


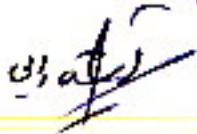

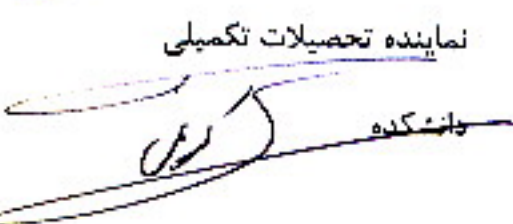


تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان "اثر فلزات سنگین، ماده آلی و آهنک در شرایط رطوبتی مختلف بر جمعیت نماتدهای خاک" توسط هانیه سمسار در تاریخ با نمره و درجه ارزشیابی عالی در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

تاریخ دفاع ۱۳۹۰/۶/۳۰ نمره ۱۹/۸۱ و درجه ارزشیابی عالی

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	دکتر امیر فتوت	دانشیار	استاد راهنما	
۲	دکتر امیر لکزیان	دانشیار	استاد مشاور	
۳	دکتر رضا خراسانی	استادیار	استاد مشاور	
۴	دکتر علیرضا آستارایی	دانشیار	مدعو	
۵	دکتر عصمت مهدیخانی مقدم	دانشیار	مدعو	
۶	دکتر علیرضا کریمی	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده کشاورزی

علوم خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد

# اثر فلزات سنگین، ماده آلی و آهک در شرایط رطوبتی مختلف بر جمعیت نمادهای خاک

هانیه سمسار

استاد راهنما

دکتر امیر فتوت

استادان مشاور

دکتر امیر لکزیان

دکتر رضا خراسانی

شهریور ۱۳۹۰

## تصویب نامه

این پایان نامه با عنوان "اثر فلزات سنگین، ماده آلی و آهک در شرایط رطوبتی مختلف بر جمعیت نماتدهای خاک" توسط هانیه سمسار در تاریخ با نمره و درجه ارزشیابی در حضور هیات داوران با موفقیت دفاع شد.

تاریخ دفاع نمره و درجه ارزشیابی

هیات داوران:

ردیف	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	سمت در هیات	امضاء
۱	آقای دکتر امیر فتوت	دانشیار	استاد راهنما	
۲	آقای دکتر امیر لکزیان	دانشیار	استاد مشاور	
۳	آقای دکتر رضا خراسانی	استادیار	استاد مشاور	
۴	آقای دکتر علیرضا آستارایی	دانشیار	مدعو	
۵	خانم دکتر عصمت مهدیخانی مقدم	دانشیار	مدعو	
۶	آقای دکتر علیرضا کریمی	استادیار	نماینده تحصیلات تکمیلی	
			دانشکده	

## تعهدنامه

عنوان پایان نامه: اثر فلزات سنگین، ماده آلی و آهک در شرایط رطوبتی مختلف بر جمعیت نمادهای خاک

اینجانب **هانیه سمسار** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **علوم خاک** دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تحت راهنمایی **آقای دکتر امیرفتوت** متعهد می‌شوم:

- نتایج ارائه شده در این پایان نامه حاصل مطالعات علمی و عملی اینجانب بوده، مسئولیت صحت و اصالت مطالب مندرج را به طور کامل بر عهده می‌گیرم.
- در خصوص استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد نظر استناد شده است.
- مطالب مندرج در این پایان نامه را اینجانب یا فرد دیگری به منظور اخذ هیچ نوع مدرک یا امتیازی تاکنون به هیچ مرجعی تسلیم نکرده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد. مقالات مستخرج از پایان نامه، ذیل نام دانشگاه فردوسی مشهد (Ferdowsi University of Mashhad) به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت خواهد شد.
- در خصوص استفاده از موجودات زنده یا بافتهای آن‌ها برای انجام پایان نامه، کلیه ضوابط و اصول اخلاقی مربوطه رعایت شده است.

۱۳۹۰/۰۶/۳۰

هانیه سمسار

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) به دانشگاه فردوسی مشهد تعلق دارد و بدون اخذ اجازه کتبی از دانشگاه قابل واگذاری به شخص ثالث نیست.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

تقدیم به

پدرم که همچون کوه، به مادرم که چون خورشید همواره حامی و  
روشنگر زندگی‌ام بوده‌اند. به خواهران و برادرم که همواره مشوقم بودند و به  
همسرم که مایه‌ی آرامش من است.

## تقدیر و تشکر

سپاس خداوندی را که سخنوران از ستودن او عاجزند و حسابگران از شمارش نعمت‌های او ناتوان و تلاشگران از ادای حق او درمانده‌اند. خدایی که افکار ژرف اندیش او را درک نمی‌کنند و دست غواصان دریای علوم به او نخواهد رسید. خدا را ستایش می‌کنم که این توفیق را به من داد تا در کنار بارگاه امام هشتم علی بن موسی الرضا (علیه السلام) به تحصیل و کسب علم بپردازم.

بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که مرا در انجام بهتر این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر را داشته باشم. از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای دکتر امیر فتوت که راهنمایی مرا در تدوین و ارائه این پایان نامه پذیرفتند و از جناب آقای دکتر امیر لکزیان و جناب آقای دکتر رضا خراسانی که مشاوره پایان نامه اینجانب را پذیرفتند و راه انجام این پژوهش را بر من هموار ساختند، تشکر می‌کنم. از جناب آقایان دکتر علیرضا آستارایی و خانم دکتر عصمت مهدیخانی بخاطر قبول زحمت داوری و بازخوانی این پایان نامه خالصانه تقدیر می‌کنم. از کارشناسان محترم آزمایشگاه خاکشناسی خانم‌های مهندس حلاج نیا و نیک بین و همچنین از تکنیسین محترم آزمایشگاه خانم تهرانی به پاس زحمتهایشان متشکرم. از دوستان عزیزم حدیثه رحمانی و نجمه مظلوم و دیگر دوستانم که با بودنشان قوت قلبی برایم بودند، تشکر می‌کنم. در نهایت از تمامی کسانی که مرا در پیشبرد و اجرای بهتر این پایان نامه قادر ساختند، خالصانه سپاسگزاری می‌کنم.

هانیه سمسار

شهریور ۱۳۹۰

## چکیده

حیات بر کره زمین به خاک بستگی دارد که امروزه به علت فعالیت‌های مختلف بشر و از طرفی عدم توجه و نظارت کافی، بقا و پایداری آن تهدید می‌گردد. فعالیت‌هایی نظیر کشاورزی غیر پایدار و استفاده از انواع کودها و آفت‌کش‌ها، استخراج معادن، دفع انواع زباله‌های صنعتی و غیر صنعتی، به صورت آگاهانه و یا ناآگاهانه، منجر به نابودی کلیدی‌ترین زیستگاه زمین، یعنی خاک می‌شوند. با توجه به این مسائل آگاهی از کیفیت و سلامت خاک همیشه مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور از شاخص‌های گوناگونی استفاده شده است. یکی از این شاخص‌ها استفاده از موجودات خاک‌زی و به ویژه نماتدها می‌باشد. بر این اساس به منظور بررسی تأثیر فلزات سنگین، ماده آلی، آهک و تغییرات رطوبتی بر جمعیت نماتدهای خاک، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی و در قالب فاکتوریل با سه تکرار در شرایط آزمایشگاهی اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سه سطح از فلزات سنگین کادمیم، نیکل و سرب (به صورت مخلوط)؛ دو سطح ماده آلی (کود گاوی)، دو سطح آهک و دو سطح رطوبتی بودند که در دو زمان ۳۰ و ۹۰ روز مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که افزایش میزان فلزات سنگین موجب کاهش جمعیت نماتدها شده و حضور ماده آلی و افزایش میزان رطوبت، کاهش را تشدید می‌نماید. از طرفی حضور آهک کاهش ناشی از فلزات سنگین را تقلیل می‌دهد. همچنین تنوع نماتدها به دنبال افزایش فلزات سنگین کاهش می‌یابد. از میان انواع نماتدها، نماتدهای باکتری‌خوار، مقاوم‌ترین گروه نسبت به تنش فلزات سنگین شناخته شدند. از تیمارهای کاربردی فقط ماده آلی موجب تغییر معنی دار شاخص اکولوژیکی بلوغ گردید. هیچیک از تیمارها منجر به تغییر معنی دار شاخص اکولوژیکی غنی شدن نشده اما فلزات سنگین و ماده آلی تغییرات معنی دار شاخص اکولوژیکی ساختار را به دنبال داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** تنوع نماتدها، شاخص اکولوژیکی، فلزات سنگین، نماتدهای باکتری‌خوار



## فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه.....	۱
فصل دوم: بررسی منابع.....	۵
۱-۲- معضل فلزات سنگین.....	۵
۲-۲- شاخص‌های کیفیت خاک.....	۷
۱-۲-۲- زیست توده میکروبی.....	۸
۲-۲-۲- ساختار تنوع میکروبی.....	۸
۳-۲-۲- فعالیت میکروبی.....	۹
۴-۲-۲- چرخه نیتروژن.....	۱۰
۵-۲-۲- شناساگرهای فون خاک.....	۱۱
۳-۲- نماتدها.....	۱۱
۴-۲- نقش نماتدها در حاصلخیزی خاک.....	۱۲
۵-۲- نماتدها شاخص‌های اکولوژیکی.....	۱۳
۶-۲- عوامل محیطی مؤثر بر نماتدها.....	۲۴
۱-۶-۲- رطوبت.....	۲۵
۲-۶-۲- ماده آلی و عملیات مدیریتی.....	۲۷
۳-۶-۲- فلزات سنگین.....	۳۰
فصل سوم: مواد و روش‌ها.....	۳۷
۱-۳- پیش‌آزمایش.....	۳۷
۲-۳- آزمایش اصلی.....	۳۸
۱-۲-۳- نمونه‌برداری.....	۳۸
۲-۲-۳- تیمارها.....	۳۹

۴۰	..... استخراج نماتدها..... ۳-۲-۳
۴۱	..... کشتن، ثابت کردن و انتقال نمونه‌ها به گلیسرین خالص..... ۴-۲-۳
۴۲	..... تهیه اسلایدهای دائمی..... ۵-۲-۳
۴۲	..... شمارش و شناسایی نماتدها..... ۶-۲-۳
۴۳	..... آنالیز آماری تیمارهای آزمایش..... ۷-۲-۳
۴۵	..... فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۴۵
۴۵	..... تغییرات جمعیتی..... ۱-۴
۴۷	..... تأثیر فلزات سنگین و زمان بر جمعیت نماتدها..... ۱-۱-۴
۵۱	..... تأثیر آهک بر اثرگذاری فلزات سنگین بر جمعیت نماتدهای خاک..... ۲-۱-۴
۵۶	..... نقش ماده آلی در تنش فلزات سنگین بر جمعیت نماتدهای خاک..... ۳-۱-۴
۵۹	..... تأثیر رطوبت بر تنش فلزات سنگین برای نماتدهای خاک..... ۴-۱-۴
۶۳	..... ترکیب جمعیت نماتدها..... ۲-۴
۷۱	..... شاخص‌های اکولوژیکی..... ۳-۴
۷۲	..... شاخص بلوغ..... ۱-۳-۴
۷۵	..... شاخص‌های مختلف اکولوژیکی..... ۲-۳-۴
۷۹	..... فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۷۹
۸۳	..... منابع..... ۸۳
۹۴	..... فهرست نام‌ها..... ۹۴

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱- پروفیل فونی خاک..... ۲۴
- شکل ۴-۱- تغییرات جمعیتی نماتدها با زمان همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۴۷
- شکل ۴-۲- تغییرات جمعیتی نماتدهای لار و با زمان همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۴۹
- شکل ۴-۳- تغییرات جمعیتی نماتدهای بالغ با زمان همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۰
- شکل ۴-۴- تغییرات جمعیتی نماتدهای نر و ماده با زمان همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۱
- شکل ۴-۵- تغییرات جمعیتی نماتدها به دنبال افزایش آهک و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۲
- شکل ۴-۶- تغییرات جمعیتی نماتدهای لارو به دنبال افزایش آهک و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۳
- شکل ۴-۷- تغییرات جمعیتی نماتدهای بالغ به دنبال افزایش آهک و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۴
- شکل ۴-۸- تغییرات جمعیتی نماتدهای نر و ماده به دنبال افزایش آهک و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۵
- شکل ۴-۹- تغییرات جمعیتی نماتدها به دنبال افزایش ماده آلی و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۷
- شکل ۴-۱۰- تغییرات جمعیتی نماتدهای لارو به دنبال افزایش ماده آلی و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۷
- شکل ۴-۱۱- تغییرات جمعیتی نماتدهای بالغ به دنبال افزایش آهک و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۸
- شکل ۴-۱۲- تغییرات جمعیتی نماتدهای نر و ماده به دنبال افزایش ماده آلی و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۵۹
- شکل ۴-۱۳- واکنش نماتدها نسبت به تغییرات رطوبت و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۶۰
- شکل ۴-۱۴- واکنش لاروها نسبت به تغییرات رطوبت و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۶۱

شکل ۴-۱۵- واکنش نماتدهای بالغ نسبت به تغییرات رطوبت و همراه با افزایش سطوح عناصر سنگین..... ۶۲

شکل ۴-۱۶- واکنش نماتدهای نر و ماده نسبت به تغییرات رطوبت و همراه با افزایش سطوح عناصر

سنگین..... ۶۳

شکل ۴-۱۷- تأثیر فلزات سنگین بر ترکیب جمعیت نماتدهای خاک..... ۶۶

شکل ۴-۱۸- تأثیر آهک بر ترکیب جمعیت نماتدهای خاک..... ۶۷

شکل ۴-۱۹- تأثیر ماده آلی بر ترکیب جمعیت نماتدهای خاک..... ۶۸

شکل ۴-۲۰- تأثیر رطوبت بر ترکیب جمعیت نماتدهای خاک..... ۷۰

شکل ۴-۲۱- تغییرات ترکیب جمعیت نماتدها با گذشت زمان..... ۷۰

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲- مقادیر C-p برای نماتدها..... ۱۵
- جدول ۱-۳- غلظت‌های نهایی عناصر..... ۳۸
- جدول ۲-۳- برخی از خصوصیات خاک..... ۴۶
- جدول ۳-۳- خصوصیات کود گاوی..... ۳۹
- جدول ۱-۴- خصوصیات خانواده‌های نماتدی شناسایی شده..... ۶۴
- جدول ۲-۴- مقایسه میانگین تیمارهای مختلف آزمایش بر شاخص‌های اکولوژیکی بلوغ (MI) تنوع تغذیه‌ای (TD)، شاخص پایه (BI)، شاخص غنی شدن (EI) و شاخص ساختار (SI)..... ۷۷

# فصل اول

## مقدمه

حیات بر کره‌ی زمین به اکوسیستم خشکی و بخش ویژه‌ی آن یعنی خاک بستگی دارد. خاک محل وقوع فرآیندهای مهمی است که ویژگی قابل زیست بودن را برای آن فراهم می‌نماید. از مهم‌ترین این فرآیندها می‌توان به روند تجزیه مواد آلی، چرخه کانی‌ها و مواد غذایی و انتقال انرژی اشاره نمود. به جرأت می‌توان گفت که همه‌ی این فرآیندها توسط موجودات زنده انجام و یا میانجی‌گری (یا هدایت) می‌شوند، به طوریکه خاک را به محیطی پویا تبدیل می‌سازند. با وجود اهمیت این اکوسیستم، امروزه بنا به فعالیت‌های مختلف بشر و از طرفی عدم توجه و نظارت کافی، بقا و پایداری خاک تهدید می‌شود. فعالیت‌هایی نظیر کشاورزی و استفاده از انواع کودها و آفتکش‌ها، استخراج معادن، دفع انواع زباله‌های صنعتی و غیر صنعتی، به صورت آگاهانه و یا ناآگاهانه، منجر به نابودی کلیدی‌ترین زیستگاه زمین، یعنی خاک می‌شود.

در این راستا، حضور انواع آلاینده‌های آلی و معدنی در خاک، یکی از چالش‌هایی است که انسان با آن مواجه است. در میان این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره نمود که علاوه بر ایجاد شرایط محیطی نامناسب در خاک و غیر کارآمد ساختن آن برای فعالیت‌های کشاورزی و از بین بردن موجودات زنده‌ی ساکن خاک (کلمنت و همکاران، ۲۰۰۷)، آلوده نمودن آب‌های سطحی و زیرزمینی، وارد شدن به زنجیره غذایی و نفوذ به بدن موجودات زنده و به خصوص انسان را نیز به دنبال دارند (برگویست و

همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به مشکلات ذکر شده در رابطه با ورود فلزات سنگین به خاک، تدابیر مختلفی نیز برای حفظ کیفیت خاک صورت گرفته است. یکی از این موارد، استفاده از مواد آلی به عنوان نمونه‌ای از اجزای خاک می‌باشد (کارپوکین و همکاران، ۲۰۰۸). مواد آلی نه تنها باعث بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش رشد گیاه می‌شوند، بلکه فراهمی فلزات سنگین را نیز تغییر می‌دهند (کلمنت و همکاران، ۲۰۰۵). آهک‌دهی و اعمال انواع برنامه‌های مدیرتی مانند سیستم کشت، کوددهی، سیستم‌های آبیاری نیز در دگرگونی خصوصیات خاک و تبدیل آن به محیطی ناپایدار دخیل هستند و از طرفی می‌توانند موجب افزایش یا کاهش اثر فلزات سنگین شوند.

از دیگر سو، همچنان که بیان شد، موجودات زنده نقش مهمی در اجرای وظایف خاک در سامانه محیط‌زیست به عهده دارند و متعاقباً حضور فلزات سنگین، ماده آلی و آهک می‌تواند آن‌ها را متأثر نماید؛ به‌گونه‌ای که می‌توان از موجودات زنده به عنوان شاخص‌هایی از کیفیت خاک نام برده و استفاده نمود (شلتر و همکاران، ۲۰۰۳). البته انتخاب یک موجود زنده خاص، به عنوان شاخص کیفی نیز بسیار مهم است. برای این منظور موجودی بایستی انتخاب گردد که دارای ویژگی‌هایی مانند قابلیت حضور در انواع مختلف خاک‌ها، فراوانی و تنوع زیاد و واجد نقش مهم در فرآیندهای خاک باشد (شلوتر و همکاران، ۲۰۰۳). در این جهت، نماتدهای آزادی می‌توانند گزینه مناسبی باشند (شکووا و همکاران، ۲۰۰۶). نماتدها فراوان‌ترین متازوا در خاک بوده و نقشی غیر قابل جایگزین در شبکه غذایی خاک دارند. آن‌ها از نظر تغذیه شامل گروه‌های مختلف پارازیت گیاه، همه چیزخوار، باکتری‌خوار و قارچ‌خوار (گرازدیوا و همکاران، ۲۰۰۷) هستند و از اینرو، در ارتباط نزدیک با دیگر موجودات خاک‌زی می‌باشند و فعالیت آن‌ها تولید اولیه، تجزیه، جریان انرژی و چرخه عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (شکووا و همکاران، ۲۰۰۶). نماتدها دارای غشای نفوذپذیری هستند که آن‌ها را در ارتباط مستقیم با مواد موجود در آب خاک قرار می‌دهد، البته نماتدها دارای گونه‌هایی با درجات تحملی متفاوت، در برابر تنش‌ها هستند. براساس خصوصیات نماتدها و نقش‌هایی که در خاک دارند، شاخص‌های اکولوژیکی متعددی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (ون ولیت و دی گود، ۲۰۰۸). در این زمینه می‌توان به شاخص‌هایی مانند شاخص غنی شدن

(EI)، شاخص ساختار (SI) و شاخص بلوغ (MI) اشاره کرد (فریس و همکاران ۲۰۰۱) که اطلاعات مفیدی در زمینه‌ی ساختار جمعیت نماتدها در محیط‌های غنی شده، محیط‌های با ترکیب و شرایط ثابت و محیط‌های تحت تنش به دست می‌دهد (بولاک و همکاران، ۲۰۰۲). به عنوان نمونه، ناجی و همکاران (۲۰۰۴) در آزمایشی نشان دادند که حضور فلزاتی مانند کادمیم، کروم، مس و سلنیم در خاک، منجر به کاهش تراکم جمعیت نماتدها و کاهش شاخص‌های بلوغ و ساختار می‌شود (ناجی و همکاران، ۲۰۰۴). این شاخص‌ها بر اساس نوع استراتژی زندگی نماتدها تعریف می‌شود؛ به نحویکه، نماتدهای دارای چرخه زیستی کوتاه، که به سرعت تکثیر می‌یابند و احتیاجات غذایی زیادی دارند، دارای استراتژی I بوده و نماتدهایی با زندگی طولانی مدت، تکثیر کندتر و احتیاجات غذایی کمتر، دارای استراتژی k هستند. برمبنای نوع استراتژی مقدار c-p تعریف می‌شود که در بخش بعدی توضیح داده شده است (بنگرز و همکاران، ۱۹۹۹).

بنابر موضوعات و مسائل ذکر شده، مطالعه تغییرات جوامع نماتدی در پاسخ به حضور مقادیر متفاوت عناصر سنگین، ماده آلی، آهک و رطوبت، از جمله اهدافی بودند که در این پایان نامه مورد بررسی قرار گرفتند.





# فصل دوم

## بررسی منابع

### ۲-۱- معضل فلزات سنگین

عنوان فلزات سنگین واژه‌ای کلی است که برای گروهی از فلزات و شبه فلزات به کار می‌رود؛ فلزاتی که دارای دانسیته اتمی بیشتر از ۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب هستند (اکانل و همکاران، ۲۰۰۸). اگرچه این واژه، تعریفی عمومی را شامل می‌شود اما بسیار شاخص بوده و معمولا برای عناصری مانند کادمیم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی استفاده می‌شود؛ این عناصر، عموما با مشکلات آلودگی و سمیت همراه هستند. در مقایسه با بیشتر آلاینده‌های آلی، فلزات سنگین به طور طبیعی به شکل سنگ و کانی‌های معدنی دیده می‌شوند (اکانل و همکاران، ۲۰۰۸). مصارف صنعتی فلزات و فرآیندهای خانگی مانند سوختن سوخت‌های فسیلی، سوزاندن زباله‌ها، تخلیه دود از اگزوز اتومبیل‌ها، فرآیندهای ذوب فلزات و استفاده از لجن فاضلاب به عنوان کود، مقادیر عظیمی از فلزات سنگین سمی را به اتمسفر و محیط‌های آبی و خاکی وارد می‌کند. به عنوان نمونه، بر اساس مطالعات سالیانه، در سال ۲۰۰۴ تقریبا

$10^3 \times 14500$  تن مس تولید و به محیط وارد شده است (تحقیقات زمین شناسی آمریکا، ۲۰۰۴). آلودگی آب، هوا و خاک به این آلاینده‌ها، فقط در فواصل بسیار نزدیک از خروجی‌های صنعتی دیده نمی‌شود بلکه در فواصل دور نیز رؤیت می‌شود. فلزات سنگین وارد شده به خاک می‌توانند از طریق مسیرهای ژئوشیمیایی و تغذیه‌ای به محیط زیست مجاور خود منتقل شده و در نهایت، آب‌های سطحی و زیر زمینی را آلوده نموده و به بدن موجودات زنده وارد شوند. هرچند، تعدادی از فلزات سنگین، به عنوان عناصر کم‌مصرف، مورد نیاز گیاهان بوده و مقادیر بیش از اندازه آن‌ها اثرات سمیت را برای گیاه به دنبال دارند. جدای از اثرات سمیت برای گیاه، این فلزات از طریق گیاه و آب وارد بدن انسان شده و مضراتی را به دنبال خواهند داشت. به عنوان مثال، سرب در سطوح زیاد، سبب آسیب به مغز، اختلالات روانی، اختلالات رفتاری، صدمه دیدن کلیه، کم خونی و آسیب به سیستم تناسلی می‌شود. کروم در شکل شش ظرفیتی خود دارای اثرات سمیت است. قرار گرفتن در معرض کروم، موجب وقوع سرطان‌های تنفسی می‌شود. کادمیم، به ویژه در سطوح زیاد، اثرات سمیت برای کلیه داشته و در معرض قرار گرفتن طولانی مدت، ممکن است سبب تخریب استخوان شود. مقادیر زیاد جیوه می‌تواند منجر به اختلالات رفتاری عصبی و معلولیت‌های تکاملی مانند خوانش پریشی (اختلال در توانایی خواندن) و عقب افتادگی ذهنی شود. مقادیر زیاد مس، موجب ضعف، افسردگی، بی‌اشتهایی و آسیب به روده و معده می‌شود (اکانل و همکاران، ۲۰۰۸). به اثرات سمیت دیگر عناصر نیز در منابع متعدد اشاره شده است (نوردبرگ و همکاران، ۲۰۰۷). ظرفیت خاک در نگهداری فلزات سنگین، به شدت، توسط اجزای آن مانند ماده آلی و حضور آهن و کانی‌های رسی تعیین می‌شود. به گونه‌ایکه این اجزا می‌توانند ظرفیت مهاجرت فلزات سنگین و فراهمی زیستی آن‌ها را کاهش دهند (کارپوکین و همکاران، ۲۰۰۸). آهک، ترکیبات فسفات و ترکیبات آلی مانند بیوسالیدها نیز قادر به کاهش اثرات سمیت فلزات سنگین هستند. مکانیسم‌های درگیر در این فرآیندها شامل افزایش جذب فلز از طریق افزایش بار سطحی (به طور مثال فسفات افزایش جذب فلز را به دنبال دارد)، افزایش تشکیل کمپلکس‌های آلی و معدنی، رسوب فلزات و کاهش فلزات از شکل با ظرفیت بیشتر (متحرک) به شکل با ظرفیت کمتر می‌باشند (بولان و دورایسامی، ۲۰۰۳).

## ۲-۲- شاخص‌های کیفیت خاک

خاک مانند هوا و آب، جزئی جدایی ناپذیر از محیط زیست است و همراه با آب، مهم‌ترین منبع طبیعی به شمار می‌رود. استفاده مدبرانه از این منبع حیاتی، برای توسعه پایدار و تغذیه جمعیت رو به رشد جهان، ضروری است. در دهه‌های گذشته، مطالعات متعددی به انتخاب معیاری مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک صورت گرفته است. از سویی، پایش تغییرات در کیفیت خاک، که از سیستم‌های مدیریتی متنوع ناشی می‌شود، کند است. انتخاب شاخص‌های کلیدی و مقادیر آستانه آن‌ها، نیاز به پایش تغییرات دارد و بایستی برای اکوسیستم‌های متعدد و متنوعی انجام شود (آرشاد و مارتین، ۲۰۰۲). انجمن علوم خاک آمریکا (۱۹۹۷) کیفیت خاک را به صورت: توانایی نوع خاصی از خاک در ایفای نقش خود، درون مرزهای اکوسیستم طبیعی یا مدیریت شده، به منظور دستیابی به تولید بیولوژیکی پایدار، حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقاء سلامت گیاه و حیوان تعریف کرده است (ماریناری و همکاران، ۲۰۰۶). اغلب، تفکیک عملکردها و نقش‌های خاک به فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی، به دلیل طبیعت پویا و برهم کنشی این فرآیندها با یکدیگر، مشکل است (ماریناری و همکاران، ۲۰۰۶). از طرفی، کیفیت خاک به تعداد زیادی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بستگی دارد و توصیف خصوصیات آن، نیاز به انتخاب شناساگرهایی دارد که بیشترین حساسیت را به تغییرات داشته باشند (ماریناری و همکاران، ۲۰۰۶). خصوصیات مانندی: عمق خاک، ماده آلی، تنفس، خاکدانه، بافت، چگالی ظاهری، نفوذپذیری، فراهمی و ظرفیت نگهداری عناصر غذایی، از جمله خصوصیات هستند که در این زمینه استفاده می‌شوند (آرشاد و مارتین، ۲۰۰۲). از دیگر سو، خصوصیات زیستی خاک نسبت به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی با سرعت و ظرافت بیشتری در مقابل تنش‌ها واکنش نشان می‌دهند. بخش میکروبی در میانجی‌گری فرآیندهای خاک، دارای نقش مهمی است و با سرعت نسبتاً زیاد، نسبت به تغییرات پاسخ می‌دهد. بر این مبنا، بخش میکروبی می‌تواند شاخصی حساس و پیش‌گویی‌کننده‌ای فوری، از فرآیندهای خاک، در مقابل ورود و اعمال هر گونه تنش باشد (ماریناری و همکاران، ۲۰۰۶). این نشانگرهای ایده‌آل