بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

بررسی تأثیر کاربری اراضی و مواد مادری بر توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی خاک سطحی شرق اصفهان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی

سجاد امیری

استاد راهنما

دکتر شمس الله ایوبی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی خاکشناسی آقای سجاد امیری

تحت عنوان

بررسی تأثیر کاربری اراضی و مواد مادری بر توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی خاک سطحی شرق اصفهان

در تاریخ ۹۰/۱۲/۱۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر شمس الله ایوبی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر حسین خادمی
۳- استاد داور	دکتر مهران شیروانی
۴- استاد داور	دکتر سعید اسلامیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر احمد ریاسی

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش مر خدای را جلّ و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

از پدر و مادر عزیزم، آن دو فرشته‌ای که نه میتوانم موهایشان را که در راه عزت من سفید شد، سیاه کنم و نه برای دست‌های پینه بسته‌شان که ثمره تلاش برای افتخار من است، مرهمی دارم، صمیمانه سپاسگذارم و از خدا می‌خواهم توفیقم دهد که هر لحظه شکر گزارشان باشم و ثانیه‌های عمرم را در عصای دست بودنشان بگذرانم.

از همسر عزیزم که با صبر و بردباری در طول انجام این پایان نامه، علاوه بر تحمل شرایط دشوار، همواره باعث دلگرمی اینجانب بوده و همچنین از خانواده محترم ایشان صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

از تمام کسانی که در این راه یاری‌ام کردند و آنان که علم خود را در اختیار من گذاشتند، از استاد راهنمای بزرگوار و ارجمندم جناب آقای دکتر ایوبی، به خاطر رهنمودهای ارزنده، تلاش‌های پیگیر، پشتیبانی‌ها و حمایت‌های همه جانبه‌شان در طول انجام این پژوهش که شایسته قدر دانی بوده و شاگردی ایشان فرصتی بی نظیر و ارزشمند برای آموختن بود و درس اخلاق و زندگی نیز به من دادند، بی نهایت سپاسگذارم. از جناب آقای دکتر خادمی استاد مشاور عزیزم به خاطر مشاوره‌های ارزنده‌شان در انجام این پژوهش سپاسگذارم. از آقایان دکتر شیروانی و دکتر اسلامیان که زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را پذیرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.
از همکاری صمیمانه کارشناسان محترم آزمایشگاه‌های خاکشناسی به ویژه آقای مهندس مللی به خاطر زحمات زیادشان کمال تشکر را دارم.

از تمام دوستان و همکلاسی‌های عزیزم که لحظات پربار و ارزشمندی در کنارشان سپری شد، آنان که بودنشان در صفحات زندگی‌ام ثبت گشته و فراموش نشدنی خواهند بود، بی‌نهایت سپاسگزارم.

سجاد امیری

اسفند ۹۰

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

تقدیم به آنان که نوای ساز زندگیم از سرپنجه‌های زحمت کشیده و پر از حس مهربانی‌شان موزون گشته است

به پدر و مادر مهربان و عزیزتر از جانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم

و

تقدیم به همسر صبور، مهربان و فداکارم

که سایه مهربانیش سایه سار زندگیم می باشد، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست شکل‌ها ..... یازده
فهرست جداول ..... چهارده
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه
۱-۱ کلیات ۲
۱-۱-۱ اهمیت بررسی آلودگی خاک ۲
۱-۱-۲ پذیرفتاری مغناطیسی و جایگاه آن در مطالعات آلودگی ۴
۱-۱-۳ فرضیات ۵
۱-۱-۴ اهداف ۶
۱-۲ بررسی منابع ۶
۱-۲-۱ فلزات سنگین ۷
۱-۲-۲ تأثیر عناصر سنگین بر سلامت انسان و محیط زیست ۸
۱-۲-۳ اهمیت پیشگیری از انباشت عناصر در زمین‌های کشاورزی ۹
۱-۳ مسیرهای ورود و خروج فلزات سنگین در خاک ۱۱
۱-۳-۱ منابع طبیعی ورود فلزات سنگین در خاک ۱۱
۱-۳-۲ منابع انسانی ورود فلزات سنگین به خاک ۱۲
۱-۳-۳ راه‌های خروج عناصر سنگین از خاک ۱۸
۱-۳-٤ سایر ورودی‌ها و خروجی‌ها ۱۹
۱-۳-۵ ویژگی‌های عناصر سنگین ۲۰
۱-۴ تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی ۲۸
۱-٤-۱ منشأ ممان های مغناطیسی ۲۸
۱-٤-۲ منشأ پذیرفتاری مغناطیسی در خاک ۲۹
۱-٤-۳ استفاده از تکنیک پذیرفتاری مغناطیسی در شناخت آلودگی عناصر سنگین ۳۵
۱-۵ زمین آمار ۳۸
۱-۵-۱ پراکنش مکانی ۳۸
۱-۵-۲ تئوری‌های زمین آمار ۳۹
۱-۵-۳ تعریف زمین آمار ۴۰
۱-۵-٤ تغییر نما (واریوگرام) ۴۰
۱-۵-۵ مشخصات تغییر نما ۴۱
۱-۵-٦ همسانگردی و ناهمسانگردی ۴۲
۱-۵-۷ مدل‌های تئوری تغییرنما ۴۳

۱-۵-۸ روشهای تخمین ۴۳
۱-۵-۹ کنترل اعتبار تغییرنما ۴۴
۱-۵-۱۰ برخی مطالعات انجام شده در زمینه توزیع مکانی فلزات سنگین و کاربرد تکنیک زمین آمار ۴۵
فصل دوم **۴۹**
۲-۱ معرفی اجمالی استان اصفهان ۴۹
۲-۱-۱ موقعیت جغرافیایی استان ۴۹
۲-۱-۲ فرآورده های کشاورزی و دامداری ۵۰
۲-۱-۳ صنایع و معادن ۵۰
۲-۲ منطقه مورد بررسی ۵۱
۲-۳ نمونه برداری ۵۳
۲-۴ مطالعات آزمایشگاهی ۵۵
۲-۴-۱ آماده سازی نمونه‌های خاک ۵۵
۲-۴-۲ اندازه گیری پارامترهای مغناطیسی ۵۵
۲-۴-۳ تعیین غلظت کل عناصر سنگین ۵۶
۲-۴-۴ تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ۵۷
۲-۵ توصیف آماری داده‌ها ۵۸
۲-۵-۱ آنالیز همبستگی ۵۹
۲-۶ تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری ۵۹
فصل سوم: نتایج و بحث **۶۰**
۳-۱ توصیف آماری متغیرها ۶۰
۳-۱-۱ ویژگی‌های خاک در منطقه مورد بررسی ۶۰
۳-۱-۲ پارامترهای مغناطیسی در خاک‌های منطقه مطالعاتی ۶۱
۳-۱-۳ غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در خاک‌های منطقه مطالعاتی ۶۷
۳-۲ تأثیر کاربری اراضی بر مقدار فلزات سنگین در خاک ۷۷
۳-۳ تأثیر ماده مادری بر مقدار فلزات سنگین در خاک ۷۹
۳-۴ الگوهای تغییرات عمقی پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۱
۳-۴-۱ الگوی شماره ۱ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۲
۳-۴-۲ الگوی شماره ۲ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۲
۳-۴-۳ الگوی شماره ۳ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۴
۳-۴-۴ الگوی شماره ۴ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۵
۳-۴-۵ الگوی شماره ۵ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۶
۳-۴-۶ الگوی شماره ۶ توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه ۸۷
۳-۵ تأثیر زمین شناسی بر پذیرفتاری مغناطیسی ۸۹
۳-۶ همبستگی بین پارامترهای مورد بررسی ۹۱
۳-۶-۱ همبستگی بین فلزات سنگین مورد بررسی در کاربری شهری ۹۱
۳-۶-۲ همبستگی بین فلزات سنگین مورد بررسی در کاربری غیر شهری ۹۳

۳-۶-۳ همبستگی بین پارامترهای مغناطیسی و فلزات سنگین مورد بررسی ۹۴
۳-۶-۴ همبستگی پذیرفتاری مغناطیسی و فلزات مورد بررسی با برخی ویژگی‌های خاک ۹۷
۳-۶-۵ بررسی رابطه رگرسیونی بین پذیرفتاری با برخی خصوصیات خاک و فلزات مورد بررسی ۱۰۰
۳-۷ آنالیز همبستگی مکانی ۱۰۱
۳-۷-۱ محاسبه، الگوسازی و اعتبار تغییرنما ۱۰۱
۳-۷-۲ پراکنش مکانی متغیرهای مورد بررسی ۱۰۷
۳-۷-۳ پراکنش مکانی واریانس تخمین متغیرهای مورد بررسی ۱۱۵
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۱۱۶**
۴-۱ نتیجه گیری ۱۱۶
۴-۲ پیشنهادها ۱۱۹
مراجع ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ موقعیت عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول تناوبی ۸
شکل ۱-۲ منابع مختلف ورود فلزات سنگین به خاک و آب [۹] ۱۳
شکل ۱-۳ نمونه‌ای از الگوی توزیع پذیرفتاری مجی یرا و استرزیسز [۱٤٤] ۳۱
شکل ۱-٤ نمونه‌ای از یک تغییرنما [۱٤] ٤۱
شکل ۱-۵ چگونگی افزایش اثر قطعه ای [۱٤] ٤۲
شکل ۲-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان ۵۱
شکل ۲-۲ نقشه زمین شناسی منطقه ۵۲
شکل ۲-۳ پراکنش مکانی نقاط نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه ۵٤
شکل ۲-٤ دستگاه MS2 ..... ۵۵
شکل ۲-۵ حسگر MS2B ۵٦
شکل ۳-۱ نمودار توزیع فراوانی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین در منطقه مورد بررسی (الف (داده‌های خام)، ب (داده‌های نرمال شده)) ٦۲
شکل ۳-۲نمودار توزیع فراوانی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس بالا در منطقه مورد بررسی (الف (داده‌های خام)، ب (داده‌های نرمال شده)) ٦٤
شکل ۳-۳ نمودار توزیع فراوانی پذیرفتاری مغناطیسی وابسته به فرکانس در خاک های مورد بررسی (الف (داده‌های خام)، ب (داده‌های نرمال شده)) ٦۵
شکل ۳-٤ نمودار توزیع فراوانی غلظت آهن کل در منطقه مورد بررسی ٦۷
شکل ۳-۵ نمودار توزیع فراوانی غلظت روی کل در خاک های مورد بررسی (الف (داده‌های خام و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند [۱۹٤])، ب (غلظت روی کل در کاربری‌های غیر شهری)، ج (داده‌های نرمال شده غلظت روی کل در کاربری‌های شهری)) ٦۸
شکل ۳-٦ نمودار توزیع فراوانی غلظت مس کل در خاک های مورد بررسی (الف (داده‌های خام و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند [۱۹٤])، ب (غلظت مس کل در کاربری‌های شهری)، ج (غلظت مس کل در کاربری‌های غیر شهری)) ۷۰
شکل ۳-۷ نمودار توزیع فراوانی غلظت منگنز کل در منطقه مورد بررسی ۷۲
شکل ۳-۸ نمودار توزیع فراوانی غلظت نیکل کل در خاک های مورد بررسی و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند ۷۳
شکل ۳-۹ نمودار توزیع فراوانی غلظت کبالت کل در خاک های مورد بررسی و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند ۷٤

شکل ۳-۱۰ نمودار توزیع فراوانی غلظت سرب کل در خاک‌های مورد بررسی (الف (داده‌های خام و خط راهنمای آلودگی بر اساس حداکثر غلظت قابل قبول در کشور هلند [۱۹٤])، ب (داده‌های نرمال شده)) ۷۵
شکل ۳-۱۱ نمودار توزیع فراوانی غلظت کروم کل در منطقه مورد بررسی ۷٦
شکل ۳-۱۲ تأثیر کاربری اراضی بر مقدار روی کل در منطقه مورد مطالعه ۷۸
شکل ۳-۱۳ تأثیر کاربری اراضی بر مقدار مس کل در منطقه مورد مطالعه ۷۸
شکل ۳-۱٤ تأثیر کاربری اراضی بر مقدار سرب کل در منطقه مورد مطالعه ۷۸
شکل ۳-۱۵ تأثیر مواد مادری بر مقدار آهن کل در منطقه مورد مطالعه ۸۰
شکل ۳-۱٦ تأثیر مواد مادری بر مقدار منگنز کل در منطقه مورد مطالعه ۸۰
شکل ۳-۱۷ تأثیر مواد مادری بر مقدار نیکل کل در منطقه مورد مطالعه ۸۰
شکل ۳-۱۸ تأثیر مواد مادری بر مقدار کبالت کل در منطقه مورد مطالعه ۸۱
شکل ۳-۱۹ تأثیر مواد مادری بر مقدار کروم کل در منطقه مورد مطالعه ۸۱
شکل ۳-۲۰ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ۱ ..... ۸۲
شکل ۳-۲۱ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ۲ ..... ۸٤
شکل ۳-۲۲ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ۳ ..... ۸۵
شکل ۳-۲۳ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ٤ ..... ۸٦
شکل ۳-۲٤ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ۵ ..... ۸۷
شکل ۳-۲۵ توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی با الگوی شماره ٦ ..... ۸۸
شکل ۳-۲٦ نمودار تأثیر زمین شناسی بر پذیرفتاری مغناطیسی (تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک، عدم اختلاف معنی دار) ۹۰
شکل ۳-۲۷ تغییر نمای همه جهته الف) پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین، ب) روی کل، ج)سرب کل در منطقه مورد مطالعه ۱۰۳
شکل ۳-۲۸ تغییر نمای همه جهته الف) آهن کل، ب) منگنز کل، ج) نیکل کل در منطقه مورد مطالعه ۱۰۳
شکل ۳-۲۹ تغییر نمای همه جهته الف) کبالت کل، ب) کروم کل، ج) مس کل در منطقه مورد مطالعه ۱۰٤
شکل ۳-۳۰ پراکنش مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین (10^{-8} m^3kg^{-1}) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد مطالعه ۱۰۸
شکل ۳-۳۱ پراکنش مکانی روی کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۰۹
شکل ۳-۳۲ پراکنش مکانی سرب کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱۰
شکل ۳-۳۳ پراکنش مکانی مس کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱۱

شکل ۳-۳٤ پراکنش مکانی آهن کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱۱
شکل ۳-۳۵ پراکنش مکانی نیکل کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱۳
شکل ۳-۳٦ پراکنش مکانی منگنز کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱۳
شکل ۳-۳۷ پراکنش مکانی کروم کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱٤
شکل ۳-۳۸ پراکنش مکانی کبالت کل ($mg\ kg^{-1}$) حاصل از کریجینگ معمولی در خاکهای منطقه مورد بررسی ۱۱٤
شکل ۳-۳۹ نقشه واریانس تخمین حاصل از کریجینگ معمولی پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین ۱۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱حد معمول و آستانه سمیت جذب فلزات سنگین (میلی گرم در روز) توسط انسان [۱۷۰]..... ۹
جدول ۱-۲ اثرات برخی از فلزات سنگین مورد مطالعه بر انسان [۲]..... ۱۰
جدول ۱-۳ میانگین غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم) برخی از فلزات سنگین در سنگهای مختلف [٤٥]..... ۱۱
جدول ۱-٤ دامنه غلظت‌های (میلی گرم بر کیلوگرم) زمینه و نرمال برخی از فلزات سنگین در خاک [٤٥] ۱۲
جدول ۱-٥ مقادیر فلزات سنگین در لیتوسفر و دامنه تغییرات آنها در خاک بر حسب میلیگرم بر کیلوگرم [٦٥].... ۱۲
جدول ۱-٦ میانگین غلظت (mg/kg) برخی از فلزات سنگین در سنگ‌های فسفر در نقاط مختلف جهان [٥٥]..... ۱٥
جدول ۱-۷ دامنه غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم) برخی از فلزات سنگین در کودهای شیمیایی نیتروژنه و فسفره [۱٥۷]..... ۱٥
جدول ۱-۸ حدود غلظت برخی از عناصر سنگین در لجن فاضلاب در تعدادی از کشورها بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم [١٦٤]..... ۱۸
جدول ۱-۹ رفتار و پذیرفتاری مغناطیسی برخی از مواد [۷۰] ۲۹
جدول ۲-۱برخی از مشخصات دستگاه MS2 [۷۰]..... ٥٦
جدول ۳-۱خلاصه‌ای از وضعیت آماری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مطالعاتی (n=۲۰٤) ٦۱
جدول ۳-۲ خلاصه‌ای از وضعیت آماری پارامترهای مغناطیسی در خاکهای مورد مطالعه (n=۲۰٤) ٦٦
جدول ۳-۳ خلاصه‌ای از وضعیت آماری غلظت کل برخی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی (n=۱۰۰)..... ۷۱
جدول ۳-٤ دامنه غلظت محاسبه شده برخی از فلزات سنگین در خاک غیر آلوده در مقیاس جهانی (میلی گرم بر کیلوگرم) [۱٤۸]..... ۷۲
جدول ۳-٥ ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی در کاربری شهری (n=۳۰)..... ۹۳
جدول ۳-٦ ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی در کاربری غیر شهری (n=۷۰) ۹٤
جدول ۳-۷ ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مغناطیسی و عناصر مورد بررسی در کاربری غیرشهری (n=۷۰)..... ۹٦
جدول ۳-۸ ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مغناطیسی و عناصر مورد بررسی در کاربری شهری (n =۳۰) ۹۷
جدول ۳-۹ ضریب همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی و برخی ویژگی‌های خاک (n=۱۰۰)..... ۹۹
جدول ۳-۱۰ مدل رگرسیونی مؤلفه‌های پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های منطقه مورد بررسی ۱۰۱
جدول ۳-۱۱ مشخصات تغییرنمای پذیرفتاری مغناطیسی در فرکانس پایین و فلزات سنگین مورد بررسی ۱۰٦

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل تجمع عناصر سنگین در خاک و خطرات ناشی از آن، تشخیص نوع، منشأ و پراکندگی این عناصر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آلودگی خاک باعث کاهش کیفیت محیط زیست شده و سلامت موجودات زنده را به خطر می‌اندازد. معمولاً از روش‌های شیمیایی در بررسی آلودگی خاک استفاده می‌شود که روشی دشوار، پر هزینه و مخرب است ولی امروزه روش‌های جدید اندازه گیری به وسیله مغناطیس سنجی به عنوان یک روش مناسب برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک استفاده می‌شود که روشی سریع، ارزان و غیر مخرب است. این مطالعه با هدف بررسی اثرات کاربری اراضی و مواد مادری بر توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت برخی از فلزات سنگین در خاک سطحی برخی از اراضی مناطق شهری و شرق اصفهان انجام گرفت. در مجموع از ۲۰۴ نقطه خاک سطحی از ۶ عمق ۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵، ۲۵-۲۰، ۳۰-۲۵ سانتی متری از منطقه‌ای به وسعت ۵۱۰۰ کیلومتر مربع نمونه برداری صورت گرفت. موقعیت نقاط نمونه برداری توسط دستگاه GPS تعیین و کاربری نقاط نیز ثبت گردید و مواد مادری نمونه‌ها نیز با استفاده از نقشه زمین شناسی منطقه تعیین گردید. پس از آماده سازی نمونه‌ها، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در دو فرکانس ۰/۴۶KHz (χlf) و ۴/۶ KHz (χhf) اندازه گیری شد و مقدار پذیرفتاری وابسته به فرکانس (χfd) نیز با استفاده از معادله مربوط محاسبه گردید. غلظت فلزات آهن، روی، مس، منگنز، نیکل، کبالت، سرب و کروم در نمونه های خاک نیز پس از عصاره گیری، با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک شامل هدایت الکتریکی، pH، کربنات کلسیم معادل، ماده آلی، گچ و بافت خاک نیز در نمونه‌ها تعیین گردید. نقشه پراکنش مکانی پارامتر های مورد مطالعه نیز با استفاده از روش کریجینگ ترسیم گردید. در مجموع در تمام مناطق مطالعه شده ۶ نوع مختلف از الگوهای پذیرفتاری مغناطیسی مشاهده شد که الگوهای شاخص برای خاک‌های قرار گرفته بر روی مواد مادری آذرین و رسوبی در کاربری‌های کشاورزی، مرتعی، کنار جاده و شهری است. نتایج آنالیز فلزات سنگین نشان داد که غلظت فلزات سرب، روی و مس در کاربری شهری بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی از جمله آلودگی ترافیکی و شهری و فعالیت‌های معدن‌کاوی در منطقه قرار دارند. همبستگی فلزات آهن، منگنز، نیکل و کبالت در کاربری شهری نشان می‌دهد که غلظت این فلزات تحت تأثیر مشترک فعالیت‌های انسانی و مواد مادری در منطقه قرار دارد. مقادیر کم فلزات مورد بررسی و همبستگی بالای بین آن‌ها در کاربری غیر شهری نشان می‌دهد که این عناصر بیشتر تحت تأثیر منابع طبیعی در خاک یافت می‌شوند و افزایش آنتروپوژنیک نشان ندادند. نتایج نشان داد که در کاربری غیر شهری فلزات منگنز و کبالت همبستگی مثبت و معنی‌داری با χlf وχhf دارد. در کاربری شهری غلظت فلزات آهن، روی، منگنز، نیکل و سرب همبستگی منفی و معنی‌داری با χfd نشان داد و در کاربری غیر شهری آهن، روی و نیکل همبستگی مثبت و معنی‌داری با χfd نشان داد که دلالت بر وجود ذرات سوپر پارامگنتیک در منطقه دارد. غلظت بالای فلزات سرب، روی و مس در کاربری شهری نشان داد که این مناطق در مقایسه با کاربری‌های کشاورزی و مرتعی آلوده شده است. نتایج نشان داد که دو عامل مهم کنترل کننده پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین در منطقه مواد مادری و فعالیت‌های انسانی است. همبستگی منفی و معنی دار بالایی بین پذیرفتاری مغناطیسی و هدایت الکتریکی، گچ، کربنات کلسیم معادل و ماده آلی مشاهده شد. افزایش املاح محلول، گچ، کربنات کلسیم معادل و ماده آلی پذیرفتاری مغناطیسی خاک را از طریق رقیق سازی کانی‌های مغناطیسی کاهش می‌دهند. بر اساس نتایج این مطالعه به دست آوردن الگوی توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در مواد مادری مختلف فاکتور مهمی در تفسیر داده‌های پذیرفتاری بدست آمده از کاربری‌های مختلف است و همچنین از اندازه گیری پذیرفتاری مغناطیسی می‌توان برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک استفاده نمود.

کلمات کلیدی : توزیع پذیرفتاری مغناطیسی، کاربری اراضی، فلزات سنگین، آلودگی‌های شهری و صنعتی، مواد مادری

فصل اول
مقدمه

۱-۱ کلیات

۱-۱-۱ اهمیت بررسی آلودگی خاک

محیط زیست هر روز دست‌خوش تغییرات و تحولات تازه ای می‌شود. هر سال میلیون‌ها نفر به جمعیت جهان افزوده می‌گردد که برای تأمین احتیاجات این جمعیت افزوده شده نیاز به بهره برداری بیشتر از منابع طبیعی و ذخایر جهان می‌باشد. علاوه بر افزایش جمعیت، علاقه‌مندی جوامع به رفاه اجتماعی و دستیابی به استانداردهای بالای زندگی نیز موضوعی است که فشار مضاعفی را بر منابع محدود کره زمین تحمیل می‌نماید. بدیهی است این حق مسلم انسان است که به فراخور دانش و خرد نوین خود از منابع موجود زمین بهره‌مند شود . اما طی سال‌های اخیر و در نتیجه اجرای بعضی برنامه های توسعه اقتصادی، صنعتی، کشاورزی و خدماتی در مناطق مختلف جهان، تعادل و توازن طبیعت در مواردی برهم خورده است که این امر عوارضی را در مقیاس‌های محلی یا منطقه ای و حتی جهانی به همراه داشته است [۱۱].

فعالیت‌های بشری غالباً به صورت مستقیم و بعضاً به گونه‌ای معکوس بر کیفیت محیط زیست تأثیر می‌گذارد. افزایش جمعیت، کاهش منابع تولیدی و ناهنجاری‌های سیاسی اجتماعی باعث اثرات نامطلوبی بر خصوصیات زیست محیطی کره خاکی شده است. از سوی دیگر فعالیت‌های بسیار متمرکز صنعتی و کشاورزی اثرات سویی بر خصوصیات زیست محیطی خاک و کیفیت آن، به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع در دسترس، نهاده است. بنابراین حفاظت از کیفیت خاک‌ها و جلوگیری از زوال آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است [۳۵].

از دیدگاه جهانی پس از آب و هوا، خاک سطحی سومین جزء عمده محیط زیست انسانی تلقی می‌شود [۳۸]؛ بنابراین آلودگی خاک یکی از موضوعات اساسی محیط زیست است و از میان آلاینده‌های خاک فلزات سنگین به واسطه طبیعت غیر قابل تجزیه، سمیت زیاد، اثرات تجمعی و سرطان‌زایی مورد توجه می‌باشند [۳۰].

خاک منبع اصلی تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز بدن می‌باشد که از طریق گیاهان و حیوانات به بدن انسان می‌رسند. از نظر بیولوژیکی عناصر کم مصرف، فعال‌ترین عناصر به شمار می‌روند. خاک می‌تواند از چند طریق سلامتی انسان را تهدید نماید. خاک ممکن است از طریق بلع، استنشاق و یا از طریق زخم‌ها وارد بدن و باعث امراض مختلف شود. عناصری که از خاک وارد زنجیره غذایی (گیاهان و حیوانات) می‌شوند می‌توانند وارد چرخه غذایی محیط‌های آبی هم بشوند. بعضی از اثرات خاک بر سلامتی انسان ناشی از شرایط طبیعی است و بعضی از این اثرات هم به دلیل فعالیت‌های بشری به خصوص فعالیت‌هایی که منجر به آلودگی می‌شوند تشدید می‌گردند [۲۳].

خاک سطحی یک مرکز تجمع مهم برای آلاینده‌ها است و آلاینده‌های منتشره از بسیاری راه‌ها مثل گازهای خروجی وسایل نقلیه، پسماندهای صنعتی، رسوب گرد و غبار و مواد معلق در اتمسفر، احتراق زغال سنگ و رسوب دیگر آلاینده‌ها را در بر می‌گیرد [۲۰۶].

خاک به عنوان اصلی‌ترین دریافت کننده آلودگی‌های موجود در جهان عمل می‌کند. کیفیت خاک از جنبه‌های کاربردی بسیار حائز اهمیت است به طوری که توان باروری خاک در تولید غذا، منسوجات و علوفه کاملاً تحت تأثیر کیفیت خاک قرار دارد و در واقع توانایی خاک جهت تولید مواد غذایی با کیفیت مطلوب، علوفه و گیاهان صنعتی بستگی به وجود یا عدم وجود آلودگی‌ها در خاک دارد [۳۳]. آلاینده‌ها از جمله عوامل مختل کننده محیط زیست هستند و در بین آن‌ها فلزات سنگین به دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیک آن‌ها بر جانداران در غلظت‌های کم، مهم هستند و به دلیل کاربرد فلزات سنگین در صنعت و مهم‌تر از همه نقش این عناصر در آلودگی محیط این عناصر مهم در نظر گرفته می‌شوند [٤٠].

فلزات سنگین به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً زیاد بوده و در غلظت‌های کم سمی می‌باشند. هرچند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک هستند اما پراکنش جغرافیایی آن‌ها چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی مشکلات و مسائلی را در برخواهد داشت. به طور معمول فلزات سنگین را شامل کادمیم، سرب، آرسنیک، برلیم، بور، سلنیم، جیوه، مس و برخی دیگر از فلزات در نظر می‌گیرند [٤٨]. از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها می‌توان صنایع کوچک و بزرگ و نیز وسایل حمل و نقل را نام برد که با تولید آلاینده‌ها و وارد کردن آن‌ها به هوا، اولین حلقه آلودگی را ایجاد می‌نمایند، سپس این مواد از طریق فرونشست جوی وارد خاک‌ها شده و در آن‌ها تجمع می‌یابند [۵۲].

۱-۱-۲ پذیرفتاری مغناطیسی[1] و جایگاه آن در مطالعات آلودگی

پذیرفتاری مغناطیسی درجه‌ای است که یک ماده، میدان مغناطیسی شناخته شده و معینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مقدار این تأثیر تابع غلظت و نوع کانی‌های مغناطیسی است که در نمونه وجود دارد. ممان های مغناطیسی کل در واحد حجم به عنوان فاکتور مغناطیسی شدن (M) شناخته می‌شود. پذیرفتاری مغناطیسی حجمی (κ) عبارت است از نسبت M به شدت میدان مغناطیسی (H) که مورد استفاده قرار گرفته و به صورت معادله ۱-۱ نمایش داده می‌شود [۱۶۱].

$$\kappa = M / H \qquad (۱-۱)$$

پذیرفتاری مغناطیسی جرمی که به صورت χ_{mass} نشان داده می‌شود با استفاده از معادله ۱-۲ محاسبه می‌شود [۱۶۱].

$$\chi_{mass} = \kappa / \rho \qquad (۱-۲)$$

در این فرمول χ پذیرفتاری مغناطیسی جرمی بر حسب m^3/kg، κ پذیرفتاری مغناطیسی حجمی (بدون واحد) و ρ دانسیته مواد مورد آنالیز بر حسب kg/m^3 است. در برخی مواد متبلور نظیر کانی‌های آهن دار اثرات متقابل بین ممان های مغناطیسی میلیون‌ها اتم، ایجاد یک آهن‌ربای کوچک و ذره‌ای می‌کند، به این خاصیت فرومغناطیس[2] گفته می‌شود. عامل ایجاد مغناطیسی در خاک عمدتاً کانی‌های مگنتایت[3] و ماگهمایت[4] هستند [۱۵۸]. در حالی که کانی‌های آهن دار دیگر غیر مغناطیس بوده و حتی برخی ترکیبات موجود در خاک نظیر کربنات‌ها دارای پذیرفتاری مغناطیسی منفی هستند [۱۵۸]. در این رابطه تنها داشتن فرمول کانی مشخصی کافی نیست، بلکه آرایش اتم‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. به عنوان مثال هماتیت[5] و ماگهمایت هر دو فرمول Fe_2O_3 دارند ولی هماتیت با آرایش $\alpha- Fe_2O_3$ یک آنتی-فرومغناطیس[6] است در حالی که ماگهمایت با آرایش $\gamma- Fe_2O_3$ یک فری‌مغناطیس[7] است [۱۵۸].

برخی مطالعات انجام شده در دنیا نشان داده است که پذیرفتاری مغناطیسی دارای پتانسیل بالایی جهت ردیابی و برآورد آلودگی خاک و رسوبات به عناصر سنگین است [۱۳۹]. مبنای استفاده از این روش بر این اصل استوار است که بسیاری از اثرات انسان[8] در ایجاد آلودگی روی محیط به وسیله رهاسازی ذراتی است که به شدت مغناطیسی هستند و این امر باعث افزایش مقدار پذیرفتاری مغناطیسی خاک می‌گردد [۱۰۰، ۱۱۹، ۱۳۹]. در سال‌های اخیر استفاده از پذیرفتاری مغناطیسی به طور موفقیت آمیزی جهت تهیه نقشه آلودگی عناصر سنگین به کار رفته است که می‌توان به

---

[1] - Magnetic susceptibility
[2] - Ferromagnetism
[3] - Magnetite
[4] - Maghemite
[5] - Hematite
[6] - Antiferromagnetism
[7] - Ferrimagnetism
[8] - Anthropogenic

بررسی تهیه نقشه عناصر سمی و آلوده کننده که به وسیله صنایع و کارخانجات به خاک‌ها و به ویژه به خاک‌های کناره جاده‌ها[1] اضافه می‌شود، اشاره کرد [۱۳۹].

به دلیل اهمیت عناصر سنگین در آلودگی خاک با وجود مطالعات مختلف در بسیاری از استان‌های کشور در این زمینه، اطلاعات کمی در مورد پراکنش این عناصر در خاک وجود دارد. در استان اصفهان تحقیقاتی در مورد آلودگی خاک به فلزات سنگین صورت گرفته است. امینی (۱۳۸۳) در پژوهش خود در منطقه اصفهان غلظت سرب و کادمیم خاک را زیاد گزارش داد و علت آن را بنزین دارای سرب، کمپوست مصرفی در پارک‌ها دانست و کشاورزی و صنعت را عامل افزایش غلظت این عناصر در غرب منطقه مطالعاتی خود معرفی کرد [٤]. بقایی (۱۳۸۲) در اطراف ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه [۸]، صدر (۱۳۸۵) در اراضی صنعتی، کشاورزی و شهری اصفهان [۲۸] و خسروی (۱۳۸۷) در خاک‌های کشاورزی، شهری و صنعتی اصفهان [۱۸]، مطالعاتی را در زمینه تغییرات مکانی برخی فلزات سنگین انجام داده‌اند.

عموماً روش‌های شیمیایی برای بررسی خاک‌های آلوده انتخاب می‌شود، اما اندازه گیری مغناطیسی خاک‌ها اطلاعات زیادی را با هزینه کم و در زمان کوتاه‌تری به ما می‌دهد و روشی سریع و غیر مخرب است [۲۰۲]. کریمی و همکاران (۲۰۱۱) و دنکوب (۱۳۸۹) در اصفهان همبستگی بالایی را بین پذیرفتاری مغناطیسی و غلظت فلزات سنگین گزارش کردند و بیان کردند استفاده از روش‌های مغناطیسی در بررسی آلودگی خاک سریع، کم هزینه و از دقت قابل قبولی برخوردار است [۲۰، ۱۲۱]. از آنجایی که در ایران مطالعات محدودی در این زمینه صورت گرفته و همچنین با توجه به سرعت بالا و دقت نسبتاً قابل قبول این روش جهت مکان یابی مناطق آلوده و غیر آلوده به عناصر سنگین، این مطالعه به منظور برآورد کارائی روش پذیرفتاری مغناطیسی خاک برای بررسی آلودگی خاک‌های سطحی مناطق شهری، کشاورزی و صنایع در بخشی از اراضی شرق شهرستان اصفهان انجام گرفت.

۱-۱-۳ فرضیات

۱- میزان پذیرفتاری مغناطیسی با مقدار ماده آلی، بافت خاک، درصد آهک، درصد گچ و هدایت الکتریکی درجات مختلفی از همبستگی مثبت و منفی را نشان می‌دهد.

۲- ارتباط معنی‌داری بین غلظت کل عناصر سنگین مورد مطالعه با میزان پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری شهری و یا مناطق صنعتی وجود دارد.

۳- توزیع پذیرفتاری مغناطیسی در مناطق آلوده از حالت تیپیک تبعیت نمی‌کند.

۴- مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در کاربری‌ها و زمین شناسی‌های متفاوت پروفیل عمودی مختلفی نشان می‌دهد.

[1] - Roadside soils

۱-۱-۴ اهداف

۱- بررسی اثر نوع کاربری و زمین شناسی بر مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه

۲- تعیین توزیع مکانی پذیرفتاری مغناطیسی در خاک‌های با زمین شناسی مختلف و ارتباط آن با برخی فلزات سنگین.

۳- بررسی الگوهای توزیع عمودی پذیرفتاری مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه با کاربری و زمین شناسی متنوع

۱-۲ بررسی منابع

فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان ساخت وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به داخل محیط زیست، متجاوز از میزانی است که به وسیله فرایندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست مورد توجه می‌باشد. ته نشست‌های پسماندهای معدنی غنی از فلزات سنگین، ذوب فلزات، چرم سازی، نیروگاه‌های برق، انتشارات احتراق و سوختن سوخت‌های فسیلی، بهبود کشاورزی و اضافه کردن کودها، لجن فاضلاب و خاکستر فرار به خاک بیشترین فعالیت‌های انسانی هستند که خاک‌ها را با مقادیر زیاد عناصر سمی آلوده می کنند [۸۹].

تخریب و آلودگی محیط زیست ثمره ویژه جوامع صنعتی و یکی از ره آوردهای صنعتی شدن اجتماعات بشری است با این حال اثرات آن، یک مشکل جهانی است که متوجه همه جوامع می‌شود نه یک مجموعه خاص ، به طور کلی به هر گونه تغییر در ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده محیط به طوری که عملکرد طبیعی و تعادل زیستی آن‌ها مختل گردد و به طور مستقیم یا غیر مستقیم منافع و حیات موجودات زنده را به مخاطره اندازد آلودگی محیط زیست گفته می‌شود [۳٤]. آلاینده‌های خاک سلامت انسان و کیفیت محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در بین آلاینده‌های خاک و محیط زیست، فلزات سنگین در چند دهه گذشته توجه قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده‌اند. غلظت فلزات سنگین در خاک و به ویژه در بعضی از اراضی کشاورزی از طریق جذب توسط گیاهان، به حد آستانه تهدید کننده سلامت مواد غذایی رسیده است [٤۷].

تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد ، با توجه به منابع طبیعی محدود و به نحوی که محیط زیست کم‌ترین تأثیر را متحمل گردد، امروزه یکی از مباحث بسیار مهم در جهان به شمار می‌رود. دسترسی به منابع آب و خاک هم از نظر کمیت و هم از نظر کیفیت نگران کننده است .کیفیت منابع آب و خاک عمدتاً متأثر از فعالیت‌های انسان (کشاورزی ، صنعت و شهری) می‌باشد که به صورت منابع آلاینده نقطه‌ای[1] و غیر نقطه‌ای[2] نمود می‌نماید. تفاوت آلاینده‌های نقطه ای و غیر نقطه ای تنها از لحاظ گسترش مکانی آن‌هاست [٦۲]. آلاینده‌های غیر نقطه ای به طور عمده شامل کودهای شیمیایی، آفت کش‌ها، فلزات سنگین و نمک‌ها می‌باشند که معمولاً در سطح وسیعی گسترده شده‌اند [٦۳]. آلاینده‌های نقطه ای مانند محل تخلیه فضولات صنعتی، معمولاً در یک محل متمرکز می‌باشند. در گذشته این منابع به دلیل مشهود بودن اثرات شدید آن‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. آلاینده‌های نقطه ای به طور معمول بسیار

[1] - Point source
[2] - Non-Point source

سمی هستند. لیکن شناسایی و کنترل آن‌ها ساده تر از آلاینده‌های غیر نقطه‌ای است. در سال‌های اخیر نگرانی‌ها بیشتر معطوف آلاینده‌هایی گردیده که دارای غلظت کمتر ولی دامنه انتشار وسیع‌تری می‌باشند. آلودگی‌های غیر نقطه ای یا به طور طبیعی اتفاق می‌افتد (مانند انباشت نمک‌ها در خاک) و یا ناشی از کاربرد مستقیم آن‌ها توسط انسان هستند (مانند آفت کش‌ها و کودهای شیمیایی). صرف نظر از نحوه ورود، این آلودگی‌ها معمولاً از فعالیت‌های انسان ناشی می‌شوند [٦٣].

آلودگی‌های غیر نقطه ای یک مشکل جهانی است زیرا بشر به سادگی قادر به محدود کردن این آلودگی‌ها به وسیله حدود و مرزهای بین کشورها نمی‌باشد [٧٤]. در حال حاضر منابع آلاینده غیر نقطه‌ای به عنوان مهم‌ترین عوامل آلوده کننده منابع آب و خاک در مقیاس جهانی به شمار می‌روند و کشاورزی بیشترین سهم را در ایجاد این آلودگی‌ها دارد [٧٥]. ارزیابی دقیق اثرات آلودگی‌های غیر نقطه‌ای بر اکوسیستم جهانی با توجه به میزان و گسترش آن‌ها در حال حاضر امکان پذیر نمی‌باشد [٧٤]. دشواری بررسی آلودگی‌های غیر نقطه ای عمدتاً ناشی از موقعیت، مقیاس، پیچیدگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی رفتار آن‌ها و ناهمگونی مکانی محیط مورد مطالعه می‌باشد [٦٢]. برای بررسی آلودگی‌های غیر نقطه‌ای باید از مجموعه‌ای از علوم شامل آمار کلاسیک، زمین آمار، سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، خاک‌شناسی، هیدرولوژی و سایر علوم زیستی بهره گرفت.

۱-۲-۱ فلزات سنگین

فلزات سنگین به عناصری اطلاق می‌شود که دارای جرم اتمی بیشتر از آهن (۵۵/۸ گرم بر مول) یا به عبارت دیگر دارای جرم مخصوص بیش از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب باشد. و در گروه عناصر واسطه جدول تناوبی قرار دارند و زمانی که غلظت آن‌ها از حد معینی که برای هر عنصر متفاوت است، تجاوز کند، خاصیت سمی دارند [۴۰]. فلزات سنگین در خاک تحرک کمی داشته و این عناصر تقریباً در لایه سطحی خاک و حداکثر تا ۳۰ سانتی متری از سطح خاک باقی می‌مانند. پراکنش جغرافیایی عناصر سنگین چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسان مسائل و مشکلاتی را به همراه خواهد داشت. این مشکلات شامل کمبود و یا اثرات سمی این عناصر می‌باشند [۶۵]. آلودگی خاک به وسیله عناصر سنگین معمولاً تحت تأثیر فعالیت‌های انسان است که به ویژه در نواحی صنعتی مشاهده می‌شود. فلزات سنگین همراه با ضایعات کارخانه‌ها و صنایع به صورت گرد و غبار وارد محیط زیست می‌شوند و با ورود به چرخه غذایی انسان و حیوانات مشکلاتی را برای آن‌ها ایجاد می‌کند. با وجود آنکه در کشورهای صنعتی برای فلزات سنگین حد مجاز تعیین شده است این مقادیر در کشورهای مختلف یکسان نبوده و گاهی دامنه اختلافات تعیین شده بین بیشترین و کم‌ترین مقدار مجاز به صد برابر می‌رسد. در شکل۱-۱ موقعیت عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول تناوبی نشان داده شده است.