بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

ارزیابی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین در برخی از خاک‌های استان همدان

پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست

علی شهبازی

استاد راهنما

دکتر علیرضا سفیانیان

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست آقای علی شهبازی

تحت عنوان

ارزیابی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین در برخی از خاک‌های استان همدان

در تاریخ ۱۳۹۰/۸/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علیرضا سفیانیان
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر نوراله میرغفاری
۴- استاد داور	دکتر مجید افیونی
۵- استاد داور	دکتر حمیدرضا کریم زاده
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکترنوراله میرغفاری

منت خدای را عزّ و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. . .

شکر و سپاس پروردگار منان را که با تکیه بر الطاف بیکرانش توفیق یافتم مرحله ای دیگر از تحصیلاتم را پشت سر گذارم. این موفقیت را مدیون استادانم، دوستانم و خانواده ام، هستم.

از استاد محترم جناب آقای دکتر علیرضا سفیانیان که با راهنمایی های دانشورانه شان من را در راه انجام پایان نامه یاری کردند، تشکر می کنم. از جناب آقای دکتر نورالله میرغفاری به عنوان استاد مشاور پایان نامه و مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر مجید افیونی و جناب آقای دکتر حمیدرضا کریم زاده برای قبول زحمت داوری پایان نامه سپاسگزارم.

از خانواده ام که همیشه پشتیبان و مایه دلگرمیم بوده اند تشکر و قدردانی می نمایم.

در پایان از تمامی کسانی که به هر نحوی مرا یاری نموده اند تشکر و قدردانی می نمایم و امیدوارم که در تمامی مراحل زندگی پیروز و سربلند و تندرست باشند.

علی شهبازی

پاییز ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به روح پاک پدرم

که صبورانه

مادرم

که مشوقانه

خواهرم

که دلسوزانه

و برادرانم

که عاشقانه

مرا یاری کردند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱۲
فصل اول مقدمه ۲
۱-۱-اهمیت و ضرورت تحقیق ۲
۱ـ ۲ـ فرضیات ۴
۱ـ ۳ـ اهداف تحقیق ۴
فصل دوم بررسی منابع ۵
۲-۱- خاک ۵
۲-۲- آلودگی و ماده آلاینده ۶
۲-۳- انسان در معرض آلودگی خاک ۶
۲-۴- طبقه‌بندی آلاینده‌های خاک ۷
۲-۵- فلزات سنگین ۷
۲-۵-۱- تأثیرات فلزات سنگین ۸
۲-۵-۲- اهمیت پیشگیری از انباشت عناصر در زمین‌های کشاورزی ۹
۲-۶- منابع ورود فلزات سنگین به خاک ۹
۲-۶-۱- منابع طبیعی ۹
۲-۶-۲- منابع غیرطبیعی ۱۱
۲-۶-۳- ته‌نشست اتمسفری ۱۸
۲-۷- عوامل موثر در تحرک فلزات سنگین در خاک ۱۹
۲-۸- ویژگی‌های فلزات سنگین مورد مطالعه ۲۰
۲-۸-۱-کادمیم ۲۰
۲-۸-۲- کبالت ۲۲
۲-۸-۳- کروم ۲۳
۲-۸-۴- مس ۲۶
۲-۸-۵- نیکل ۲۷
۲-۸-۶- سرب ۲۹
۲-۸-۷- روی ۳۱
۲-۹- سری زمانی ۳۳
۲-۹-۱- اجزاء یک سری زمانی ۳۴
۲-۹-۲- پیش‌بینی ۳۵
۳-۹-۳- اهمیت پیش‌بینی ۳۵
۲-۹-۴- برون یابی منحنی روند ۳۵
۲-۱۰- مطالعات انجام شده ۳۶
فصل سوم مواد و روش‌ها ۴۲
۳-۱- مشخصات منطقه مورد مطالعه ۴۲
۳-۲- نمونه‌برداری ۴۴

۳-۲-۱- تئوری نمونه‌برداری ۴۴
۳-۲-۲- تعیین مناطق نمونه‌بردای ۴۴
۳-۲-۳- روش نمونه‌برداری ۴۷
۳-۳- آنالیز نمونه‌های خاک ۴۸
۳-۴-آنالیز آماری ۴۸
۳-۵- بررسی روند تجمع فلزات ۴۹
۳-۶- انتخاب مدل ۴۹
۳-۷- پیش‌بینی ۴۹
۳-۸- ارزیابی آلودگی خاک ۵۰
۳-۸-۱- فاکتور آلودگی ۵۰
فصل چهارم نتایج و بحث ۵۱
۴-۱- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی ۵۱
۴-۲- غلظت فلزات سنگین خاک ۵۵
۴-۲-۱- کادمیم در خاک ۵۵
۴-۲-۲- کبالت در خاک ۵۶
۴-۲-۳- کروم در خاک ۵۷
۴-۲-۴- مس در خاک ۵۸
۴-۲-۵- نیکل در خاک ۵۹
۴-۲-۶- سرب در خاک ۶۰
۴-۲-۷- روی در خاک ۶۱
۴-۳- درصد افزایش غلظت فلزات پس از ۶۵ سال ۶۲
۴-۴- آزمون مقایسه میانگین ۶۴
۴-۴-۱- کادمیم ۶۴
۴-۴-۲- کبالت ۶۵
۴-۴-۳- کروم ۶۶
۴-۴-۴- مس ۶۷
۴-۴-۵- نیکل ۶۸
۴-۴-۶- سرب ۶۹
۴-۴-۷- روی ۷۰
۴-۵- روند تجمع فلزات سنگین ۷۱
۴-۶- پیش بینی ۷۶
۴-۷- ارزیابی آلودگی خاک‌های کشاورزی ۷۷
فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۳
۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۳
۵-۲- پیشنهادها ۸۴

فهرست اشکال

شکل۲- ۱- راههای مختلفی که انسان در معرض آلودگی‌های خاک قرار می‌گیرد ۷
شکل۲- ۲- منابع غیرطبیعی ورود عناصر سنگین به محیط‌های آب و خاک ۱۱
شکل۲- ۳- منحنی زمانی غلظت فلزات در LFA در سال ۱۹۸۳ در لایه ۲۰-۰ سانتیمتر ۴۰
شکل۲- ۴- منحنی زمانی غلظت فلزات در LFA در سال ۱۹۸۳ در لایه ۴۰-۲۰ سانتیمتر ۴۱
شکل۳- ۱- موقعیت استان همدان ۴۳
شکل۳- ۲- تصاویر ماهواره‌ای الف) MSS سال ۱۳۵۲، ب) TM سال ۱۳۶۹، ج) ETM سال ۱۳۷۹ و د) AWIFS سال ۱۳۸۷ ..... ۴۵
شکل۳- ۳- نقشه‌های الف) ارتفاع، ب) شیب، ج) زمین شناسی و د) کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ۴۶
شکل۳- ۴- نحوه نمونه برداری خاک ۴۷
شکل۳- ۵-توزیع نقاط نمونه برداری در مناطق مورد مطالعه ۴۸
شکل ۴- ۱-مقایسه میانگین کادمیم در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول کادمیم در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۵۶
شکل ۴- ۲-مقایسه میانگین کبالت در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول کبالت در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۵۷
شکل ۴- ۳-مقایسه میانگین کروم در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول کروم در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۵۸
شکل ۴- ۴-مقایسه میانگین مس در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول مس در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۵۹
شکل ۴- ۵- مقایسه میانگین نیکل در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول نیکل در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۶۰
شکل ۴- ۶-مقایسه میانگین سرب در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول سرب در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۶۱
شکل ۴- ۷-مقایسه میانگین روی در مناطق مختلف با حداکثر غلظت قابل قبول روی در خاک کشاورزی کشورهای مختلف ۶۲
شکل ۴- ۸- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز کادمیم در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۶۵
شکل ۴- ۹- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز کبالت در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۶۶
شکل ۴- ۱۰- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز کروم در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۶۷
شکل ۴- ۱۱- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز مس در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۶۸
شکل ۴- ۱۲- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز نیکل در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۶۹
شکل ۴- ۱۳- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز سرب در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۷۰
شکل ۴- ۱۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین فلز روی در کشت‌های مختلف و نقاط کنترلی ۷۱
شکل ۴- ۱۵- روند تجمع فلز کادمیم در کشت ۶۵ ساله ۷۲
شکل ۴- ۱۶- روند تجمع فلز کبالت در کشت ۶۵ ساله ۷۲
شکل ۴- ۱۷- روند تجمع فلز کروم در کشت ۶۵ ساله ۷۳
شکل ۴- ۱۸- روند تجمع فلز مس در کشت ۶۵ ساله ۷۳
شکل ۴- ۱۹- روند تجمع فلز نیکل در کشت ۶۵ ساله ۷۴

شکل ۴- ۲۰- روند تجمع فلز سرب در کشت ۶۵ ساله ۷۴
شکل ۴- ۲۱- روند تجمع فلز روی در کشت ۶۵ ساله ۷۵
شکل ۴- ۲۳- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز کادمیم در زمین‌های کشاورزی ۷۹
شکل ۴- ۲۴- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز کبالت در زمین‌های کشاورزی ۷۹
شکل ۴- ۲۵- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز کروم در زمین‌های کشاورزی..... ۸۰
شکل ۴- ۲۶- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز مس در زمین‌های کشاورزی..... ۸۰
شکل ۴- ۲۷- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز نیکل در زمین‌های کشاورزی..... ۸۱
شکل ۴- ۲۸- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز سرب در زمین‌های کشاورزی..... ۸۱
شکل ۴- ۲۹- مقدار فاکتور آلودگی برای فلز روی در زمین‌های کشاورزی..... ۸۲

فهرست جداول

جدول۲- ۱- میانگین فلزات سنگین (mg/kg) در لیتوسفر ۱۰
جدول۲- ۲- تخمین مقدار ورودی عناصر سنگین به خاک‌ها در سطح جهانی (Gg yr -1)..... ۱۳
جدول۲- ۳- ویژگی کمپوست و کمپوست پاک..... ۱۳
جدول۲- ۴- حدود غلظت برخی از عناصر سنگین ($mg\ kg^{-1}$) لجن فاضلاب در برخی از کشورها..... ۱۵
جدول۲- ۵- حدود مجاز فلزات سنگین در لجن فاضلاب مصرفی در اراضی کشاورزی..... ۱۵
جدول۲- ۶- درصد برخی از عناصر که از طریق مصرف آفت‌کش‌ها وارد اکوسیستم می‌شوند..... ۱۶
جدول۲- ۷- آفت‌کش‌های حاوی فلزات سنگین و مقدار مصرف سالانه..... ۱۶
جدول۲- ۸- غلظت تعدادی از عناصر سنگین در سنگ‌های فسفاته مهمترین کشورهای دارای معادن فسفات ۱۷
جدول۲- ۹- دامنه غلظت عناصر سنگین در کودها و مواد آهکی ($mg\ kg^{-1}$)..... ۱۷
جدول۲- ۱۰- حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین ($mg\ L^{-1}$) در آب آبیاری (FAO)..... ۱۸
جدول۲- ۱۱- پراکندگی جهانی برخی عناصر نادر ($Gg\ yr^{-1}$) در اتمسفر..... ۱۹
جدول۲- ۱۲- ورودی سالیانه فلزات سنگین به خاک‌های کشاورزی انگلستان و ولز..... ۳۶
جدول۲- ۱۳- نتایج پیش بینی مقدار فلزات در منطقه Mining..... ۴۱
جدول۳- ۱- طبقه بندی مقادیر فاکتور آلودگی ۵۰
جدول۴- ۱- آمار توصیفی غلظت عناصر (mg/kg) و برخی از پارامترهای خاک سطحی در کشت ۲۰ ساله..... ۵۳
جدول۴- ۲- آمار توصیفی غلظت عناصر (mg/kg) و برخی از پارامترهای خاک سطحی در کشت ۳۵ ساله..... ۵۳
جدول۴- ۳- آمار توصیفی غلظت عناصر (mg/kg) و برخی از پارامترهای خاک سطحی در کشت ۶۵ ساله..... ۵۴
جدول۴- ۴- آمار توصیفی غلظت عناصر (mg/kg) و برخی از پارامترهای خاک سطحی در نقاط کنترلی ۵۴
جدول۴- ۵- درصد افزایش غلظت (mg/kg) فلزات طی ۶۵ سال گذشته ۶۳
جدول۴- ۶- میانگین غلظت فلزات سنگین (mg/kg) در کود فسفاته ۶۳
جدول۴- ۷- نتایج آزمون کندال و اسپیرمن ۷۱
جدول۴- ۸- معادله روند تجمع فلزات سنگین در کشت ۶۵ ساله..... ۷۵

چکیده

مقادیر زیادی مواد شیمیایی نظیر کودهای شیمیایی و حشره‌کش‌ها و همچنین لجن فاضلاب سالیانه در خاک‌های کشاورزی به کار برده می‌شود، چنین کاربردی ممکن است نتیجه در افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک داشته باشد. از بین آلوده‌کننده‌های متنوع خاک، فلزات سنگین حائز اهمیت زیادی هستند. آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی عناصر غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان با ورود به زنجیره غذایی محسوب می‌شوند. لذا بررسی روند تجمع فلزات سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است و باید مدنظر محققین و برنامه ریزان در در سطوح مختلف مدیریتی قرار گیرد. هدف از این مطالعه، مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطق با قدمت متفاوت از نظر کشاورزی و بررسی اثر مدت فعالیت‌های کشاورزی بر روند تجمع فلزات سنگین و ارزیابی آلودگی خاک مناطق مختلف با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی بود. به همین منظور با کمک تصاویر ماهواره‌ای و بررسی پوشش گیاهی در هر تصویر، مناطق مورد نظر که از نظر قدمت کشت متفاوت بودند، انتخاب شدند. ۶ منطقه کشاورزی در کل استان شامل دو منطقه در نهاوند و همدان، دو منطقه در کبودرآهنگ و فامنین و ۲ منطقه در رزن و شیرین‌سو که به ترتیب تقریباً از ۶۵، ۳۵ و ۲۰ سال قبل کشاورزی در این مناطق شروع شده است، انتخاب شد. تعداد ۹۷ نمونه خاک در مناطق کشاورزی از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر به روش سیستماتیک برداشت شد. همچنین ۱۲ نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در مناطقی که هیچگونه فعالیت کشاورزی صورت نمی‌گرفت و بکر بود به عنوان نقاط کنترلی برداشت شد. غلظت فلزات سنگین و برخی پارامترهای خاک از جمله pH، EC، درصد ماده آلی، درصد شن، درصد سیلت، و درصد رس تمامی نمونه‌ها آنالیز شد. جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در مناطق مختلف از آزمون ANOVA و LSD استفاده گردید. به منظور پی‌بردن به وجود روند تجمع فلزات در مناطق انتخاب شده از آزمون اسپیرمن و کندال استفاده شد. مقایسه غلظت فلزات در مناطق کشاورزی مختلف نشان داد که میانگین غلظت در کشت ۶۵ ساله بیشتر از کشت ۳۵ ساله و در کشت ۳۵ ساله بیشتر از کشت ۲۰ ساله است. همچنین میانگین غلظت برای همه فلزات در مناطق کشاورزی مختلف بیشتر از میانگین غلظت برای فلزات در نقاط کنترلی بود. نتایج نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بین کشت ۶۵ ساله و نقاط کنترلی برای همه فلزات بجز برای سرب بود. همچنین تفاوت معنی‌دار بین کشت ۳۵ ساله و نقاط کنترلی برای بعضی از فلزات (کروم، مس و روی) دیده شد. مقایسه میانگین غلظت فلزات در نقاط کنترلی و مناطق ۶۵ ساله نشان داد که غلظت فلزات کروم (۴۳.۳٪)، مس (۳۱.۵۲٪) و کادمیم (۳۱.۱۵٪) درصد افزایش بیشتری نسبت به سایر فلزات داشته است. روند تجمع در خاک در مزارع ۶۵ ساله، برای فلزات کادمیم، کبالت، کروم، مس و روی بصورت نمایی، برای نیکل این مدل به صورت معادله درجه ۲، و برای سرب این مدل خطی بود. شاخص فاکتور آلودگی خاک نشان داد که کشت ۶۵ ساله بالاترین میزان ریسک آلودگی را برای همه فلزات بجز سرب دارد. همچنین بر اساس فاکتور آلودگی نمونه‌های خاک برای کشت‌های مختلف بیشتر در طبقه بدون آلودگی و بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار داشتند.

کلید واژه‌ها: استان همدان، آلودگی خاک، روند تجمع فلزات سنگین، فعالیت‌های کشاورزی، فاکتور آلودگی

فصل اول
مقدمه

۱-۱-اهمیت و ضرورت تحقیق

محیط زیست متشکل از نظام‌های اتمسفر(که از هوا و ذرات آب و ذرات معلق تشکیل شده) پدوسفر (کره خاکی)، بیوسفر(کره زنده)، و هیدروسفر(کره آب) است [۹، ۵۷]. در تعریف دیگر محیط زیست عبارت است از محیطی که فرآیند حیات را فراگرفته و با آن برهمکنش دارد. محیط زیست از طبیعت، جوامع انسانی و نیز فضاهایی که با فکر و به دست انسان ساخته شده‌اند تشکیل شده است و کل فضای زیستی زمین، یعنی زیست کره (بیوسفر) را فرا می‌گیرد اما به طور کلی، به تمام نظام‌ها اعم از زیستی و غیرزیستی، مادی و غیرمادی که به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر زندگی و سلامت زیست کره اثر داشته، محیط زیست گفته می‌شود [۱۱، ۱۶]. بشر در مواجهه با محیط زیست که بقای وی به طور اجتناب ناپذیری بدان وابسته است، شیوه معقولی را اتخاذ ننموده و بجای جامع‌نگری، مال اندیشی و برنامه‌ریزی جهت بهره‌وری دیرپا از محیط پیرامونش به بهره‌گیری آنی و منفعت‌جویی فوری و گذرا دل خوش داشته است. در راستای این منفعت طلبی سیری ناپذیر با اتکا به تکنولوژی پیشرفته به انهدام تخریب طبیعت پیرامون خویش اقدام نموده و به جدالی ویرانگر با آن پرداخته است، جدال و تعارضی که اگر ادامه یابد انسان با هوش و خردمند بازنده حتمی آن است و جز با شکست انسان پایان نمی‌پذیرد. با پیشرفت برق آسای تکنولوژی قرن اخیر و به خصوص نیمه دوم آن، انسان به قدرت عظیمی دست یافته که در کنار مزایای فراوانی که برای بشر به ارمغان آورده، به دلیل استفاده غیر منطقی از آن صدمات شدید به منابع طبیعی و محیط زیست را به همراه داشته و آدمی بدون آنکه به توان و واکنش طبیعت بیندیشد گستاخانه راه جدال و تقابل با طبیعت را در پیش گرفته، طبیعتی که بایست خود در آن زندگی و فعالیت کند و در آن باقی بماند [۵۴].

امروزه آلودگی محیط زیست از مسائل مهمی است که جوامع مختلف با آن روبرو هستند و باعث شده تا حفاظت از محیط زیست به موضوع اصلی در سیاست‌گذاری‌ها تبدیل شود [۲۸]. انسان در اثر فعالیت‌های روزمره

خود، مقادیر قابل توجهی از آلاینده‌های مختلف را به منابع آب، خاک و هوا وارد می‌نماید. ورود این مواد آلاینده اعم از گازی، مایع یا جامد به داخل اکوسیستم‌های آب و خشکی ممکن است برای محیط زیست غیر زنده و نیز کلیه اجتماعات زیستی بسیار مخاطره انگیز باشد [۱۵]. گسترش روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی‌رویه بشر در طبیعت منجر به تخریب محیط زیست گردیده، به طوری که طی سال‌های گذشته تغییرات قابل ملاحظه و اثرات مشهودی در آن به وجود آمده است. به همین دلیل نگرانی در زمینه روش‌های حفاظت محیط زیست بیش از پیش می‌باشد و باید به نحو مطلوبی اقدامات کنترل کننده به کار گرفته شود و نظارت جدی به حفظ منابع صورت گیرد [۱۶]. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست به شمار رفته و از میان آن‌ها فلزات سنگین به دلیل غیر قابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی آن‌ها بر موجودات زنده در غلظت‌های کم، حائز اهمیت شناخته شده‌اند. کاربرد فلزات سنگین در صنعت و مهم‌تر از همه نقش بسیاری این عناصر در آلودگی محیط جهات بسیار مختلفی دارد که این عناصر را حائز اهمیت می‌سازد [۵۴].

خاک به همراه آب و هوا اجزاء عمده محیط زیست تلقی می‌شوند. خاک علاوه بر اینکه پایگاه موجودات خشک‌زی به ویژه تجمع انسانی است، محیط منحصر بفردی برای زندگی انواع موجودات، مخصوصاً گیاهان به شمار می‌آید [۲۸]. فعالیت‌های روز افزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد بخش خاک که خود جزئی از پوسته زمین است در مواردی دچار اختلال شود بدیهی است اگر این را تعریف کلی از آلودگی بنامیم، آلودگی خاک یک پدیده نامطلوب بوده و بایستی برای انواع دخالت‌های مجاز و غیر مجاز در ارتباط با مواد آلوده کننده حد و مرزی قائل شویم [۹]. به طور کلی آلاینده‌های خاک را می‌توان به ۲ گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل سموم متفاوت است که بیشتر جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین و مهمترین گروه آلاینده‌های صنعتی هستند که شامل فلزات سنگین نظیر سرب، کادمیم، نیکل و روی بوده و مناطق وسیعی در جوار شهرها، معادن و جاده‌های اصلی دارای غلظت بالایی از این عناصر می‌باشند. به ویژه خاک‌های این مناطق در دامنه وسیعی با سرب، کادمیم، جیوه و آرسنیک آلوده می‌شود [۲۶]. از بین آلوده‌کننده‌های متنوع خاک، فلزات سنگین حائز اهمیت زیادی بوده و بعضاً وجود چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد [۳۶، ۷۳]. آلودگی فلزات سنگین نه تنها به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تأثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای سلامتی انسان با ورود به زنجیره غذایی و همچنین امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند [۱۰۲]. در میان آلاینده‌های شیمیایی فلزات سنگین موجود در خاک ممکن است منشأ متفاوتی داشته باشند. عناصر لیتوژنیک عناصری هستند که مستقیماً از سنگ کره (مواد مادری) به خاک رسیده‌اند و عناصر پدوژنیک عناصری هستند که منشاء لیتوژنیک دارند ولی تجمع و توزیع آن‌ها در خاک به دلیل فرایندهای خاکسازی اتفاق افتاده است. عناصر آنتروپوژنیک نیز عناصری هستند که به طور غیر مستقیم یا غیر مستقیم به دلیل فرایندهای بشر به خاک وارد شده‌اند [۱۲۹]. از سوی دیگر انباشت این آلاینده‌ها در خاک بخصوص در زمین‌های کشاورزی، باعث جذب مقادیر زیاد آن‌ها توسط گیاه شده و لذا ممکن است بیش از حد طبیعی وارد زنجیره غذایی انسان‌ها و حیوانات شود. به طور کلی منشأ فلزات سنگین خاک شامل منابع طبیعی (هوازدگی مواد مادری) و ورودی‌های انسانی (صنایع فلزی و معدنی، اگزوز وسایل نقلیه، عملیات کشاورزی و غیره) می‌باشند [۱۰۲]. تأثیر فعالیت‌های کشاورزی بر روی تجمع عناصر به ویژه در خاک‌های قابل کشت به دلیل پتانسیل انتقال فلزات سنگین از طریق محصولات کشاورزی به انسان و حیوان مورد توجه قرار دارند [۹۱] و محتوای فلزات سنگین در گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عواملی مانند استفاده از

کودها، لجن فاضلاب یا آبیاری با فاضلاب قرار گیرد [۱۸۸]. بنابراین تجمع زیستی عناصر کمیاب در زنجیره غذایی به ویژه برای سلامتی انسان مضر خواهد بود و جذب فلزات سنگین از طریق زنجیره غذایی باعث ایجاد مشکلاتی در مورد سلامت عمومی خواهد شد [۱۲۴].

با وجود اهمیت فلزات سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور ، تحقیقاتی که بتواند توزیع فلزات سنگین در خاک را به صورت نقشه‌های کاربردی نشان دهد بسیار زیاد انجام گرفته است. موحدی راد (۱۳۸۶) در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم [۵۰]، خسروی دهکردی (۱۳۸۶) در خاک‌های شهری، کشاورزی و صنعتی شهر اصفهان [۲۴]، صدر (۱۳۸۵) در اراضی کشاورزی، صنعتی و شهری اصفهان [۳۵]، امینی و همکاران (۲۰۰۵) در خاک‌های سطحی استان اصفهان [۶۲] و بقایی (۱۳۸۲) در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه [۱۰]، تقی‌پور (۱۳۸۸) در خاک‌های شهرستان همدان و بهار [۱۷]، مطالعاتی را در زمینه تغییرات مکانی فلزات سنگین انجام داده‌اند. اما مطالعات در زمینه روند تجمع فلزات سنگین در خاک و مدل سازی روند تجمع فلزات در ایران [۵] و حتی در جهان به ندرت صورت گرفته است [۱۳۸، ۲۱۲].

به دلیل برخورداری منطقه مورد مطالعه استان همدان از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و متعاقباً تأثیر فعالیت‌های کشاورزی، نظیر استفاده از کودهای شیمیایی مختلف بر روی کیفیت خاک، گیاه و نهایتاً سلامت انسان لزوم انجام این پژوهش را به منظور بررسی میزان تجمع فلزات سنگین به عنوان یکی از آلاینده‌های مهم ناشی از این گونه فعالیت‌ها در خاک سطحی و گیاهان زراعی، بیش از پیش آشکار می‌سازد. با توجه به این مهم این تحقیق، با هدف مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطق با قدمت کشاورزی متفاوت و بررسی اثر مدت فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین، همچنین تعیین روند تجمع فلزات سنگین و ارزیابی آلودگی خاک مناطق مختلف با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی انجام می گیرد.

۱ـ ۲ـ فرضیات

- ✓ فعالیت‌های کشاورزی می‌توانند به عنوان منبع ورود فلزات سنگین به خاک به شمار آیند.
- ✓ با افزایش قدمت در فعالیت‌های کشاورزی تجمع فلزات سنگین در خاک بیشتر می‌شود.
- ✓ کاربرد کودهای شیمیایی بر تجمع فلزات سنگین در خاک تأثیر دارد.
- ✓ آبیاری با فاضلاب باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک می‌شود.

۱ـ ۳ـ اهداف تحقیق

- ✓ مقایسه غلظت فلزات سنگین در مناطق با قدمت کشت متفاوت
- ✓ مطالعه بررسی اثر مدت فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات سنگین در خاک
- ✓ تعیین الگوی روند تجمع فلزات سنگین در خاک
- ✓ ارزیابی آلودگی خاک مناطق مختلف با استفاده از شاخص فاکتور آلودگی

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- خاک

خاک از مواد معدنی، ریشه گیاهان، موجودات زنده خرد و درشت، مواد آلی در مراحل مختلف تجزیه، آب و هوا تشکیل شده است. پراکنش غیر یکنواخت این اجزاء، شرایط بسیار متنوعی را در مقیاس‌های مختلفی از حفره‌های کوچک تا سطح مزرعه ایجاد، و این امر، مطالعه خاک را با مشکل روبرو می‌کند. طیف وسیعی از عوامل فیزیکی و شیمیایی که دارای اثر متقابل هستند در تنوع خاک سهیم هستند، و لذا ترکیب و فعالیت موجودات زنده خاک را در یک محل و زمان خاص، مشخص می‌کنند [۴۱]. وظایفی از خاک که به طور مستقیم به نیازهای انسان مربوط می‌شود را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم کرد که هر گام شامل هر زیر بخش می‌شود [۲۰].

۱- ارایه محیط مناسب و تهیه مواد غذایی برای گیاهان زراعی، باغی، زینتی و صنعتی

الف- نگه دارنده ریشه گیاهان به منظور انجام امور تغذیه توسط گیاه

ب- انتقال مواد غذایی به گیاهان

ج- مخزن مواد غذایی و در اختیار قرار دادن تدریجی مواد

د- حفظ محیط زیست

۲-مخزن پسماندهای طبیعی

الف- محل دفع زباله‌های انسانی

ب- فیلتر کردن مواد زاید و یا تصفیه آب

ج- تبدیل زباله‌های مضر به کمپوست و مواد قابل مصرف مفید در محیط زیست

د- محل تجدید و احیای مواد

اما باید توجه داشت که اگر یکی از وظایف بالا بیش از حد مورد تأکید قرار گیرد ، وظایف دیگر خاک دچار

اختلال می‌شوند. به عنوان مثال اگر به خاکی بیش از حد کود داده شود ممکن است توازن در قدرت پالایندگی خاک به هم خورده و مازاد کود سایر وظایف خاک را مختل کند.

۲-۲- آلودگی و ماده آلاینده

با مراجعه به لغت‌نامه، مترادف واژه آلودگی لغاتی از قبیل ناخالصی، ناپاکی و مضر به چشم می‌خورد. اگرچه این معانی از نظر لغوی صحیح می‌باشند ولیکن یک تعریف کاربردی زیست محیطی را ارایه نمی‌دهند. نظریات مختلفی در مورد تعریف و تفسیر آلودگی و ماده آلاینده وجود دارد و تعریف یکسانی از این دو در منابع مشاهده نمی‌شود. بر اساس نظر میلر(۱۹۹۱) هر گونه تغییر در ویژگی‌های هوا، خاک، آب و مواد غذایی که اثر نامطلوبی بر سلامت محیط زیست و فعالیت‌های بشر و سایر جانداران داشته باشد، آلودگی نامیده می‌شود [۳۶]. در تعریفی دیگر هر عاملی که سبب به هم‌زدن شرایط طبیعی محیط زیست شده و موجب تغییرات نامطلوب (آسیب یا تخریب) در آن شود آلودگی نامیده می‌شود [۸].

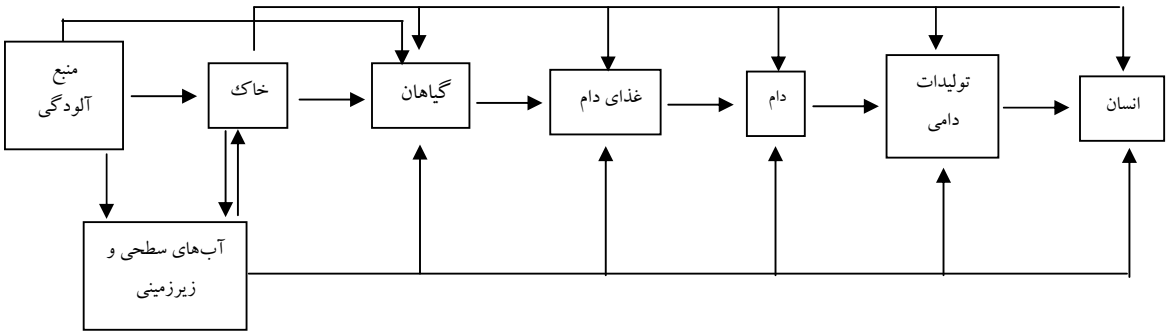
همان گونه که مشخص است نظریات و تعاریف مختلفی در مورد آلودگی وجود دارد. به همین دلیل هرگونه تعریف از آلودگی و ماده آلاینده می‌بایستی با توجه به مشکلات و پیامدهای زیست محیطی آن انجام گیرد. بر همین اساس ماده آلاینده را نیز می‌توان بدین صورت تعریف کرد: ماده آلاینده، ماده‌ای است که در جایی قرار گیرد که به طور طبیعی نمی‌بایستی آنجا وجود داشته باشد و یا دارای غلظتی بیش از غلظت طبیعی آن باشد به نحوی که بر روی موجودات زنده اثر نامطلوب داشته باشد. در کنار تعاریف مختلف فوق در مورد آلودگی و مواد آلاینده، تعریف دیگری وجود دارد که بر اساس آن آلودگی‌ها را بر مبنای منبع تولید آن‌ها به ۲ گروه تقسیم می‌کنند: ۱- آلودگی با منبع مشخص[۱] ۲- آلودگی با منبع نامشخص[۲]. کنترل و جلوگیری از گسترش آلودگی‌های با منبع مشخص بسیار ساده‌تر و امکان‌پذیرتر از آلاینده‌های با منبع نامشخص می‌باشد [۳۶].

۲-۳- انسان در معرض آلودگی خاک

شکل ۲-۱ نحوه قرار گرفتن انسان در معرض آلودگی‌های خاک را نشان می‌دهد. به طور کلی عمده آلاینده‌ها از طریق ورود به زنجیره غذایی، انسان و سلامت او را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. علاوه بر این مسیرهای متعدد دیگری وجود دارند که انسان را در معرض آلودگی‌های خاک قرار می‌دهند. برای مثال برخی ترکیبات آلاینده مستقیماً همراه با ذرات خاک وارد بدن علف-خوران و یا انسان می‌شوند. اما در کل ورود ترکیبات آلاینده به زنجیره غذایی، مهم‌ترین مسیری است که انسان را در معرض آلودگی‌های خاک قرار می‌دهد [۳۶].

۱- Point source pollution

۲- Nonpoint source pollution



شکل۲- ۱- راه‌های مختلفی که انسان در معرض آلودگی‌های خاک قرار می‌گیرد [۳۶].

۲-۴- طبقه بندی آلاینده‌های خاک

از جمله مهم‌ترین گروه‌های آلاینده خاک می‌توان به آفت‌کش‌ها، مواد خطرناک (انواع سوخت‌ها، حلال‌ها و مواد آلی فرار)، عناصر کمیاب و سوخت‌های فسیلی اشاره نمود [۳۶]. در تقسیم‌بندی دیگر می‌توان آلاینده‌های خاک را در دو گروه کلی شامل آلاینده‌های آلی و معدنی طبقه‌بندی نمود که آلاینده‌های آلی عمدتاً شامل حلال‌ها، رنگ-ها، آفت‌کش‌ها، دی اکسین‌ها و هیدروکربن‌های نفتی می‌شوند. عناصر کمیاب و فلزات سنگین نیز در گروه آلاینده-های معدنی قرار می‌گیرند. اما آلاینده‌های نفتی به سبب اثرات سمیتی و پایداری بسیار زیاد آن‌ها در خاک، ورود آن‌ها به خاک به عنوان آلاینده محیط زیست از اهمیت بالایی برخوردار است [۲۰۷] .

۲-۵- فلزات سنگین

یکی از مهمترین گروه‌های ترکیبات موجود در طبیعت، فلزات می‌باشند. از ۱۰۶ عنصر شناخته شده حدود ۸۲ عنصر از آن‌ها گروه‌های فلزی، ۶ عنصر شبه فلز و ۱۸ عنصر دیگر غیر فلز می‌باشد [۴۲]. فلزات عناصری هستند که در ترکیبات شیمیای به صورت یون های مثبت، یا در محلول‌ها به صورت کاتیون ها وجود دارند. فلزات یکی از اجزاء یا ناخالصی‌هایی هستند که توسط آب حمل نمی‌شوند. فلزاتی که معمولاً در آب یافت می‌شوند، باریم، کادمیم، مس، سرب، جیوه، نیکل، سلنیم، نقره و روی هستند. اغلب فلزات وارد شده به درون آب به عنوان بخشی از ترکیباتی که یونیزه می‌شوند به صورت یون های مثبت آزاد می‌شوند [۱۸۷].

فلز سنگین واژه‌ای است که کمتر به طور دقیق تعریفی از آن ارائه شده است. در واژه‌نامه‌های شیمیایی به فلزاتی که جرم مخصوص بیشتر از ۵ گرم بر سانتیمتر مکعب فلز سنگین اطلاق می‌شود. اما از نظر بیولوژی این واژه به عناصری که دارای خاصیت سمی هستند، گفته می‌شود. بر این اساس، فلزاتی که در لیست فلزات سنگین قرار می‌گیرند عبارتند از: آلومینیوم، آرسنیک، برلیم، بیسموت، کادمیم، کروم، کبالت، مس، آهن، سرب، منگنز، جیوه، نیکل، سلنیم، تالیم، قلع، تیتانیم و روی. برخی از این فلزات نظیر کروم و آهن جزء عناصر ضروری در جیره غذایی انسان هستند اما مقادیر بالای این عناصر بسیار سمی است [۳۶]. در میان فلزات آلاینده، سرب، کروم، کادمیم، مس، روی و جیوه بیشترین فراوانی را دارند [۹۹].

تعاریف مختلفی برای فلزات سنگین ارائه شده است:

-فلزاتی که عدد اتمیشان از ۲۳ به بعد باشد بغیر از Y,Rb,Sr,Cs,Ba,Fr [۴۲]

- فلزاتی که دانسیته آن ۵ برابر آب باشد [۴۲].

-فلزاتی با تراکم بالای ۵ کیلوگرم در دسی‌متر مکعب [۱۸۷].

-عناصری که به طور طبیعی به مقدار بسیار کم در اکوسیستم‌های زنده یافت می‌شوند [۳۱].

فلزات سنگین دو گروه ضروری و غیر ضروری تقسیم می‌شوند. فلزات سنگین ضروری را عناصر کم‌مصرف[1] می‌نامند. مقادیر بسیار اندک فلزات کم‌مصرف، برای ادامه حیات ضروری است و کمبود آن سبب بروز عارضه‌های مختلف در جانداران می‌شود. در عین حال اندک مازاد این عناصر، آسیب‌های سریع جانداران را به دنبال دارد [۳۸].

۲-۵-۱- تأثیرات فلزات سنگین

با پیشرفت روز افزون انسان در زمینه‌های مختلف صنعتی و کشاورزی، آلایندگی ترکیبات مختلف در محیط زیست اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. بخشی از آلودگی که در اثر فعالیت‌های انسان به محیط وارد می‌شود مربوط به آلاینده‌های فلزات سنگین است [۴۴].

آلودگی محیط توسط فلزات سنگین از زمانی که بشر آتش را کشف کرد آغاز و با توسعه تکنولوژی و صنعت و استفاده از معدن بیشتر شد. تا جایی که فعالیت‌های بشر مانند فعالیت‌های معدنی، تولید انرژی، استفاده از وسائل نقلیه، وسائل صنعتی، عملیات کشاورزی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی در محیط زیست سبب آلودگی سریع‌تر محیط زیست توسط این فلزات گردید و با پیدایش مسمومیت‌های شدید در مصرف‌کنندگان آب و محصولات کشاورزی به صورت مباحث داغ در دنیا مطرح شدند. مرگ و میر آبزیان نیز در اثر تخلیه پساب‌های محتوی فلزات سنگین در دنیا و حتی ایران بی سابقه نیست.

وجود فلزات سنگین در طبیعت به دلایل زیر قابل اعتراض بوده و باعث آلودگی می‌شود:

۱-امکان تجمع این فلزات در بدن موجودات و افزایش غلظت آن‌ها به حدی که بیش از مقدار مورد نیاز باشد باعث بروز عوارض خطرناکی می‌گردد.

۲-اثرات زیان آور در فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کمتر از حد استاندارد [۴۲]

۳-امکان تبدیل آن‌ها به مواد سمی در اثر پاره‌ای فعل و انفعالات، به عنوان مثال ترکیب فلز سنگین نظیر مس با کادمیم و روی با نیکل، سمیت آن‌ها را چندین برابر می‌کند [۲۵]

حساسیت شدید اطفال در برابر آن‌ها و همچنین احتمال در سرطان زایی برخی از آن‌ها [۱۶۰]

اغلب فلزات سنگین به دلیل سمی بودنشان مهم هستند [۱۷۵]. تقریباً ۳۰ فلز و شبه فلز[2] دارای قابلیت ایجاد مسمومیت برای انسان هستند [۱۷۷].

از دیدگاه تعادل جرم[3]، انتقال و توزیع عناصر سنگین از منابع ثابت و متحرک به سایر واسطه‌های محیطی عمدتاً از طریق اتمسفر صورت می‌گیرد. مقدار انتقال این عناصر از هوا به سایر اجزاء محیط زیست هنوز مشخص نشده است، ممکن است بخش مهمی از این عناصر از طریق رسوب منتقل شوند، اما مهمترین مکانیسم باران است [۱۰].

غلظت‌های بالای فلزات سنگین در خاک‌ها موجب خطرهای طولانی مدت برای اکوسیستم و انسان می‌گردد [۱۰۷]. مهاجرت آلاینده‌ها از این منابع، سلامتی انسان را به وسیله آلوده‌سازی محصولات زراعی و منابع آب سطحی تهدید می‌کنند [۱۳۵]. فلزات سنگین با عناصر معدنی ضروری موجود در بدن طی عمل متابولیسم واکنش انجام می‌دهند و اثرات مخربی را بر سیستم‌های عصبی، خونی، کلیوی و تناسلی وارد می‌آورند و همچنین گروه‌های

---

[1] - Trace elemant
[2] - Metalloid
[3] - Mass balance

عملکردی آنزیم‌های ضروری را غیر فعال می‌کنند [۹۳، ۹۵]. در خاک‌های رسی و آهکی، حلالیت فلزات سنگین کم است در حالی که در خاک‌های اسیدی مقدار قابل ملاحظه فلز ممکن است حل شود و برای جذب توسط گیاهان در دسترس می‌باشد. بعلاوه، اسیدی شدن خاک‌ها می‌تواند منجر به تحرک فلزات سنگین گردد. این امر خطر عمده‌ای برای آب‌های سطحی و زیر زمینی به دنبال دارد [۱۰۷]

فاضلاب‌های صنعتی و معدنی منابع عمده آلودگی ناشی از فلزات سنگین هستند. بعلاوه در کشورهای در حال توسعه، بسیاری از صنایع در مقیاس‌های کوچک و متوسط فعالیت می‌کنند. این واحدهای کوچک می‌توانند تولید کننده بار آلودگی قابل توجهی باشند که در بسیاری از حالات بدون هیچ‌گونه تسهیلاتی برای تصفیه فاضلاب به درون محیط زیست تخلیه می‌گردند [۱۶۸].

۲-۵-۲- اهمیت پیشگیری از انباشت عناصر در زمین‌های کشاورزی

با توجه به اهمیت موضوع آلودگی خاک‌ها به عناصر سنگین و خطرات آن‌ها در محیط زیست تحقیقات بسیار زیادی در زمینه‌های مختلف مانند شناسائی زمین‌های آلوده، بررسی رفتار عناصر در خاک و نحوه جذب آن‌ها توسط گیاه، تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و سایر موجودات، نحوه اصلاح زمین‌های آلوده و جنبه‌های دیگر صورت گرفته و می‌گیرد [۸۲، ۱۳۱، ۱۳۳، ۱۹۰، ۲۱۴]. تشخیص زمین‌های در معرض آلودگی به عناصر سنگین و پیش‌بینی زمان تقریبی وقوع آن با استفاده از روش‌های موجود امکان پذیر نمی‌باشد [۱۳۱]. به عبارت دیگر ، معمولاً بحث مدیریت مناطق آلوده در رابطه با زمین‌هایی مطرح می‌شود که اثرات نامطلوب ناشی از آلودگی توسط عناصر سنگین و یا سایر آلاینده‌ها در آن‌ها مشهود می‌باشد. علاوه بر اصل تقدم پیشگیری بر درمان، این نکته نیز بایستی در نظر گرفته شود که اصلاح خاک‌های آلوده در صورت امکان‌پذیر بودن مستلزم پرداخت هزینه‌های بسیار زیاد اقتصادی، معنوی و زمانی است. لذا بایستی تلاش‌های بیشتری برای جلوگیری از وقوع آلودگی صورت گیرد. به منظور پیشگیری از وقوع آلودگی خاک توسط عناصر سنگین به ویژه در زمین‌های کشاورزی دو مقوله باید مد نظر قرار گیرد: ۱) پراکنش مکانی در زمان حاضر (تعیین وضعیت کنونی) غلظت عناصر در زمین‌های کشاورزی به منظور شناسایی مناطق آلوده و ۲) تعیین نرخ انباشت عناصر در خاک با توجه به مدیریت فعلی زمین‌های کشاورزی. آگاهی در مورد دو بحث فوق برای برنامه‌ریزی صحیح و استفاده دراز مدت و پایدار از منابع آب و خاک و اتخاذ سیاست‌های بازدارنده در مقابل انباشت عناصر سنگین در خاک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

۲-۶- منابع ورود فلزات سنگین به خاک

۲-۶-۱- منابع طبیعی

الف)منشأ ژئوشیمیایی

در مناطق دوردست کوهستانی، خاک‌هایی با زمینه بالایی از عناصر سنگین مشاهده شده است که برای گیاه و حیوانات وحشی در حد سمیت می‌باشد. غلظت بالای این عناصر را می‌توان به مواد مادری منطقه نسبت داد. همه عناصر به طور طبیعی در خاک وجود دارند [۱۷۹] و در تعریف غلظت طبیعی آن‌ها در خاک می‌بایستی تغییرات زمین شناسی و جغرافیایی نیز درنظر گرفته شود [۱۱۹، ۱۷۹]. پوسته زمین از ۹۵ درصد سنگ‌های آذرین و ۵ درصد سنگ‌های رسوبی تشکیل شده که از این میان ۸۰ درصد شیل‌ها و ۱۵ درصد ماسه سنگ و ۵ درصد سنگ آهک است [۱۱۹]. سنگ‌های آذرین بازیک عموماً شامل غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین مثل مس، روی، کروم، کبالت و نیکل می‌باشند. شیل‌ها که از رسوبات ریز تشکیل شده‌اند از مقادیر زیادی از فلزات نادر مثل مس، روی، منگنز،