۳-۱ تجمع روی در گیاه
۱۳	۲-۳-۱ سرب
۱۳	۱-۲-۳-۱ خصوصیات فیزیکی سرب
۱۴	۲-۲-۳-۱ خصوصیات شیمیایی سرب
۱۴	۳-۲-۳-۱ راه‌های ورود به طبیعت
۱۴	۴-۲-۳-۱ واکنش با ترکیبات خاک
۱۴	۵-۲-۳-۱ آلودگی خاک توسط روی
۱۵	۶-۲-۳-۱ واکنش با دیگر عناصر
۱۵	۷-۲-۳-۱ آلودگی در گیاه
۱۵	۸-۲-۳-۱ گیاه
۱۵	۳-۳-۱ کادمیم
۱۶	۱-۳-۳-۱ خصوصیات فیزیکی کادمیم
۱۶	۲-۳-۳-۱ واکنش با ترکیبات خاک
۱۶	۳-۳-۳-۱ کادمیم در گیاه
۱۷	۴-۳-۳-۱ آلودگی خاک توسط کادمیم
۱۷	۴-۳-۱ نیکل
۱۷	۱-۴-۳-۱ خصوصیات فیزیکی نیکل
۱۷	۲-۴-۳-۱ خصوصیات شیمیایی نیکل
۱۸	۳-۴-۳-۱ مسمومیت با نیکل
۱۸	۴-۴-۳-۱ راه‌های ورود به طبیعت

۱۸	..... ۱-۴-۳-۱ منابع طبیعی
۱۸	..... ۲-۴-۳-۱ منابع صنعتی
۱۸	..... ۵-۴-۳-۱ تجمع نیکل در خاک
۱۹	..... ۶-۴-۳-۱ تجمع نیکل در گیاه
۱۹	..... ۴-۱ زمین آمار
۲۰	..... ۱-۴-۱ فرضیات ایستایی
۲۰	..... ۱-۱-۴-۱ فرضیات ایستایی اکیداً پایدار
۲۰	..... ۲-۱-۴-۱ فرضیات ایستایی مرتبه دوم
۲۱	..... ۲-۴-۱ آنالیز همبستگی مکانی
۲۱	..... ۳-۴-۱ نمودار پراکنش تفکیک ($H-S$)
۲۲	..... ۴-۴-۱ تغییرنا
۲۳	..... ۵-۴-۱ ضرورت مدل و مدل سازی تغییرات مکانی
۲۴	..... ۶-۴-۱ مدل های نظری تغییرنا
۲۷	..... ۷-۴-۱ همسانگردی و ناهمسانگردی
۲۸	..... ۸-۴-۱ تخمین
۲۹	..... ۹-۴-۱ ترکیب خطی وزن دار
۳۰	..... ۱۰-۴-۱ روش های زمین آماری
۳۰	..... ۱-۱۰-۴-۱ کریجینگ
۳۲	..... ۵-۱ سنجش از دور
۳۳	..... ۱-۵-۱ طیف الکترومغناطیسی و سامانه های سنجش از دور
۳۳	..... ۲-۵-۱ طبقه بندی سنجنده ها بر اساس منبع انرژی
۳۳	..... ۱-۲-۵-۱ سنجنده فعال
۳۳	..... ۲-۲-۵-۱ سنجنده غیر فعال
۳۳	..... ۳-۵-۱ ماهواره IRS
۳۶	..... فصل دوم - پیشینه تحقیق و بررسی منابع
۳۶	..... ۱-۲ پیشینه تحقیق و بررسی منابع
۳۷	..... ۱-۱-۲ بررسی آلودگی خاک با استفاده از زمین آمار
۴۳	..... ۲-۱-۲ بررسی آلودگی خاک با استفاده از سنجش از دور
۴۷	..... فصل سوم - مواد و روش ها
۴۷	..... ۱-۳ منطقه مورد مطالعه
۵۰	..... ۲-۳ گلبداد متوسط سالانه شهرستان بندرعباس
۵۰	..... ۳-۳ نمونه برداری
۵۱	..... ۴-۳ تهیه مدل ارتفاع رقومی

۵۱	..... ۵-۳ اطلاعات ماهواره‌ای
۵۱	..... ۶-۳ تجزیه‌های آزمایشگاهی
۵۱	..... ۱-۶-۳ اسیدپته خاک
۵۱	..... ۲-۶-۳ هدایت الکتریکی
۵۱	..... ۳-۶-۳ مواد آلی
۵۱	..... ۴-۶-۳ اجزاء ذرات خاک
۵۱	..... ۵-۶-۳ سرب، روی، نیکل و کادمیم
۵۲	..... ۷-۳ توصیف آماری داده‌ها
۵۲	..... ۸-۳ زمین آمار
۵۲	..... ۱-۸-۳ تجزیه و تحلیل ساختار مکانی
۵۲	..... ۲-۸-۳ میزان وابستگی مکانی
۵۲	..... ۳-۸-۳ پهنه‌بندی
۵۳	..... ۴-۸-۳ کنترل اعتبار تغییرنما
۵۳	..... ۹-۳ سنجش از دور
۵۳	..... ۱-۹-۳ پردازش تصاویر ماهواره‌ای
۵۳	..... ۲-۹-۳ تصحیح هندسی
۵۴	..... ۳-۹-۳ تبدیل انعکاس تصاویر ماهواره‌ای
۵۴	..... ۱۰-۳ بررسی روابط بین مقادیر عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده
۵۵	..... فصل چهارم - نتایج و بحث
۵۵	..... ۱-۴ توصیف آماری متغیرها
۵۵	..... ۱-۱-۴ خلاصه آماری غلظت کل سرب، روی، کادمیم و نیکل
۵۷	..... ۲-۴ داده‌های زمین آمار
۵۷	..... ۱-۲-۴ توصیف توزیع مکانی عناصر و خصوصیات مورد مطالعه
۵۹	..... ۲-۲-۴ همبستگی آماری بین غلظت کل عناصر و خصوصیات خاک
۵۹	..... ۳-۲-۴ آنالیز همبستگی مکانی
۶۰	..... ۴-۲-۴ مطالعه همسانگردی و ناهمسانگردی
۶۱	..... ۵-۲-۴ کلاس وابستگی مکانی
۶۶	..... ۶-۲-۴ کنترل اعتبار تغییرنما
۶۷	..... ۷-۲-۴ نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین
۶۷	..... ۸-۲-۴ نقشه‌های کریجینگ عناصر سنگین
۷۰	..... ۹-۲-۴ نقشه‌های کریجینگ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
۷۱	..... ۱۰-۲-۴ نقشه خطای تخمین خصوصیات اندازه‌گیری شده
۷۲	..... ۳-۴ داده‌های سنجش از دور

۷۲	..... ۱-۳-۴ روابط همبستگی پیرسون بین فلزات سنگین و میزان انعکاس حاصل از تصاویر ماهواره‌ای
۷۳	..... ۴-۴ نتیجه‌گیری کلی
۷۴	..... ۵-۴ پیشنهادات
۷۵	..... منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۰	شکل ۱-۱ نحوه قرار گرفتن انسان در معرض آلودگی خاک
۲۱	شکل ۲-۱ نمایش بردار تفکیک نقاط i و j
۲۳	شکل ۳-۱ تغییرنمای ایده‌آل همراه با پارامترهای آن
۲۵	شکل ۴-۱ تابع توانی با مقادیر مختلف a
۲۶	شکل ۵-۱ مدل کروی و پارامترهای آن
۲۶	شکل ۶-۱ مدل نمایی و پارامترهای آن
۳۲	شکل ۷-۱ طیف انرژی الکترومغناطیسی
۳۳	شکل ۸-۱ نیمرخ بازتابش طیفی برای سه سطح شاخص آب، خاک و گیاه
۴۸	شکل ۱-۳ منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط نمونه‌برداری شده در نقشه ایران و استان هرمزگان
۴۸	شکل ۲-۳ دو نمای مختلف از پالایشگاه گاز سرخون بندرعباس
۴۹	شکل ۳-۳ نقشه توپوگرافی منطقه مطالعاتی
۴۹	شکل ۴-۳ ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه به همراه شبکه هیدروگرافی
۴۹	شکل ۵-۳ نقشه زمین شناسی منطقه مطالعاتی
۵۰	شکل ۶-۳ گلیاد متوسط سالانه شهرستان بندرعباس
۵۰	شکل ۷-۳ سیستم نمونه‌برداری از خاک سطحی
۵۷	شکل ۱-۴ هیستوگرام‌های توزیع نرمال عناصر سنگین خاک
۵۸	شکل ۲-۴ نمایش نقطه‌ای سرب، روی، کادمیم و نیکل کل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده
۶۱	شکل ۳-۴ تغییرنمای سطحی عناصر سنگین سرب، روی، کادمیم، نیکل، درصد شن، درصد سیلت، پ-هاش، درصد س، هدایت الکتریکی (dS/m) و درصد ماده آلی
۶۳	شکل ۴-۴ تغییرنمای همه جهته سرب، روی، کادمیم و نیکل
۶۶	شکل ۵-۴ تغییرنمای همه جهته شن، سیلت، رس، پ-هاش، هدایت الکتریکی و ماده آلی
۶۹	شکل ۶-۴ نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین عناصر سرب، روی، کادمیم و نیکل
۷۱	شکل ۷-۴ نقشه‌های کریجینگ و خطای تخمین شن، سیلت، رس، هدایت الکتریکی، pH و ماده آلی

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۱	جدول ۱-۱ غلظت طبیعی برخی از عناصر سنگین در خاک
۳۵	جدول ۲-۱ مشخصات ماهواره IRS
۵۱	جدول ۱-۳ مشخصات باندهای سنجنده LISS-III
۵۶	جدول ۱-۴ خلاصه آماری خصوصیات فیزیکی، شیمیایی خاک و عناصر سنگین
۵۹	جدول ۲-۴ ضریب همبستگی پیرسون بین غلظت‌های روی، سرب، کادمیم و نیکل
۶۳	جدول ۳-۴ پارامترهای مدل‌های تغییرنمای غلظت کل روی، سرب، نیکل و کادمیم
۶۵	جدول ۴-۴ پارامترهای مدل‌های تغییرنمای خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک
۶۷	جدول ۵-۴ پارامترهای کنترل اعتبار تغییرنماهای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
۶۷	جدول ۶-۴ پارامترهای کنترل اعتبار تغییرنماهای عناصر سنگین سرب، روی، نیکل و کادمیم
۷۳	جدول ۷-۴ ضریب همبستگی پیرسون بین انعکاس باندهای ماهواره IRS و غلظت کل عناصر سنگین

فصل اول

مقدمه و کلیات تحقیق

۱-۱ مقدمه

ما از سرزمین بی جا استفاده می‌کنیم زیرا ما آن را جزء لایمملک خود می‌دانیم هنگامی که ما از سرزمین به چشم یک جامعه نگاه کنیم و خود را جزء مایمملک جامعه بدانیم آنگاه ممکن است استفاده ما از آن با عشق و احترام باشد.

آلدولتو پولد

با پیشرفت سریع تکنولوژی در قرن اخیر و به خصوص نیمه دوم آن، انسان به قدرت عظیمی دست یافت که در کنار آن مزایای فراوانی که برای بشر به ارمغان آورد، به دلیل استفاده غیر منطقی از آن صدمات شدیدی به منابع و محیط زیست به همراه داشت و آدمی بدون آن که به توان و واکنش طبیعت بیندیشد گستاخانه راه تقابل و جدل با طبیعت را در پیش گرفت طبیعتی را که خود باید در آن فعالیت و زندگی کند و در آن باقی بماند و همیشه در جدال بین انسان و طبیعت، انسان بازنده نهایی است.

خاک بخش کوچکی از اکوسیستم محسوب می‌شود، ولی در حین حال، اساسی‌ترین نقش را در فعالیت‌های انسانی بازی می‌کند، زیرا بقای انسان مستلزم تولیداتی است که از خاک نشات می‌گیرد. خاک مجموعه‌ای بسیار پیچیده است که عملکردهای بافری، فیلتری، مخزنی، سیستم انتقالی و محافظ اکوسیستم در برابر صدمات ناشی از آلودگی‌ها دارد. این عملکردها نامحدود نیست، اما تاثیر بسیار زیادی بر خصوصیات و تعادلات خاک دارد (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱).

از گروه عوامل مشکل‌ساز در اکوسیستم، فلزهای سنگین می‌باشند که به دلیل غیر قابل جذب بودن و داشتن اثرات فیزیولوژیکی در غلظت پائین بر فعالیت جانداران، دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. بهره‌گیری از فلزهای سنگین در صنعت و نیاز به برخی از آن‌ها در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان و جانداران و همچنین داشتن تاثیر مستقیم

بر سلامت بشر، تولیدات کشاورزی و آلودگی محیط، جنبه‌های گوناگونی دارد که این عناصر را مورد توجه ویژه قرار داده است (آلوی، ۱۹۹۰).

عناصر سنگین شاید در مقادیر کم سمی نباشند، برای مثال کادمیم و سرب در هر سطحی از غلظت سمی هستند ولی روی و مس تا مقداری از غلظت شامل نیاز گیاهی می‌شوند ولی با بالا رفتن غلظت این عناصر، آلودگی را بوجود می‌آورند (نریاجو و همکاران، ۱۹۹۶).

تجمع عناصر در خاک، به ویژه در زمین‌های کشاورزی تدریجی بوده و غلظت عناصر سنگین می‌تواند به سطحی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه هزار تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود. مطالعه پژوهشگران مختلف در داخل کشور نشان می‌دهد، تشدید فعالیت‌های صنعتی در کشور از یک سو و عدم رعایت مسائل و استانداردهای زیست محیطی از طرف بعضی از صاحبان صنایع از سوی دیگر، موجبات آلودگی محیط زیست از بعضی از مناطق کشور را فراهم ساخته است (اسدی و آذری، ۱۳۸۲).

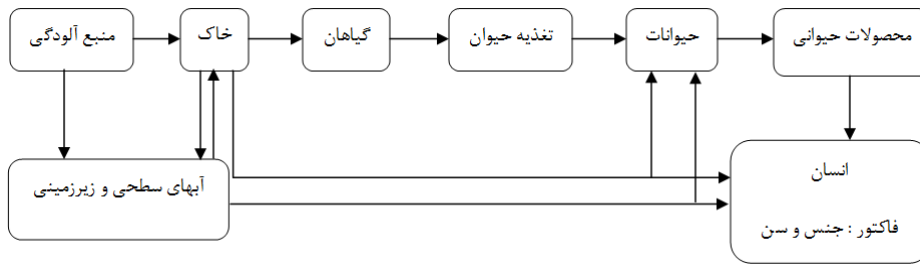
۱-۲ هدف اصلی طرح:

- پهنه‌بندی عناصر سنگین سرب، روی، کادمیم و نیکل در دشت سرخون شمال بندرعباس با استفاده از فناوری‌های زمین آماری و اطلاعات مکانی

گرچه در مقایسه با قطر کره زمین ضخامت لایه خاکی ناچیز است، ولی غذایی که بشر و جانداران به آن متکی هستند در خاک تولید می‌شود. خاک خوب و آب و هوای مساعدی که قابلیت تولید خاک را شکوفا می‌کند ارزشمندترین گنجینه‌ای است که هر ملت می‌تواند داشته باشد (نوری و فردوسی، ۱۳۷۱).

یک آلوده کننده عاملی است که می‌تواند تغییرات غیر قابل قبول و پیش بینی نشده‌ای را بر محیط اطرافش ایجاد نماید و باعث اختلال در روند عادی شود. احتمال ایجاد اثری مستقیم یا غیر مستقیم بر روی حیات انسان، موجودات زنده، اجتماعات حیوانی، زنجیره غذایی و این گونه موارد وجود دارد (بنازاده ماهانی، ۱۳۶۴). به عبارت دیگر ماده آلاینده ماده‌ای است که در جایی قرار گیرد که به طور طبیعی نمی‌بایست آنجا قرار می‌گرفت و یا دارای غلظت بیش از غلظت طبیعی باشد که بر روی موجودات اثری نامطلوب داشته باشد.

همانطور که در شکل ۱-۱ ملاحظه می‌شود خاک تأثیری کاملاً کلیدی در سلامتی انسان دارد. خاک با تأثیری که از آلودگی می‌پذیرد، بر آب‌های زیرزمینی، گیاهان، جانداران و در نهایت بر انسان‌ها اثرات جبران ناپذیری را می‌تواند به همراه داشته باشد که این موضوع به سن و جنس انسان نیز بستگی دارد. آلوده شدن آب‌های زیرزمینی از طریق خاک و در پی آن با استفاده انسان از آب زیرزمینی آلودگی انتقال پیدا می‌کند. همین طور وقتی خاک آلوده باشد، با جذب عناصر سمی توسط گیاه، موجب انتقال آلودگی به دام می‌شود و استفاده انسان از دام تغذیه شده با گیاهان حاوی آلاینده‌ها آلودگی وارد بدن انسان می‌شود.



شکل ۱-۱: نحوه قرار گرفتن انسان در معرض آلودگی خاک (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۷۹).

در خاک‌های غیر آلوده، غلظت عناصر سنگین تا حد زیادی توسط عوامل طبیعی کنترل می‌شود (مانند سنگ بستر)، ولی در مناطق شهری، فعالیت‌های انسانی، مثل صنعت و کشاورزی، می‌تواند عامل مهمی در افزایش غلظت عناصر سنگین باشد (میکو و همکاران، ۲۰۰۶). منشاء زمین‌شناسی فلزات سنگین می‌تواند سنگ‌های با عیار فلزی بالا در محیط بالا باشد. این مسئله در مناطق آتشفشانی و معدن مشاهده می‌شود و همچنین فعالیت‌های زمین‌گرایی می‌تواند غلظت فلزات سنگین را در محیط بالا ببرد (عادلی شهید، ۱۳۷۸). منابع اصلی آلودگی‌های انسان از مصارف محلی، صنعتی و ضایعات کشاورزی به اضافه ضایعات جامد، آلوده شده، حرارتی، ضایعات روغن و ضایعات رادیواکتیو می‌باشد (بنزاده و افیونی، ۱۳۷۹).

آلودگی ایجاد شده توسط عناصر سنگین در تمام دنیا به طور وسیعی در حال گسترش است و یک مشکل جدی برای طبیعت محسوب می‌شوند به دلیل اینکه این عناصر به زوال کشیده نمی‌شوند و نیمه عمر بسیار طولانی دارند (رادا و همکاران، ۱۹۹۷). آلودگی و تجمع عناصر سنگین در محیط زیست و در ادامه، با ورود این عناصر به زنجیره غذایی انسان در دراز مدت، مشکلات جبران ناپذیری را بر سلامت انسان می‌گذارد (آلوی، ۱۹۹۰). آلودگی عناصر سنگین موجود در خاک و اثراتی که این عناصر می‌توانند بر روی اکوسیستم داشته باشند به وسیله فاکتورهایی مثل مواد مادری، اقلیم و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود (فاچینلی و همکاران، ۲۰۰۱). با رشد سریع شهرنشینی و توسعه مراکز صنعتی در دنیا، شاید فعالیت‌های انسانی مهمترین فاکتور موثر بر آلودگی عناصر سنگین باشند (ژانگ، ۲۰۰۶؛ بیاسیولی و همکاران، ۲۰۰۶؛ لی و همکاران، ۲۰۰۶). وسایل نقلیه (لهارن، ۱۹۹۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۶) پساب صنعتی (مارتلی و همکاران، ۲۰۰۴؛ سیاهو و وی، ۲۰۰۷) و رسوبات اتمسفری (نوگروت و دی، ۱۹۹۸؛ هان و همکاران، ۲۰۰۶) و دیگر فعالیت‌ها به طور پیوسته موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم آورده‌اند. روش‌های زمین آماری و آنالیزهای مکانی آلودگی در محیط GIS، در سیستم خاک پیشرفت چشم‌گیری داشته است و یک مسیر بسیار مناسب برای بیان آلودگی در خاک دارا است (وبستر، ۱۹۹۴؛ فاچینلی و همکاران، ۲۰۰۱؛ سابی و همکاران، ۲۰۰۶). برای مدیریت مناطق آلوده و کنترل آلودگی در خاک، باید از میزان آلودگی و تجمع نوع عناصر آلوده کننده و منابع ایجاد کننده آلودگی اطلاع داشته باشیم (مک گرات و همکاران، ۲۰۰۴؛ وو و همکاران، ۲۰۰۷).

۱-۳ فلزات سنگین

در واژه‌نامه‌های شیمیایی به آن دسته از فلزهایی گفته می‌شود که دارای چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب باشند. بر این اساس مهمترین فلزهای سنگین آلاینده عبارتند از کادمیم، کروم، جیوه، سرب، کبالت، آلومینیوم، آرسنیک، برلیوم، بیسموت، مس، آهن، منگنز، نیکل، سلنیم، تالیوم، قلع، تیتانیوم و روی. برخی از این فلزها مانند کروم و آهن جزء عناصر ضروری در جیره غذایی انسان هستند اما مقادیر بالای این عناصر بسیار سمی است. برخی از این عناصر مثل سرب از طریق دستگاه تنفسی و برخی دیگر از طریق غذا وارد بدن انسان می‌شوند.

برخی نمک‌های فلزی از جمله نمک‌های سرب، قلع و کادمیم به مقدار کم جذب بدن می‌شوند، در صورتی که عناصری شبیه آرسنیک و تالیوم به طور کامل جذب می‌شوند. مهمترین اندام جذب کننده عناصر سنگین کلیه‌ها هستند. در حقیقت کلیه‌ها را می‌توان صافی‌های بسیار پیچیده‌ای در نظر گرفت که وظیفه جذب مواد سمی از خون را به عهده دارند. تقریباً تمام فلزهای سنگین در بدن عوارض سویی به جای می‌گذارند که از آن جمله می‌توان به اختلال در سیستم عصبی، کلیوی و ایجاد جهش‌های ژنتیکی اشاره کرد (عرفان‌منش و افیونی، ۱۳۸۱). فلزاتی همچون آهن، کبالت و مولیبدون به عنوان کوفاکتورهایی برای سیستم‌های آنزیمی عمل می‌کنند اما چنانچه غلظت این فلزات از حدود معینی فراتر رود، موجب بروز اختلالاتی در فعالیت‌های حیاتی جانوران می‌گردند. فلزاتی مانند جیوه، سرب و کادمیم حتی در مقادیری بسیار جزئی مورد نیاز موجود زنده نمی‌باشند. جذب مقادیر اندکی از فلزات مذکور در بدن انسان موجب بروز عوارض شدید بیماری می‌شود. جیوه می‌تواند در اثر خروج پساب از کارخانجات وارد بدن انسان شود. به واسطه افزایش در مقدار فلز جیوه در طول زنجیره غذایی، ضریب تغلیظ زیستی (CF) به بیش از ۵۰۰۰۰۰ بالغ می‌گردد که این امر نهایتاً موجبات مرگ و میر تعداد زیادی از افراد را فراهم می‌سازد. آلودگی‌های ناشی از یون‌های فلزات سنگین موجود در پساب واحدهای صنعتی از مهمترین و خطرناک ترین آلوده سازهای محیطی محسوب می‌شوند (عابدینی، ۱۳۷۰).

عناصر سنگین دارای خصوصیات منحصر بفردی هستند (قشلاقی و مور، ۲۰۰۷):

- ۱- با گذشت زمان به زوال کشیده نمی‌شوند.
 - ۲- این عناصر می‌توانند تا مرحله‌ای از رشد گیاهان مفید باشند ولی با گذشتن از یک حد غلظت، سمیت را ایجاد می‌کنند.
 - ۳- این عناصر به طور طبیعی در همه جا حضور دارند، که از پروسه‌های هوازدگی سنگ مادر و فعالیت‌های پدوژنتیکی نشات می‌گیرند.
 - ۴- واکنش‌هایی بسیار مهم را با خاک از خود نشان می‌دهند.
- غلظت بحرانی این فلزها و اطلاع از توان آلاینده‌گی آنها در خاک، دارای اهمیت بسیاری است. متأسفانه بدلیل ماهیت متغیر این عناصر در خاک و پیچیدگی خاک، اعداد دقیقی برای غلظت بحرانی آنها ارائه نشده است.

جدول ۱-۱: غلظت طبیعی برخی از عناصر سنگین در خاک (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱).

عناصر	خاک آلی	خاک شنی	خاک لومی و سیلتی	خاک چرنوزوم	میانگین
روی	۵-۲۵۰	۳/۵-۲۵۰	۹-۳۶۲	۲۰-۷۷۰	۵۵
سرب	۱/۵-۱۷۶	۲/۳-۷۰	۱/۵-۷۰	۸-۷۰	۲۹/۲۵
کادمیم	۰/۱۹-۲/۲	۰/۰۱-۲/۷	۰/۰۸-۱/۶۱	۰/۱۸-۰/۱۷	۰/۵۱
نیکل	۰/۲-۱۱۹	۱-۱۱۰	۳-۱۱۰	۶-۶۱	۱۹

۱-۳-۱- روی:

روی در سال ۱۷۴۹ توسط مارگروف (Margrof) کشف شد و نام آن از واژه یونانی Zin مشتق شده است، در گروه دوم جدول تناوبی مندلیف قرار دارد. سنگ اصلی معدن روی، سولفید روی است که در سرتاسر جهان وجود دارد و به همراه استخراج روی فلزات دیگر هم استخراج می‌شوند (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱).

۱-۳-۱-۱ خصوصیات فیزیکی روی

دارای نقطه ذوب ۴۱۹/۶ درجه سانتیگراد، نقطه جوش ۹۰۷ درجه سانتیگراد، چگالی ۷/۱۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب در ۲۰ درجه سانتیگراد است. عدد اتمی آن ۳۰، وزن اتمی ۶۵/۴ و به طور معمول و طبیعی دارای ۱۰ ایزوتوپ Zn^{62} ، Zn^{63} ، Zn^{64} ، Zn^{65} ، Zn^{66} ، Zn^{67} ، Zn^{68} ، Zn^{69} ، Zn^{70} ، Zn^{71} و Zn^{72} است. روی فلز سفید رنگ، شفاف، بسیار فعال و یک عامل احیا کننده قوی بوده و سریعاً تیره می‌شود (اسنید و همکاران، ۱۹۵۵).

۱-۳-۱-۲ راههای ورود به طبیعت

بیشترین مصرف روی در گالوانیزه نمودن محصولات آهنی و استیلی است. مصارف دیگر این فلز در ساخت آلیاژها، پالایش چربی‌ها برای صابون‌سازی، تهیه ادوات نظامی، باتری‌سازی، صنایع اتومبیل‌سازی است. همچنین ترکیبات روی در تهیه رنگ‌ها، صنعت نساجی، تصفیه روغن‌ها، لحیم‌کاری و صنایع دفاعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (نریاجو و همکاران، ۱۹۸۱).

۱-۳-۱-۳ اثرات سوء روی

روی به طور عادی سمی نیست، بلکه یک عنصر ضروری برای بدن نیز محسوب می‌شود. یکی از معمول‌ترین ترکیبات روی که در کارخانه‌ها تولید می‌شود کلرید روی است که اگر روی بدن انسان پاشیده شود سوختگی شدید پوستی ایجاد می‌کند. سولفات روی سوزش آور و کرومات روی ممکن است ایجاد بیماری پوستی (Dermatiti) کند.

۱-۳-۱-۴ پراکنش روی

به نظر می‌رسد روی بیشتر در سنگ‌های ماگمایی نمایان می‌شود (۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و مقدار کمی در سنگ‌های اسیدی وجود دارد (۴۰ تا ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم). غلظت روی در رسوبات و شیل‌ها بین ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در سنگ‌های شنی و کربناتیک، بین ۱۰ تا ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سمی می‌باشد. با حل شدن کانی‌های حاوی روی طی فرآیندهای هوازدگی، Zn^{2+} محلول بوجود می‌آید، این فرآیند در شرایط اسیدی و اکسیدی شتاب بیشتری پیدا می‌کند. روی به آسانی توسط رس‌ها و مواد آلی جذب می‌شود و در اغلب خاک‌ها در لایه سطحی خاک تجمع پیدا می‌کند (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱).

میانگین مقدار کل روی در سطح خاک‌ها در کشورهای مختلف و آمریکا بین ۱۷ تا ۱۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم را دارد. مقدار روی در خاک ارتباط معنی‌داری با مواد مادری دارد، بیشترین مقدار روی را در خاک‌های آلوویال (Alluvial) و سولونچاک (Solonchak) مشاهده شده است، همچنین کمترین مقدار عنصر مذکور در خاک‌های با مقدار کم رس و مواد آلی دیده می‌شود. در خاک‌های کشاورزی آمریکا، میانگین روی ۴۲/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (هولگرن و همکاران، ۱۹۹۳). تعادل روی در اکوسیستم‌های متفاوت نشان می‌دهد که ورودی اتمسفری این عنصر بیش از حد خروجی روی توسط پروسه‌های آبشویی و مصارف بیوماس است.

۱-۳-۱-۵ واکنش با ترکیبات خاک

شکل معمول و متحرک روی در خاک بیشتر به صورت آزاد و یا یون‌های کمپلکس شده است. یون‌های روی معمولاً به قدرت زیادی بر سطح محیط‌های تبادل‌ی آلی و غیرآلی جذب می‌شوند. مهمترین فاکتورهایی که تثبیت

روی را در خاک تحت تاثیر قرار می‌دهند، شامل: جذب (Adsorption)، انسداد (Occlusion) و هم رسوبی (Cocprecipitation)، کلاته شدن (Chelation) و کمپلکس شدن (Complexing) آلی و تثبیت میکروبی (Microbial fixation) می‌شود.

جذب روی در سطح رس‌ها تا حد زیادی به pH بستگی دارد و با کاهش pH (کمتر از ۷) جذب روی توسط رس‌ها کاهش یافته که پیامد آن شستشوی روی از خاک است. این پروسه در خاک‌های سبک شدت بیشتری پیدا می‌کند (مک برید و بلاسیاک، ۱۹۷۹).

زیرین و همکاران (۱۹۷۶) گزارش کردند که مقدار کل روی در خاک‌ها تا حد زیادی به میزان اکسیدهای آهن و آلومینیوم (۱۴ تا ۳۸ درصد روی کل) و به میزان کانی‌های رسی (۲۴ تا ۶۳ درصد روی کل) بستگی دارد. پژوهش‌های اخیر نشان داد که اندازه ذرات رس نیز می‌تواند تاثیر بسزایی بر پخشیدگی رس در سطح خاک‌ها داشته باشد (کاباتا - پندیاس و کایموف، ۱۹۹۵). مواد آلی قابلیت ایجاد پیوندهایی شیمیایی محکمی با روی را دارند و تجمع روی بیشتر در افق‌های آلی و بعضی پیت‌ها مشاهده می‌شود.

۱-۳-۱-۶ آلودگی خاک توسط روی

منابع فعالیت‌های انسانی از جمله تولیدات صنایع و فعالیت‌های کشاورزی در آلودگی روی در خاک نقش بسزایی دارند. به طور معمول آلودگی شدید روی در خاک بیشتر در لایه سطحی خاک مشاهده می‌شود. علاوه بر این موضوع، تغییراتی در خود عنصر روی در اثر آلودگی رخ می‌دهد. برای مثال، یک نوع آلودگی که در اثر غنی‌شدگی عنصر روی (خاکی با مشخصات لومی شنی، pH ۶/۱ و مواد آلی ۱/۲۵ درصد) بوجود آمده بود که به وسیله پساب این آلودگی حذف شد، پی‌آمد آن یک افزایش در مقدار روی در دسترس از ۳٪ به ۲۱٪ و ضعیف شدن پیوند روی قابل تبادل از ۲۱٪ به ۳۴٪ مقدار روی کل، در خاک بود (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱).

۱-۳-۱-۷ تجمع روی در گیاه

در pH بالا (۷/۲ تا ۷/۸)، مقدار روی جذب شده توسط گیاه به اشکال موجود روی در خاک بستگی دارد (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱). هالورسن و لیندزی (۱۹۷۷) گزارش کردند که فقط شکل Zn^{2+} بوسیله ریشه ذرت قابل جذب است. ریشه‌ها به خصوص در خاک‌هایی که نسبت به روی غنی باشند اغلب مقدار بیشتری روی نسبت به قسمت‌های هوایی در خود ذخیره می‌کنند (تینکر، ۱۹۸۱).

۱-۳-۲-۲ سرب

سرب (Pb)، از کلمه لاتین پلامبوم (Plumbum) گرفته شده است. از نظر انتشار، گسترده‌ترین عنصر سمی و سنگین در محیط زیست است که به ویژه از زمان مصرف آن در بنزین از پراکنش بسیار وسیعی در سطح جهان برخوردار است، به طوری که از یخ‌های قطبی تا رسوبات اعماق دریاها اثرات آن را می‌توان یافت.

۱-۳-۲-۱ خصوصیات فیزیکی سرب

دارای عدد اتمی ۸۲، وزن اتمی ۲۰۷/۱۹، ظاهری خاکستری رنگ و جرم اتمی ۲۰۷/۲۱ گرم است. نقطه جوش و ذوب آن به ترتیب ۱۷۴۰ و ۳۲۷/۴ درجه سانتیگراد است. در ضمن سرب ۳۶ امین عنصر از نظر فراوانی است. در طبیعت به صورت گالن یا سولفیدهای نقره، مس، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت و قلع وجود دارد. یکی از

فراوانترین عناصر سنگین در پوسته زمین با میانگین غلظت ۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (نریاجو، ۱۹۷۸). غلظت کم سرب در محلول خاک به دلیل تحرک کمی است که در میان عناصر سنگین دارد (کاباتا - پندیاس و پندیاس، ۱۹۷۹).

مهمترین خصوصیات فیزیکی سرب (چگالی بالا، نرمی، انعطاف پذیری و پتانسیل هدایت الکتریکی) حاکی از این است که مهمترین عامل پخشیدگی این عنصر در جهان، صنعت است. بیشتر پژوهش‌ها حاکی از این است که در اکثر نقاط دنیا آلودگی سرب وجود دارد. سازمان پژوهشی انگلستان نشان داد که غلظت کل سرب در خاک باغ‌ها، بین ۱۳ تا ۱۴۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (کوثر - هوولز، ۱۹۹۶). وارد شدن عناصر سنگین به بدن انسان‌ها، تا حد زیادی از طریق تنفس و سیستم گوارشی، موجب تجمع سرب در خون می‌شود و اختلالات عصبی و ایجاد اختلال در DNA را به همراه دارد.

۱-۳-۲-۲ خصوصیات شیمیایی سرب

یون سرب (Pb^{2+}) شکل غالب سرب در خاک و آب زیرزمینی است. همچنین Pb^{4+} در شرایط اکسیدی بالا در خاک‌ها می‌تواند تشکیل شود (نریاجو، ۱۹۷۸). چندین فاکتور وجود دارد که می‌تواند سرب را به حالت بی تحرک در خاک در آورد، از جمله: کمپلکس شدن با مواد آلی خاک (اسید هومیک یا اسید فولیک)، بوسیله ذرات جامد خاک و یا به صورت یون تبادل‌پذیر بر روی بخش جامد خاک قرار بگیرد (هاریسون و لاکسن، ۱۹۸۱).

۱-۳-۲-۳ راه‌های ورود به طبیعت

ترکیبات سرب عمدتاً در نتیجه بهره‌برداری از معدن (بصورت سولفید، کربنات، سولفات سرب) صنایع باتری‌سازی (اکسید سرب) سوخت‌های فسیلی (تترا اتیل و تترا متیل سرب) رنگ‌سازی (کربنات و کرومات سرب) تثبیت Polychlorinated Biphenyls (سولفات سرب) و صنایع شیشه و لعاب (سیلیکات سرب) وارد محیط می‌شوند (مریان، ۱۹۹۲).

۱-۳-۲-۴ واکنش با ترکیبات خاک

به طور طبیعی مقدار سرب در خاک با تجزیه مواد مادری مرتبط است. مقدار سرب به طور قابل ملاحظه‌ای به نوع رس، اکسیدهای منگنز، هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم و مواد آلی بستگی دارد (ریفالدی و همکاران، ۱۹۷۶؛ تیدبال، ۱۹۷۶). حلالیت سرب را تا حد زیادی می‌توان کاهش داد، با افزایش pH خاک، سرب به صورت هیدروکسید، فسفات یا کربنات رسوب می‌کند. هیلدبراند و بلوم (۱۹۷۴) نشان دادند که ایلیت (Illite) نسبت به دیگر رس‌ها توانایی بیشتر برای جذب سرب دارد. عبدالفتاح و وادا (۱۹۸۱) متوجه شدند که جذب انتخابی در مورد سرب برای اکسیدهای آهن، هالوسایت (Halloysite) و ایموگولایت (Imogolite) نسبت به هوموس، کائولینیت (Kaolinite) و مونت موریلونیت (Montmorillonite) وجود دارد.

۱-۳-۲-۵ آلودگی خاک توسط سرب

سرنوشت فعالیت‌های انسانی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است که این به دلیل زیان‌هایی است که به انسان و حیوان می‌رساند و از دو منبع، زنجیره غذایی و گرد و غبارها وارد این چرخه‌ها می‌شود. فشار کاربری اراضی بر روی سطوح سرب در خاک سطحی توسط بلوم و همکاران (۱۹۹۷) تشریح شده است. در محیط‌هایی که سطوح آلودگی سرب در گیاهان بالا باشد، به آسانی قابل محاسبه نمی‌باشد. مهمترین شکل سرب انتشار یافته از کارخانه‌ها به

صورت معدنی است (PbO, PbS, PbSO₄ و PbO.PbSO₄). تجمع سرب در خاک سطحی یک مشکل بزرگ اکولوژیکی است زیرا این عنصر تا حد خیلی زیادی فعالیت‌های بیولوژیکی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (تیلر، ۱۹۷۵؛ اندرسون، ۱۹۷۶).

۱-۳-۲-۶ واکنش با دیگر عناصر

واکنش سرب با عناصر سنگین، فقط در مورد روی و کادمیم گزارش شده است. اثرات تحرکی سرب بر روی جذب کادمیم بوسیله ریشه گیاهان شاید یک اثر ثانویه اختلالی انتقال کادمیم باشد. روی و سرب یک اثر آنتاگونیستی با یکدیگر دارند که از زمان جذب از ریشه تا قسمت‌های بالایی گیاه وجود دارد (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱). جونز و همکاران (۱۹۷۳) گزارش کردند که سمیت گوگرد موجب می‌شود تا جابجایی سرب به قسمت‌های هوایی گیاهان تا حد زیادی افزایش پیدا کند. اثرات مفید محدود شدن جذب سرب بوسیله ریشه‌ها، با نوع خاک کنترل می‌شود. وقتی که سرب توسط مواد آلی کمپلکس شده باشد، به آسانی در دسترس گیاه قرار می‌گیرد.

۱-۳-۲-۷ آلودگی در گیاه

مقادیر متغیر در گیاهان، بوسیله چندین فاکتور گیاهی مثل حضور پروسه‌های ژئوشیمیایی، آلودگی، تغییرات فصلی و توانایی خود گیاه در ذخیره سرب کنترل می‌شود (کانون، ۱۹۷۶). رسوبات اتمسفری یک منبع بسیار مهم برای آلودگی بخش‌های هوایی گیاهان محسوب می‌شود (دالبرگ و دریل، ۱۹۹۰). آلودگی سرب در تغذیه گیاهی و انتقال آن به نان و سیب زمینی عامل اصلی مرگ انسان‌ها است (بروگمن و همکاران، ۱۹۹۶).

۱-۳-۲-۸ گیاه

اگرچه سرب را می‌توان به صورت طبیعی در همه گیاهان دید، ولی هیچ‌گونه نقش را تا به حال برای متابولیسم گیاهی از خود نشان نداده است. برویر و همکاران (۱۹۷۲) گزارش کردند که اگر سرب نقشی در سیستم گیاهی داشت، غلظتی در حد ۲ تا ۶ ppb کافی بود. هر چند سرب در محلول خاک به آسانی حل نمی‌شود، ولی تا حد زیادی توسط ریشه‌ها جذب و در دیواره سلولی تجمع پیدا می‌کند (زیمدال، ۱۹۷۵؛ هوگز و همکاران، ۱۹۸۰). وارن (۱۹۷۸) گزارش کرد که سرب عنصری بسیار مفید برای پروسه‌های ژئوشیمیایی محسوب می‌شود. وقتی سرب به فرم عناصر غذایی در محلول خاک وجود داشته باشد، ریشه گیاهان این توانایی را دارد که به میزان زیاد این عنصر را جذب کند.

۱-۳-۳ کادمیم

کادمیم در سال ۱۸۱۷ توسط استرومیر (Stromeyer) کشف شد و نام آن از واژه یونانی Kameia مشتق شده است. از آلاینده‌های مهم زیست محیطی بوده که در تمامی اکوسیستم‌ها اعم از آب، هوا و خاک یافت می‌شود. حلالیت این عنصر در آب تحت تاثیر عواملی نظیر نوع ترکیبات و pH آب است.

۱-۳-۳-۱ خصوصیات فیزیکی کادمیم

کادمیم فلزی نسبتاً نرم و به رنگ سفید نقره‌ای که دارای نقطه ذوب $۳۲۰/۹$ درجه سانتیگراد، نقطه جوش ۷۶۷ درجه سانتیگراد، چگالی $۸/۶۴$ گرم بر سانتیمتر مکعب در ۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. عدد اتمی آن ۴۸ ، وزن اتمی $۱۱۲/۴$ و به طور طبیعی دارای هشت ایزوتوپ Cd^{112} ، Cd^{111} ، Cd^{110} ، Cd^{113} ، Cd^{116} ، Cd^{106} ، Cd^{108} ، Cd^{114} می‌باشد. کادمیم از نظر فراوانی شصت و هفتمین عنصر در جدول تناوبی است که همراه با روی و جیوه در زیر گروه دوم قرار دارد (فرگوسن، ۱۹۹۰). شیمی کادمیم و روی شباهت زیادی به هم داشته و هر دو ساختمان یونی مشابه و الکترونگاتیویته یکسانی دارند، اما بر خلاف روی، کادمیم کاملاً سمی است. در مورد افزایش میزان این عنصر در محیط زیست همواره نگرانی‌هایی وجود داشته است، این عنصر تاثیراتی منفی بر روی فعالیت‌های بیولوژیکی، متابولیسم گیاهی، سلامت انسان‌ها و حیوانات دارد.

فراوانی کادمیم در سنگ‌های ماگمایی و رسوبی بیش از $۰/۳$ میلی‌گرم بر کیلوگرم نیست، این عنصر بیشتر تمایل به تجمع در رسوبات شیل و آرچیلیکی دارد. کادمیم از نظر ژئوشیمیایی تا حد زیادی با روی مرتبط است. کادمیم معمولاً ترکیباتی را با عناصر Zn^{2+} ، Co^{2+} ، Ni^{2+} ، Fe^{2+} ، Mg^{2+} و Ca^{2+} تشکیل می‌دهد. در طی پروسه هوازگی، کادمیم به فرم Cd^{2+} در محلول آزاد می‌شود، اگرچه امکان دارد به صورت کمپلکس‌های $CdCl^+$ ، $CdOH^+$ ، $CdHCO_3^+$ ، $CdCl_3^-$ ، $CdCl_4^{2-}$ ، $Cd(OH)_3^-$ و $Cd(OH)_4^{2-}$ و کلات‌هایی با مواد آلی یافت شود. مهمترین فاکتورهای کنترل کننده تحرک کادمیم در خاک pH و پتانسیل اکسید و احیا است (کاباتا - پندیاس، ۲۰۰۱). مهمترین فاکتور کنترل کننده مقدار کادمیم در خاک، تجزیه مواد مادری است. میانگین مقدار کادمیم در خاک، $۰/۰۶$ تا $۱/۱$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. هرچند که مقدار کادمیم در خاک هیچ ربطی با نوع خاک ندارد اما با این حال خاک‌های هیستوسول (Histosol) بیشترین مقدار ($۰/۷۸$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و خاک‌های پودزول (Podzol) کمترین مقدار ($۰/۳۷$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را دارا هستند. میزان کادمیم در خاک‌های کشاورزی آمریکا بین $۰/۰۱$ تا ۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (هولمگران و همکاران، ۱۹۹۳). گوویندارجو (۱۹۹۴) گزارش کرده مقدار کادمیم در کشورهای مختلف مقادیر متفاوتی را دارا است و دامنه‌ای بین $۰/۰۶$ تا $۴/۳$ میلی‌گرم بر کیلوگرم را شامل می‌شود.

۱-۳-۳-۲ واکنش با ترکیبات خاک

جذب کادمیم بوسیله ترکیبات موجود در خاک اخیراً مورد مطالعه قرار گرفته است. فرح و پیکرینگ (۱۹۷۷) گزارش کردند که نوعی جذب رقابتی در مورد جذب کادمیم، بوسیله رس در پیوند کادمیم وجود دارد. تیلر و همکاران (۱۹۷۹) و سون (۱۹۸۱) از این نظریه حمایت کردند که جذب، سریع‌تر از آبشویی، کنترل کننده تجمع کادمیم در محلول خاک است. در pH بالای $۷/۵$ ، کادمیم جذب شده به آسانی نمی‌تواند تحرک داشته باشد، بنابراین حلالیت $CdCO_3$ و $Cd_3(PO_4)_2$ کنترل کننده تحرک کادمیم در خاک هستند.

۱-۳-۳-۳ کادمیم در گیاه

اگرچه کادمیم جزء عناصر ضروری برای پروسه‌های متابولیسمی نیست، اما این عنصر توسط ریشه و برگ جذب می‌شود و در قسمت‌های مختلف گیاه تا مقدار خیلی زیادی تجمع پیدا می‌کند. چندین فاکتور گیاهی و خاکی وجود دارد که در جذب کادمیم توسط گیاه موثر است. در اکثر پژوهش‌ها، pH خاک به عنوان فاکتور موثر، هم در جذب کل و هم در قابل جذب عنصر کادمیم، پذیرفته شده است. کیتاگیشی و یامان (۱۹۸۱) و بینگام و همکاران