بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

توزیع مکانی کادمیوم، روی و وانادیوم در خاک سطحی و تجمع آن‌ها در تعدادی از محصولات زراعی استان همدان

پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست

امین گلشاهی

اساتید راهنما

دکتر علیرضا سفیانیان

دکتر نوراله میرغفاری

۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده منابع طبیعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط زیست آقای امین گلشاهی

تحت عنوان

توزیع مکانی کادمیوم، روی و وانادیوم در خاک سطحی و تجمع آن‌ها در تعدادی از محصولات زراعی استان همدان

در تاریخ ۹ / ۶ / ۱۳۸۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت:

۱ـ استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علیرضا سفیانیان
۲ـ استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر نوراله میرغفاری
۳ـ استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مجید افیونی
۴ـ استاد داور پایان‌نامه	دکتر حسین خادمی
۵ـ استاد داور پایان‌نامه	دکتر حمیدرضا کریم‌زاده
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر نوراله میرغفاری

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که توفیق دانش اندوزی و پیمودن راه معرفت ارزانی‌ام داشت.

تشکر و قدردانی می‌کنم از پدر عزیزم با لطف و بزرگواری همیشگی‌اش، مادر خوبم که مهر و محبت‌های بی‌دریغ‌اش دلگرمیم در تمام زندگیست و برادران و خواهران عزیزم، همراهان صدیقم.

بجاست سپاسگذار اساتید فرزانه‌ای باشم که از بوستان معرفتشان، گل دانایی و مهرورزی، شکوفه راستی و امید، شاباش بهاری دلم شده؛ و از زلال اندیشه‌هایشان، جرعه شفابخش هدایت یافته‌ام. اساتید فاضل و فرهیخته، جناب آقای دکتر سفیانیان و جناب آقای دکتر میرغفاری که راهنمایان این راه بودند و به لطف و کرم بی‌شائبه خود، چراغ هدایت، فرا راه نگارنده نهادند.

و گلبانگ عاشقانه سپاس، نثار استاد فاضل و فرزانه، جناب آقای دکتر افیونی که بی‌تردید، روشنای آفتاب ارشادشان، تیرگی‌های این راه را زدوده و نگارنده را تا رسیدن به سرمنزل مقصود، همراهی نموده‌اند.

و سپاس فراوان، نثار اساتید بزرگوار و دانا، ستارگان فروزان آسمان دانش و دانش افزایی، جناب آقای دکتر خادمی و جناب آقای دکتر کریم‌زاده که از سر مهر، رنج داوری این پایان‌نامه را به دوش کشیدند و مرا بدین محبت نواختند.

همچنین به سبب ادای وظیفه بر خود لازم می‌دانم که از راهنمایی‌های اندیشمندانه استاد فاضل و فرهیخته جناب آقای دکتر همامی که رهنمودهایش نقش مهمی در پیشرفت تحقیقات ایفا کرد، تشکر و قدردانی کنم.

از دانشجویان کارشناسی ارشد ورودی ۱۳۸۷ به ویژه هم‌کلاسی‌های عزیزم، از بچه‌های اتاق طرح به خصوص آقایان خداکرمی، قدیمی و افراز و همچنین از هم‌اتاقی‌های عزیزم آقایان محبتی، باقری و ایمری به پاس همیاری و لطف بی‌کرانشان در اجرای این پایان‌نامه، بی‌نهایت سپاسگزارم.

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

تقدیم به تو، تو که یگانه‌ای و بی همتا...

می دانم سالیانی است که سرمایه‌دار این مزرعه آبادی...

تقدیم به پدرم

و تو حجم سبز این مزرعه...

تقدیم به مادرم

...به پاس قلب‌های بزرگتان که فریادرس است

تقدیم به برادران وخواهرانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست اشکال ..... یازده
فهرست جداول ..... سیزده
چکیده ۱
فصل اول : مقدمه ۲
۱-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق ۲
۱-۲- فرضیات تحقیق ۴
۱-۳- اهداف تحقیق ۵
فصل دوم : بررسی منابع ۶
۲-۱- اهمیت محیط زیست ۶
۲-۲- آلودگی محیط زیست ۷
۲-۳- منابع ورود آلاینده‌ها ۷
۲-۴- آلودگی خاک ۸
۲-۵- فلزات سنگین ۹
۲-۶- منابع ورود فلزات سنگین به خاک ۱۱
۲-۶-۱- منابع طبیعی ۱۱
۲-۶-۲- منابع غیرطبیعی ۱۲
۲-۶-۳- ته‌نشست‌های اتمسفری ۲۱
۲-۷- رفتار فلزات سنگین در خاک ۲۳
۲-۷-۱- حلالیت فلزات سنگین در خاک ۲۳
۲-۷-۲- تثبیت فلزات سنگین در خاک ۲۵
۲-۸- ویژگی‌های فلزات سنگین مورد مطالعه ۲۵
۲-۸-۱- کادمیوم ۲۵
۲-۸-۲- روی ۲۸
۲-۸-۳- وانادیوم ۳۰
۲-۹- آلودگی و GIS ۳۱
۲-۱۰- تعیین میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین ۳۲
۲-۱۱- انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاهان ۳۳
۲-۱۲- ریسک ناشی از مصرف محصولات زراعی حاوی فلزات سنگین ۳۳
۲-۱۳- کاربرد زمین‌آمار در مطالعات آلودگی ۳۴
۲-۱۴- آنالیز همبستگی مکانی ۳۵

۲-۱۴-۱- ویژگی‌های تغییرنما ۳۵
۲-۱۴-۲- مدل‌های تئوری تغییرنما ۳۶
۲-۱۵- کریجینگ ۳۹
۲-۱۵-۱- انواع کریجینگ ۳۹
۲-۱۶- برخی مطالعات در رابطه با توزیع فلزات سنگین در خاک ۴۱
۲-۱۷- برخی مطالعات در رابطه با فلزات سنگین در گیاهان ۴۴
فصل سوم : مواد و روش‌ها ۴۷
۳-۱- محدوده مورد مطالعه ۴۷
۳-۲- نمونه برداری خاک ۵۱
۳-۳- تعیین غلظت فلزات سنگین و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ۵۳
۳-۴- نمونه برداری گیاهان زراعی و تعیین غلظت فلزات سنگین ۵۳
۳-۵- آنالیزهای آماری ۵۴
۳-۶- تهیه نقشه پراکنش فلزات سنگین و تعیین اعتبار نقشه‌های تولید شده ۵۴
۳-۷- بررسی وضعیت آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین ۵۵
۳-۸- فاکتور انتقال (TF) ۵۶
۳-۹- ارزیابی ریسک سلامتی فلزات سنگین گیاهان زراعی ۵۶
فصل چهارم : نتایج و بحث ۵۸
۴-۱- آمار توصیفی غلظت عناصر و برخی از پارامترهای خاک ۵۸
۴-۱-۱- پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی ۵۸
۴-۱-۲- کادمیوم خاک ۶۱
۴-۱-۳- روی خاک ۶۲
۴-۱-۴- وانادیوم خاک ۶۳
۴-۲- همبستگی بین پارامترهای خاک سطحی منطقه مورد مطالعه ۶۳
۴-۳- غلظت فلزات سنگین در محصولات زراعی ۶۵
۴-۳-۱- غلظت کادمیوم در محصولات زراعی ۶۵
۴-۳-۲- غلظت روی در محصولات زراعی ۷۰
۴-۳-۳- غلظت وانادیوم در محصولات زراعی ۷۷
۴-۴- همبستگی میزان فلزات سنگین در گیاهان با پارامترهای خاک ۷۸
۴-۵- توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک ۸۱
۴-۶- بررسی وضعیت آلودگی خاک منطقه به فلزات سنگین ۹۱
۴-۷- فاکتور انتقال فلزات سنگین به گیاه ۹۹
۴-۸- ارزیابی ریسک سلامتی فلزات سنگین در محصولات زراعی ۱۰۶
فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱

۵-۱- جمع بندی نتایج فلزات سنگین خاک ۱۱۱
۵-۲- جمع بندی نتایج فلزات سنگین گیاهان مورد مطالعه ۱۱۲
۵-۳- پیشنهادات ۱۱۳
منابع ۱۱۴
چکیده انگلیسی ۱۲۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- خاک حلقه مهم در چرخه آلاینده‌های مختلف ۹
شکل ۲-۲- شماتیک محدوده آستانه عناصر سنگین برای موجودات زنده ۱۰
شکل ۲-۳- تغییرات غلظت فلزات سنگین روی، سرب و مس با عمق در مطالع‌های در دشت‌های سیلابی آلمان ۱۰
شکل ۲-۴- منابع غیرطبیعی ورود عناصر سنگین به آب و خاک ۱۳
شکل ۲-۵- تأثیر پتانسیل ریداکس بر حلالیت فلزات سنگین در آب ۲۴
شکل ۲-۶- تأثیر pH خاک بر حرکت فلزات سنگین در یک خاک معدنی سبک ۲۴
شکل ۲-۷- تهیه نقشه پتانسیل آلودگی به کمک GIS به صورت یک فرآیند سه مرحله‌ای ۳۲
شکل ۲-۸- نمونه‌ای از یک تغییر نما و پارامترهای آن ۳۶
شکل ۲-۹- نمونه‌ای از مدل اثرقطعه‌ای تام ۳۷
شکل ۲-۱۰- نمونه‌ای از تغییرنمای (A) مدل کروی، (B) مدل خطی، (C) مدل نمایی و (D) مدل گوسی ۳۸
شکل ۳-۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه (استان همدان) به همراه شهرستان‌های استان ۴۹
شکل ۳-۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (استان همدان) ۵۰
شکل ۳-۳- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه (استان همدان) ۵۰
شکل ۳-۴- تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (استان همدان) ۵۲
شکل ۳-۵- روش نمونه‌برداری از خاک سطحی منطقه مورد مطالعه ۵۲
شکل ۳-۶- موقعیت نقاط نمونه برداری خاک سطحی منطقه مورد مطالعه ۵۳
شکل ۴-۱- مقایسه حداکثر غلظت کل کادمیوم خاک سطحی منطقه مورد مطالعه با حداکثر غلظت کل مجاز در خاک کشورهای مختلف با توجه به سمیت آنها برای گیاه ۶۲
شکل ۴-۲- مقایسه غلظت‌های بالای روی کل خاک سطحی منطقه مورد مطالعه با حداکثر غلظت کل مجاز در خاک کشورهای مختلف با توجه به سمیت آنها برای گیاه ۶۳
شکل ۴-۳- میانگین غلظت کادمیوم سیب زمینی (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۶۷
شکل ۴-۴- میانگین غلظت کادمیوم گندم (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۶۸
شکل ۴-۵- میانگین غلظت کادمیوم جو (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۶۸
شکل ۴-۶- میانگین غلظت کادمیوم یونجه (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۶۹
شکل ۴-۷- میانگین غلظت کادمیوم ذرت (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۶۹
شکل ۴-۸- میانگین غلظت روی سیب زمینی (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۷۱
شکل ۴-۹- میانگین غلظت روی گندم (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۷۲
شکل ۴-۱۰- میانگین غلظت روی جو (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۷۲
شکل ۴-۱۱- میانگین غلظت روی ذرت (mg/kg) در استان همدان و مقایسه آن با میانگین سایر کشورها ۷۳
شکل ۴-۱۲- موقعیت نقاط نمونه‌برداری گیاه سیب زمینی در استان همدان که مقادیر روی آنها پایین‌تر از حداقل مقدار نرمال روی در گیاهان (۱۰۰ ـ ۲۵ میلیگرم بر کیلوگرم) می‌باشد ۷۴

شکل ۴-۱۳- موقعیت نقاط نمونه‌برداری گیاه گندم در استان همدان که مقادیر روی آنها پایین‌تر از حداقل مقدار نرمال روی در گیاهان (۱۰۰ ـ ۲۵ میلیگرم بر کیلوگرم) می‌باشد ۷۴
شکل ۴-۱۴- موقعیت نقاط نمونه‌برداری گیاه جو در استان همدان که مقادیر روی آنها پایین‌تر از حداقل مقدار نرمال روی در گیاهان (۱۰۰ ـ ۲۵ میلیگرم بر کیلوگرم) می‌باشد ۷۵
شکل ۴-۱۵- موقعیت نقاط نمونه‌برداری گیاه یونجه در استان همدان که مقادیر روی آنها پایین‌تر از حداقل مقدار نرمال روی در گیاهان (۱۰۰ ـ ۲۵ میلیگرم بر کیلوگرم) می‌باشد ۷۵
شکل ۴-۱۶- موقعیت نقاط نمونه‌برداری گیاه ذرت در استان همدان که مقادیر روی آنها پایین‌تر از حداقل مقدار نرمال روی در گیاهان (۱۰۰ ـ ۲۵ میلیگرم بر کیلوگرم) می‌باشد ۷۶
شکل ۴-۱۷- میانگین غلظت روی (mg/kg) در گیاهان ۷۶
شکل ۴-۱۸- سمی‌واریوگرام فلزات سنگین خاک ۸۳
شکل ۴-۱۹- توزیع مکانی فلزات سنگین خاک ۸۴
شکل ۴-۲۰- میانگین غلظت کادمیوم خاک سطحی استان همدان به تفکیک طبقات زمین شناسی ۸۵
شکل ۴-۲۱- میانگین غلظت روی خاک سطحی استان همدان به تفکیک طبقات زمین شناسی ۸۷
شکل ۴-۲۲- میانگین غلظت روی خاک سطحی استان همدان به تفکیک کاربری‌ها ۸۷
شکل ۴-۲۳- میانگین غلظت وانادیوم خاک سطحی استان همدان به تفکیک طبقات زمین شناسی ۸۹
شکل ۴-۲۴- نقشه خطای تخمین توزیع فلزات سنگین خاک ۹۰
شکل ۴-۲۵- نقشه غلظت زمینه فلزات سنگین خاک به تفکیک طبقات زمین شناسی ۹۲
شکل ۴-۲۶- توزیع فراوانی شاخص IGL برای کادمیوم خاک سطحی ۹۴
شکل ۴-۲۷- توزیع فراوانی شاخص IGL برای روی خاک سطحی ۹۵
شکل ۴-۲۸- توزیع فراوانی شاخص IGL برای وانادیوم خاک سطحی ۹۵
شکل ۴-۲۹- نقشه شاخص بار زمین شیمیایی فلزات سنگین خاک ۹۸
شکل ۴-۳۰- میانگین فاکتور انتقال فلز روی برای گیاهان مختلف ۱۰۰
شکل ۴-۳۱- نقشه فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاه سیب زمینی ۱۰۲
شکل ۴-۳۲- نقشه فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاه گندم ۱۰۳
شکل ۴-۳۳- نقشه فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاه جو ۱۰۴
شکل ۴-۳۴- نقشه فاکتور انتقال فلزات سنگین در گیاه یونجه ۱۰۵
شکل ۴-۳۵- نقشه شاخص ریسک سلامتی برای فلزات سنگین در سیب زمینی ۱۰۸
شکل ۴-۳۶- نقشه شاخص ریسک سلامتی برای فلزات سنگین در گیاه گندم در جمعیت مردان ۱۰۹
شکل ۴-۳۷- نقشه شاخص ریسک سلامتی برای فلزات سنگین در گیاه گندم در جمعیت زنان ۱۱۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- میانگین فلزات سنگین (mg/kg) در لیتوسفر خاک ۱۲
جدول ۲-۲- تخمین مقدار ورودی عناصر سنگین به خاک‌ها در سطح جهانی ۱۵
جدول ۲-۳- ویژگی کمپوست و کمپوست پاک ۱۵
جدول ۲-۴- حدود غلظت برخی از عناصر سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در لجن فاضلاب برخی از کشورها ۱۷
جدول ۲-۵- حدود مجاز فلزات سنگین در لجن فاضلاب مصرفی در اراضی کشاورزی ۱۷
جدول ۲-۶- درصد برخی از عناصر که از طریق مصرف آفت‌کش‌ها وارد اکوسیستم می‌شوند ۱۸
جدول ۲-۷- آفت‌کش‌های حاوی فلزات سنگین و مقدار مصرف سالانه ۱۸
جدول ۲-۸- غلظت تعدادی از عناصر سنگین در سنگ‌های فسفاته مهم‌ترین کشورهای دارای معادن فسفات ۱۹
جدول ۲-۹- دامنه غلظت عناصر سنگین در کودها و مواد آهکی ۲۰
جدول ۲-۱۰- حداکثر غلظت مجاز فلزات سنگین ($mg\ L^{-1}$) در آب آبیاری ۲۱
جدول ۲-۱۱- پراکندگی جهانی برخی عناصر نادر ($Gg\ yr^{-1}$) در اتمسفر ۲۲
جدول ۲-۱۲ طبقات مختلف درجه آلودگی برای شاخص بار زمین‌شیمیایی ۳۳
جدول ۴-۱- آمار توصیفی غلظت عناصر و برخی از پارامترهای خاک سطحی منطقه مورد مطالعه ۶۰
جدول ۴-۲- میزان معنی‌داری آزمون کولموگروف اسمیرنوف برای پارامترهای خاک سطحی منطقه مورد مطالعه ۶۱
جدول ۴-۳- ضریب همبستگی بین فلزات سنگین و برخی خصوصیات خاک سطحی در استان همدان ۶۵
جدول ۴-۴- آمار توصیفی غلظت فلزات سنگین در تعدادی از محصولات زراعی در استان همدان ۶۶
جدول ۴-۵- نتایج آزمون من‌ویتنی برای مقایسه میانگین کادمیوم (mg/kg) بین گیاهان مختلف ۷۰
جدول ۴-۶- نتایج آزمون من‌ویتنی برای مقایسه میانگین وانادیوم (mg/kg) بین گیاهان مختلف ۷۷
جدول ۴-۷- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گیاه سیب زمینی با پارامترهای خاک ۷۹
جدول ۴-۸- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گیاه گندم با پارامترهای خاک ۷۹
جدول ۴-۹- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گیاه جو با پارامترهای خاک ۸۰
جدول ۴-۱۰- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گیاه یونجه با پارامترهای خاک ۸۰
جدول ۴-۱۱- ضرایب همبستگی بین غلظت فلزات سنگین گیاه ذرت با پارامترهای خاک ۸۱
جدول ۴-۱۲- آنالیز همبستگی مکانی روش‌های مختلف کریجینگ برای تهیه نقشه‌های توزیع فلزات سنگین خاک ۸۲
جدول ۴-۱۳- نتایج آزمون من‌ویتنی برای مقایسه میانگین کادمیوم (mg/kg) بین کاربری‌های مختلف ۸۶
جدول ۴-۱۴- نتایج آزمون من‌ویتنی برای مقایسه میانگین وانادیوم (mg/kg) بین کاربری‌های مختلف ۸۹
جدول ۴-۱۵- آمار توصیفی شاخص IGL فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه ۹۳
جدول ۴-۱۶- آنالیز همبستگی مکانی روش‌های مختلف کریجینگ برای تهیه نقشه شاخص IGL فلزات سنگین خاک ۹۶
جدول ۴-۱۷- آمار توصیفی مقادیر PCF غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه برای گیاهان مختلف ۹۹
جدول ۴-۱۸- نتایج آزمون من‌ویتنی برای مقایسه میانگین فاکتور انتقال کادمیوم بین گیاهان مختلف ۱۰۰
جدول ۴-۱۹- مقادیر شاخص DIM و HRI برای فلزات سنگین گندم و سیب زمینی در منطقه مورد مطالعه ۱۰۷

چکیده

نگرانی جهانی در رابطه با سمیت فلزات سنگین در محیط زیست وجود دارد. آلودگی خاک به عناصر سنگین می‌تواند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامتی موجودات زنده اثر گذارد. با افزایش غلظت فلزات در خاک، احتمال ورود آن‌ها به گیاهان نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه، تجمع آن‌ها به خصوص در محصولات کشاورزی برای سلامتی انسان مخاطره‌آمیز خواهد بود. هدف از این مطالعه، تعیین توزیع مکانی کادمیوم، روی و وانادیوم در خاک سطحی استان همدان، ارزیابی وضعیت آلودگی این فلزات در خاک و تعدادی از محصولات کشاورزی و بررسی ریسک ناشی از عناصر سنگین موجود در گیاهان مصرفی کشت شده در اراضی کشاورزی می‌باشد. بدین منظور با استفاده از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی، نمونه‌های خاک سطحی (۲۰ـ۰ cm) برداشت گردید و غلظت عناصر سنگین و برخی از پارامترهای خاک از جمله pH، EC، درصد ماده آلی و درصد شن، درصد سیلت و درصد رس تمامی نمونه‌ها آنالیز شد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نقاط نمونه‌برداری خاک واقع بر روی اراضی کشاورزی تعیین گردید و نمونه‌های گیاهان سیب زمینی (غده)، گندم، جو و ذرت (بذر) و یونجه (اندام هوایی) برداشت شد. دقت روش‌های کریجینگ با مدل‌های مختلف با استفاده از خطای قدرمطلق میانگین و خطای بایاس میانگین مقایسه شد و روشی که دارای بالاترین میزان دقت بود برای تهیه نقشه فلزات سنگین خاک مورد استفاده قرار گرفت. غلظت زمینه برای کادمیوم و وانادیوم با استفاده از پارامتر میانه و برای فلز روی با استفاده از شاخص توزیع زمین شیمیایی محاسبه شد و وضعیت آلودگی خاک با استفاده از شاخص بار زمین شیمیایی تعیین گردید. فاکتور انتقال فلزات سنگین از خاک به گیاه نیز برای تعیین میزان انباشتگی آن‌ها در گیاهان زراعی محاسبه شد. پتانسیل ریسک سلامتی در ارتباط با عناصر سنگین محصولات زراعی (گندم و سیب زمینی) نیز با استفاده از شاخص ریسک سلامتی، ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که غلظت عناصر مورد مطالعه در خاک استان همدان در دامنه طبیعی قرار دارد و کمتر از حداکثر غلظت مجاز با توجه به سمیت آن‌ها برای گیاه می‌باشد. میزان کادمیوم، روی و وانادیوم گیاهان نیز پایین‌تر از حد سمیت آن‌ها در گیاهان است. برای پهنه‌بندی فلزات سنگین خاک، کریجینگ گسسته با مدل نمایی برای کادمیوم و وانادیوم و کریجینگ ساده با مدل گوسی برای فلز روی، دارای بالاترین میزان دقت در بین روش‌های کریجینگ بودند. روی‌هم‌گذاری توزیع مکانی فلزات سنگین خاک با نقشه‌های زمین شناسی و کاربری اراضی نشان داد که کادمیوم منشأ زمین شناسی و کشاورزی دارد. برای فلز روی علاوه بر ماده مادری خاک، فعالیت‌های کشاورزی در غنی شدن خاک منطقه به این عنصر نقش به‌سزایی داشته است. برای وانادیوم عامل اصلی که غلظت این عنصر را کنترل می‌کند، زمین شناسی منطقه می‌باشد. براساس شاخص بار زمین شیمیایی به جز تعداد ۱۰ نمونه خاک که از نظر کادمیوم آلوده و بر روی اراضی کشاورزی واقع بودند، آلودگی خاک به فلزات سنگین وجود ندارد. بالاترین مقدار فاکتور انتقال نیز مربوط به کادمیوم در گیاه سیب زمینی می‌باشد. براساس شاخص ریسک سلامتی مصرف گندم و سیب زمینی منطقه از نظر وجود کادمیوم و روی، ریسکی برای سلامتی انسان ندارد؛ اما مصرف گیاه گندم بواسطه ورود وانادیوم می‌تواند دارای ریسک نسبتاً بالایی باشد.

کلمات کلیدی: استان همدان، فلزات سنگین، آلودگی خاک، کریجینگ، محصولات زراعی، ریسک سلامتی

فصل اول
مقدمه

۱-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق

با رشد روز افزون جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز به امکانات و مواد اولیه، بشردست به اقداماتی می‌زند که آگاهانه و نا آگاهانه بستر حیات خویش را تخریب می‌کند. وی به جای آینده‌نگری نسبت به استفاده پایدار از طبیعت، اقدام به برداشت‌های بی‌رویه و افراطی در محیط پیرامون خود می‌کند. این روند قهقرائی پس از انقلاب صنعتی سرعت گرفته و از سوی دیگر رشد چشمگیر فن‌آوری و نیاز به مواد و امکانات بیشتر، این روند را تشدید کرده است [۲۱]. تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد، با توجه به منابع طبیعی محدود و به نحوی که محیط زیست کمترین تأثیر را متحمل گردد، یکی از مباحث بسیار مهم در جهان به شمار می‌رود [۷۱].

بسیاری از توجهاتی که نسبت به خاک نشان داده می‌شود به طور خاص به تولید مواد غذایی منتهی می‌گردد [۴۶]. خاک محیطی طبیعی برای رشد گیاهان است و از آنجا که گیاهان منبع تغذیه برای موجودات به طور مستقیم و غیرمستقیم هستند، هر نوع تغییری در کیفیت و خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بر موجودات دیگر تأثیرگذار است. از این‌رو، بررسی و شناسایی عوامل آلاینده در خاک امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. آلاینده‌ها پس از ورود به خاک می‌توانند به آلودگی آب و هوا نیز منجر شوند و در نهایت آلودگی زنجیره‌ی غذایی را به دنبال داشته باشند. آلاینده‌ها حاصلخیزی خاک را نیز تغییر داده و کارایی مطلوب خاک را کاهش می‌دهند [۷۹، ۱۲۱].

به طورکلی هرنوع تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی محیط به طوری‌که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن‌ها مختل گردد و به طور مستقیم یا غیرمستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد، آلودگی محیط‌زیست گفته می‌شود [۱۹، ۲۸]. در یک نوع تقسیم‌بندی، منابع آلاینده را به دو دسته‌ی نقطه‌ای (در یک نقطه متمرکز و معمولاً دارای غلظت بالای آلاینده‌ها) و غیرنقطه‌ای (دارای غلظت کمتر و دامنه‌ی انتشار وسیع‌تر) تقسیم می‌کنند [۲۶]. در حال حاضر منابع آلاینده‌های غیرنقطه‌ای به عنوان مهم‌ترین عوامل آلوده کننده‌ی آب و خاک در مقیاس جهانی به شمار می‌روند و کشاورزی و حمل و نقل، بیشترین سهم را در ایجاد این نوع آلاینده‌ها دارند [۳۸].

مهم‌ترین آلاینده‌های خاک شامل فلزات سنگین، بارش اسیدی و مواد آلی می‌باشند. آلودگی خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم بر سلامتی موجودات زنده اثر می‌گذارد. فلزات سنگین به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا یعنی عناصر فلزی با جرم اتمی بیشتر از آهن (۵۵/۸ g/mol یا جرم حجمی بیشتر از ۵ g/cm^3) بوده و در غلظت‌های کم نیز سمی می‌باشند. به طور معمول فلزات سنگین را شامل کادمیوم، روی، سرب، آرسنیک، برلیم، بر، وانادیوم، سلنیم، جیوه، مس و برخی دیگر از فلزات در نظر می‌گیرند. برخی از فلزات سنگین نظیر روی، نیکل و مس در غلظت‌های پایین برای متابولیسم موجودات زنده ضروری بوده [۲۰۴]، اما در غلظت‌های بالا اثرات معکوس بر سلامت موجودات دارند [۱۶۳]. برخی از فلزات مانند کادمیوم نیز در بدن انسان برای دوره‌های طولانی تجمع می‌یابند، بنابراین اثرات منفی این فلزات ممکن است تا مدت‌ها پس از ورود آن‌ها به بدن آشکار شود [۱۶۴]. سطح بالای وانادیوم نیز در بدن می‌تواند باعث بعضی از بیماری‌های کلیوی و استخوان شود. همچنین ترکیبات وانادیوم به شدت سمی بوده و در صورت تنفس ممکن است باعث سرطان ریه شوند [۱۱۹].

منبع اصلی ورود فلزات سنگین به خاک به دو دسته‌ی صنعتی (استخراج معادن، استفاده از سوخت‌های فسیلی و سوزاندن ضایعات) و کشاورزی (مانند استفاده از کود، کمپوست، لجن فاضلاب) که هر دو جزو منابع غیرطبیعی هستند، تقسیم می‌شوند [۱۹، ۵۳، ۸۴]. بنابراین با توجه به توسعه‌ی فعالیت‌های کشاورزی به عنوان یکی از منابع ورود فلزات سنگین به خاک، بررسی وضعیت آلودگی خاک و سپس آلودگی زنجیره غذایی به فلزات سنگین ضرورت دارد.

یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی خاک در مقیاس منطقه، عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط می‌باشد. بدین منظور، استفاده از راهکار مناسب برای تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به سایر نقاط توصیه می‌گردد. همچنین به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مرتبط با نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده و مناطق در معرض آلودگی، استفاده از روش‌های آماری پیشرفته بسیار مفیدند [۱۷۹، ۱۸۱]. روشی که در سال‌های اخیر به آن توجه بسیاری شده است، زمین آمار (شاخه‌ای از علم آمار کاربردی) می‌باشد [۴۰]. این علم با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده، قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری به منظور برآورد خصوصیت مورد نظر در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌باشد. زمین آمار یکی از دقیق‌ترین روش‌هایی است که علاوه بر توصیف تغییرات مکانی و زمانی داده‌ها، قادر به تهیه نقشه‌های کمی پراکندگی با حداقل واریانس ممکن می‌باشد [۴۱].

با پیشرفت بشر در پردازش داده‌ها و پیدایش و تکامل سیستم‌های اطلاعاتی از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی[1]، تهیه نقشه‌های کمی آلودگی‌های اجزای تشکیل دهنده‌ی محیط زیست (آب، هوا و خاک) آسان‌تر و سریع‌تر شده است. در دهه‌ی اخیر، دانشمندان خاک GIS را به‌عنوان ابزاری برای سازمان‌دهی داده و تصور مکانی مدل تخمین آلودگی منابع غیرنقطه‌ای به کار برده‌اند [۲۰۳]. نتایج حاصل از کاربرد GIS و روش های زمین‌آمار برای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی و تصمیم‌گیری برای کشاورزی از دقت بیشتری برخوردارند [۱۳۸]. روش‌های زمین‌آمار مثل کریجینگ[2] برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، پتانسیل بالایی دارند و همچنین به عنوان روش مناسبی برای درون‌یابی وتهیه‌ی نقشه‌های آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند [۱۱۶، ۲۰۸] بنابراین ابزار مفیدی برای ارزیابی و شناسایی مناطقی می‌باشند که نیاز به تصفیه دارند [۴۲].

با وجود اهمیت عناصر سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور، تحقیقاتی که بتواند توزیع فلزات سنگین در خاک را به صورت نقشه‌های کاربردی ارائه کند به ندرت انجام گرفته است. موحدی راد (۱۳۸۶) در خاک‌های سطحی بخشی از استان قم [۳۴]، خسروی دهکردی (۱۳۸۶) در خاک‌های شهری، صنعتی و کشاورزی شهر اصفهان [۱۷]، صدر (۱۳۸۵) در اراضی کشاورزی، صنعتی و شهری اصفهان [۲۵]، امینی و همکاران (۲۰۰۵) در خاک‌های سطحی اصفهان [۴۳] و بقائی (۱۳۸۲) در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه [۸]، مطالعاتی را در زمینه تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین انجام داده‌اند. در استان همدان نیز تقی‌پور (۱۳۸۸) تغییرات مکانی برخی از فلزات سنگین را در شهرستان‌های همدان و بهار بررسی کرده است [۱۴]. اما در سایر بخش‌های استان مطالعاتی در مورد پراکنش مکانی فلزات سنگین در خاک وجود ندارد.

به طورکلی، در زمین‌های کشاورزی به دلیل مصرف کودهای شیمیایی و آلی، امکان آلودگی به فلزات سنگین بالا است و حتی ممکن است از حد مجاز استانداردها نیز فراتر رود [۲۶، ۳۲، ۵۲]. همچنین جذب فلزات سنگین توسط گیاهان خوراکی کشت شده در اراضی کشاورزی و مصرف گیاهان مذکور توسط انسان‌ها نیز می‌تواند برای سلامتی بسیار مخاطره‌آمیز باشد. بنابراین به دلیل اهمیت استان همدان از نظر تمرکز فعالیت‌های کشاورزی، تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی منطقه و مقایسه غلظت فلزات سنگین موجود در گیاهان کشت شده با استانداردهای موجود، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لذا این تحقیق در خاک‌های سطحی و گیاهان سیب زمینی، گندم، جو، یونجه و ذرت کشت شده در استان همدان با توجه به فرضیات و اهداف زیر صورت گرفت.

۱-۲- فرضیات تحقیق

تحقیق حاضر به منظور بررسی زمین آماری تغییرات مکانی کادمیوم، روی و وانادیوم خاک‌های سطحی استان همدان با فرضیات زیر انجام پذیرفت:

۱- توزیع و تغییرات غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه وابستگی مکانی دارد.

۲- نوع کاربری اراضی رابطه معنی‌داری با مقدار عناصر سنگین در خاک دارد.

1- Geographical Information System (GIS)
2- Kriging

۳- استفاده‌ی زیاد از کودهای شیمیایی و آلی در منطقه می‌تواند عاملی برای ورود عناصر سنگین به خصوص کادمیوم به خاک باشد.

۴- عامل ماده مادری در منطقه مورد مطالعه می‌تواند تأثیر معنی‌داری بر غلظت آلاینده‌ها در خاک داشته باشد.

۵- خصوصیات خاک مثل pH، ماده آلی و درصد رس خاک می‌توانند بر غلظت عناصر سنگین در خاک موثر باشند.

۶- ورود فلزات سنگین خاک به گیاهان مصرفی و سپس مصرف آن‌ها توسط انسان‌ها می‌تواند برای سلامتی انسان مخاطره‌آمیز باشد.

۱-۳- اهداف تحقیق

با توجه به فرضیات ذکر شده، هدف از انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

۱- تعیین توزیع مکانی عناصر کادمیوم، روی و وانادیوم در خاک سطحی استان همدان با استفاده از زمین آمار و سیستم اطاعات جغرافیایی (GIS)

۲- بررسی اثر کاربری اراضی بر توزیع فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

۳- بررسی اثر مواد مادری بر توزیع فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه

۴- ارزیابی غلظت فلزات سنگین موجود در گیاهان سیب زمینی، گندم، جو، یونجه و ذرت

۵- بررسی ریسک ناشی از فلزات سنگین موجود در گیاهان خوراکی کشت شده در اراضی کشاورزی منطقه

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱- اهمیت محیط زیست

امروزه مسئله آلودگی محیط زیست به خاطر رشد سریع جمعیت، صنعت و محدودیت‌های منابع طبیعی بیش از پیش مورد توجه کارشناسان واقع شده و همچنین به صورت یک مسئله قابل لمس مورد توجه عامه مردم قرار گرفته است.

محیط زیست متشکل از نظام‌های اتمسفر (هوا، ذرات آب و ذرات معلق)، پدوسفر (کره خاکی)، بیوسفر (کره زنده) و هیدروسفر (آب کره) می‌باشد [۳۲]. به طورکلی، به تمامی نظام‌ها اعم از زیستی و غیرزیستی، مادی و غیرمادی که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر زندگی و سلامت زیست کره اثر داشته باشد، محیط زیست گفته می‌شود [۹، ۱۳]. خاک نیز ترکیب ویژه‌ای از زیست کره است که نه تنها یک مخزن بیوشیمیایی برای آلودگی‌هاست، بلکه به عنوان یک بافر طبیعی کنترل کننده انتقال عناصر و مواد شیمیایی به هوا کره، آب کره و جانداران بشمار می‌رود [۱۲۱]. گسترش روزافزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی‌رویه‌ی بشر در طبیعت منجربه تخریب محیط زیست گردیده، به‌طوری‌که طی سال‌های گذشته تغییرات قابل ملاحظه و اثرات مشهودی در آن به وجود آمده است. به همین دلیل نگرانی در زمینه روش‌های حفاظت از محیط زیست بیش از پیش مهم می‌باشد و باید به نحو مطلوبی اقدامات کنترل آلودگی به کار گرفته شود و نظارت جدی بر حفظ منابع طبیعی صورت گیرد [۱۴].

از ابزارهای اصلی برنامه ریزی و مدیریت زیرساخت‌ها در بخش‌های مختلف جهت رسیدن به توسعه‌ی پایدار و همه‌جانبه، ارزیابی زیست محیطی پروژه‌های درحال برنامه‌ریزی جهت ساخت و حتی در حال استفاده می‌باشد.

ارزیابی زیست محیطی علاوه بر بررسی مولفه‌های محیطی، بازه‌ای بسیار وسیع از مطالعات و مباحث اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، انسانی و غیره را شامل می‌شود. در واقع آینده و اثرات اجرای پروژه را ترسیم می‌کند. یکی از شاخه‌های ارزیابی زیست محیطی پروژه‌ها، ارزیابی آلودگی ناشی از ساخت و بهره‌برداری از مجتمع‌ها، صنایع و فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد [۱۳، ۳۸].

۲-۲- آلودگی محیط زیست

تخریب و آلودگی محیط زیست ثمره‌ی ویژه‌ی جوامع صنعتی و یکی از ره‌آوردهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است. با این حال اثرات آن یک مشکل جهانی می‌باشد که نه تنها متوجه یک مجموعه خاص، بلکه متوجه همه جوامع نیز می‌شود [۱۹، ۲۸].

ماده آلوده کننده، ماده‌ای است که در جایی قرار می‌گیرد که به‌طور طبیعی نمی‌بایست آن‌جا قرار می‌گرفت و یا دارای غلظتی بیش از غلظت طبیعی می‌باشد، به نحوی که اثرات نامطلوبی بر روی موجودات زنده داشته باشد. براساس این تعریف آفت‌کش‌هایی که در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند، به شرط این‌که به زیر منطقه توسعه ریشه نفوذ نکنند و یا به همراه رواناب سطحی جابه‌جا نشوند، جزو مواد آلوده‌کننده به حساب نمی‌آیند. همچنین ورود فلزات سنگین از طریق آتشفشان‌ها و فرسایش کانسارهای حاوی این فلزات نیز، به دلیل این‌که باعث می‌شوند غلظت فلزات سنگین از حد مجاز بالاتر رفته و بر موجودات زنده اثر نامطلوب بگذارند، آلودگی طبیعی ایجاد می‌کنند [۷۹].

۲-۳- منابع ورود آلاینده‌ها

آلاینده‌ها از راه‌های مختلفی وارد طبیعت می‌شوند، بنابراین می‌توان تقسیم‌بندی‌های متفاوتی را برای آن‌ها در نظر گرفت. در یک نوع تقسیم بندی برای آلاینده‌ها، دو مرجع اصلی یعنی انسان و طبیعت را در نظر می‌گیرند و در تقسیم بندی دیگر، منابع آلاینده را به دو دسته‌ی نقطه‌ای[1] و غیرنقطه‌ای[2] تقسیم می‌کنند. تفاوت آلاینده‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای تنها از لحاظ گسترش مکانی آن‌هاست [۳۸]. آلودگی نقطه‌ای در یک نقطه متمرکز بوده و معمولاً غلظت آلاینده‌ها در آن بالاست و ممکن است بسیار سمی باشند. در سال‌های اخیر نگرانی‌ها بیشتر متوجه آلاینده‌هایی شده است که دارای غلظت کمتر ولی دامنه‌ی انتشار وسیع‌تر می‌باشند. آلاینده‌های غیرنقطه‌ای، به‌طور طبیعی و یا به طور مستقیم از به‌کارگیری فناوری توسط انسان حاصل می‌شوند، اما صرف‌نظر از نحوه ورود و انتقال، معمولاً از فعالیت‌های انسانی مانند صنعت (عمدتاً صنایع شیمیایی و ذوب فلز) ناشی می‌شوند [۱۹، ۲۶، ۳۸]. امروزه منابع آلاینده‌های غیرنقطه‌ای به عنوان مهمترین عوامل آلوده‌کننده منابع آب و خاک در مقیاس جهانی به‌شمار می‌روند و کشاورزی و حمل و نقل بیشترین سهم را در ایجاد این نوع آلاینده‌ها دارند [۳۸، ۸۵]. ارزیابی دقیق اثرات این آلودگی‌ها روی هر اکوسیستم در مقیاس جهانی با توجه به میزان و گسترش آن‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. دشواری بررسی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای بیشتر ناشی از موقعیت، مقیاس، پیچیدگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و ناهمگونی مکانی محیط مورد مطالعه می‌باشد [۱۳۳، ۱۴۷].

1- Point source
2- Non-point source

۲-۴- آلودگی خاک

فعالیت‌های روز افزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد بخش خاک، که خود جزئی از بخش فراگیر پوسته زمین است، در مواردی دچار اختلال شود که این پدیده را می‌توان آلودگی نامید. در حالت طبیعی، سیستم خاک توانایی قابل توجهی در مقابله با عوامل خارجی داشته و همواره در جستجوی یک حالت تعادل می‌باشد. در نتیجه خاک هنگامی آلوده می‌گردد که این توان مقابله و درگیری دچار اختلال شده و یا از هنجار طبیعی فراتر رود. برخلاف آب و هوا، آلودگی خاک به ترکیبات شیمیایی به آسانی قابل اندازه‌گیری نیست و اصولاً یک خاک پاک یا خالص را نمی‌توان تعریف کرد [۶].

به‌علاوه، خاک نقش مهمی را در تمامی انواع حیات دارد به طوری‌که محیط منحصر به فردی برای زندگی به ویژه برای گیاهان می‌باشد. همچنین یک محل آرمانی برای تجزیه، فساد و به طورکلی چرخه آلاینده‌های مختلف محسوب می‌شود [۱۷]. خاک منبع اصلی تامین عناصر کم نیاز مورد نیاز بدن می‌باشد که از طریق گیاهان و حیوانات به بدن انسان می‌رسند. از نظر بیولوژیکی عناصر کم نیاز، فعالترین عناصر به شمار می روند. خاک می‌تواند از چند طریق سلامتی انسان را نیز تهدید نماید به‌طوری‌که از طریق بلع، استنشاق و یا از طریق زخمها وارد بدن شده و باعث امراض مختلف شود. عناصری که از خاک وارد زنجیره غذایی (گیاهان و حیوانات) می‌شوند، می‌توانند وارد چرخه-ی غذایی محیط‌های آبی شوند. بعضی از اثرات خاک بر سلامتی انسان ناشی از شرایط طبیعی است و بعضی از این اثرات هم به‌دلیل فعالیت‌های بشری به خصوص فعالیت‌هایی که منجر به آلودگی می‌شوند، تشدید می‌گردند [۲۲]. بنابراین آلودگی خاک یکی از موضوعات اساسی محیط زیست است. شکل ۲-۱، اثرات مستقیم و غیرمستقیم آلودگی خاک را بر سلامتی موجودات زنده نشان می‌دهد [۱۷۸].

خاک سپهر یک مرکز تجمع مهم برای آلاینده‌هایی مانند گازهای خروجی وسایل نقلیه، پسماندهای صنعتی، رسوب گرد و غبار و مواد معلق در اتمسفر، احتراق زغال سنگ و رسوب دیگر آلاینده‌ها می‌باشد [۷]. مهم‌ترین آلاینده‌های خاک نیز شامل فلزات سنگین، بارش‌های اسیدی و مواد آلی است که باعث کاهش کیفیت و کارکرد مطلوب خاک‌ها می‌شوند [۷۹]. از بین این آلاینده‌های خاک، فلزات سنگین به واسطهٔ طبیعت غیر قابل تجزیه، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی بیشتر مورد توجه می‌باشند [۳۰]. فلزات سنگین برخلاف بیشتر آلاینده‌های آلی، توسط موجودات زنده تجزیه نشده و اکثراً ترکیبات پایداری را در طبیعت تشکیل می‌دهند [۲۱]. همچنین به شدت جذب بافت‌های زنده شده و در آن انباشت می‌شوند و خروج آن‌ها از بافت به سختی صورت می‌گیرد [۵۶]. موضوع آلودگی آب و خاک و به تبع آن گیاه از طریق فلزات سنگین، بشر را بر آن داشته است که برای چاره‌اندیشی در زمینه حل این معضل مطالعات گسترده‌ای انجام دهد و در این راستا همه ساله هزینه بسیار زیادی صرف تحقیق و مطالعه آلودگی خاک و آب می‌شود [۲۶].