

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
وَأَنبَأْتُكُمُ الْبَيِّنَاتِ  
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه  
گروه زمین‌شناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی  
(گرایش رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی)

عنوان:

ارزیابی آلودگی زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در محدوده معدن  
سرب و روی آهنگران - ملایر

اساتید راهنما:

دکتر بهروز رفیعی  
دکتر سعید خدابخش

استاد مشاور:

دکتر مهدی هاشمی

پژوهشگر:

اعظم السادات خدائی

مهرماه ۱۳۸۸



دانشگاه بوعلی سینا

دانشکده علوم

گروه زمین شناسی

جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی

گرایش رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی

خانم اعظم السادات خدائی

تحت عنوان:

ارزیابی آلودگی زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در محدوده معدن سرب و روی

آهنگران - ملایر

به ارزش ۸ واحد در روز شنبه مورخ ۸۸/۷/۱۱ ساعت ۱۲-۱۰ در محل آمفی تئاتر ۲ و با حضور اعضای هیأت داوران

زیر برگزار گردید و با نمره ..... درجه عالی ..... ارزیابی شد.

ترکیب اعضای هیأت داوران:

ردیف	سمت در هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی - گروه / دانشکده / دانشگاه	محل امضاء
۱.	استاد راهنما	دکتر بهروز رفیعی	استادیار دانشگاه بوعلی سینا	
۲.	استاد راهنما	دکتر سعید خدابخش	دانشیار دانشگاه بوعلی سینا	
۳.	استاد مشاور	دکتر مهدی هاشمی	استادیار دانشگاه بوعلی سینا	
۴.	داور	دکتر حسن محسنی	استادیار دانشگاه بوعلی سینا	
۵.	داور	دکتر مجتبی حیدری	استادیار دانشگاه بوعلی سینا	

## بارالها

راهی نمی بینم و آینده پنهان است

اما همین برایم بس است که تو همه چیز را می بینی و من تو را

تقدیم به آنان که برایم بهترین هستند

پدر بزرگوارم

سرچشمه خلوص است و استقامت،

سنبل امید است و خوش قلبی

مظهر تلاش است و اراده،

او که با اندرزهایش ایستادگی و پشتکار را به من آموخت و دعاهایش همواره بدرقه راه من بوده و هست.

مادر مهربانم

گنجینه محبت است و فداکاری،

آموزگار صداقت است و وفا

او که وسعت بیکرانه قلبش ساحل امن من است

و فرشته مهربانی که لحظه لحظه زندگی و دوران تحصیل من آکنده از مهر و محبت های بی دریغ او بوده و هست.

خواهران و برادران عزیز و دوست داشتنی ام

دلشاد از شادیشان و دلگرم از دیدار وجودشان

## تقدیر و تشکر

سپاس بی دریغ آن حقیقتی که مرا از گودال عمیق نیستی به ورطه بی‌نهایت هستی کشاند حقیقتی که زیبایی‌های وصف‌ناپذیرش همچون جاذبه‌های حسی اغواگر در برخورد با ردپاهای برجامانده بر یک راه غریب، مرا به سوی دانستن و بیشتر دانستن وسوسه کرد. با نثار عمیق‌ترین سپاس‌ها بر آنان که کاستی‌ها را هنرمندانه بیاگاهاندند و لغزش‌ها را صمیمانه درگذشتند به ویژه:

### اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر بهروز رفیعی و دکتر سعید خدابخش

که ضمن آموزش انسانیت و محبت و با همه مشغله‌های فراوان و با وجود پی‌گیری‌های کریمانه‌ایشان، مرا به ماوراء نادانسته‌هایم رهنمون ساختند. یادشان همچون ستاره‌ای در فکر و اندیشه‌ام پرتوافکنی خواهد کرد.

### استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر مهدی هاشمی

که با تواضع و فروتنی، امکان اجرای پژوهش را به گونه‌ای شایسته برآورده ساختند.

### اساتید گرانمایه جناب دکتر حسن محسنی و دکتر مجتبی حیدری

که با دقت و نکته‌سنجی و مساعدت‌های ناشی از بذل اعتماد وافر، تکمیل این پژوهش را مرهون رهنمودهای ایشان هستیم.

### دوستان عزیز و مهربانم

**خانم‌ها:** بختیاری‌نژاد، صحرارو، رحیمی، بهپور، ولی‌پور، زال آقایی، خاکدان، علیزاده، موسوی، نادری، نجفلو، فتحیان، طهرانی، بلمکی، روستا، عابدی، صدیقی، قدیری، قیاسوند، رحمتی، مولایی، صبوری، احمدی، رضایی، بخشی، حیدری، کولیوند، اخلاقی، اسدی، حسین زاده، محمدرضایی، نعمت‌اللهی، حقیقی، گلباغی، صالحی، سلیمانی و میقانی

**آقایان:** محمدی، کمانی، صادقی، روحانی، خشنودکیا، منصوری، مهدی آبادی، علیرضایی، علوی، میری، اکبری، قاسمی و ذوالفقاری که هرگز لطف خویش را از من برنگرفتند و مرا به وجهی مرهون مهر خویش ساختند.

نام خانوادگی: خدائی	نام: اعظم السادات
عنوان پایان نامه: ارزیابی آلودگی زیست محیطی ناشی از فلزات سنگین در محدوده معدن سرب و روی آهنگران، ملایر	
اساتید راهنما: دکتر بهروز رفیعی و دکتر سعید خدابخش استاد مشاور: دکتر مهدی هاشمی	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: زمین شناسی
گرایش: رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی	
دانشگاه: بوعلی سینا همدان	دانشکده: علوم پایه
تعداد صفحه: ۱۵۳	تاریخ دفاعیه: ۸۸/۷/۱۱
واژه های کلیدی: معدن آهنگران، فلزات سنگین، آلودگی خاک، شاخص های ژئوشیمیایی، خصوصیات فیزیکوشیمیایی،	
<p><b>چکیده</b></p> <p>معدن کاری در اکثر جوامع به عنوان یکی از عوامل زیربنایی اقتصاد مورد توجه شایانی می باشد، لیکن افزایش مسایل ناشی از اثر فعالیت های معدن کاری بر محیط زیست موجب رشد روزافزون پژوهش هایی در زمینه آثار زیانبار زیست محیطی آنها شده است. در این راستا و در جهت ارزیابی میزان آلودگی محیطی معدن سرب و روی آهنگران (جنوب شرقی شهرستان ملایر (استان همدان)) آزمایشات ژئوشیمیایی (AAS, ICP-AES) به منظور تعیین غلظت کل و بخشی عناصر سنگین سرب، روی، مس، کادمیم، آرسنیک و آنتیموان بر روی ۴۰ نمونه خاک سطحی اطراف معدن انجام گرفت. میزان غلظت حداکثر و حداقل عناصر مورد مطالعه به ترتیب ۱۲ تا ۷۸۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای سرب، ۱۵ تا ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم برای روی، ۲۲ تا ۲۵۸ میلی گرم بر کیلوگرم برای مس، ۰/۴ تا ۶۵/۳ میلی گرم بر کیلوگرم برای کادمیم، ۱۱ تا ۱۷۲ میلی گرم بر کیلوگرم برای آرسنیک و ۴ تا ۲۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم برای آنتیموان می باشد. و همچنین میزان حداکثر غلظت بخشی برای عناصر سرب و روی ۲۲۳ و ۹۸۷ میلی گرم بر کیلوگرم مشخص شد. این مقدار برای عنصر آرسنیک و آنتیموان (با استفاده از روش</p>	

HG-AAS) به ترتیب ۳۵/۹ و ۶/۱۸ تعیین شد. ارزیابی میزان عناصر بالقوه سمی با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت و شاخص‌های آلودگی نشان می‌دهد که میزان فاکتور غنی‌شدگی به ترتیب ۲۴/۲۷ برای سرب، ۳/۷۳ برای روی، ۲/۱۴ برای مس، ۷/۵۳ برای کادمیم، ۱/۸۹ برای آرسنیک و ۱۱/۰۳ برای آنتیموان، میزان شاخص زمین‌انباشت ۲/۱۳ برای سرب، ۰/۱۸- برای روی، ۰/۰۳- برای مس، ۰/۵۰ برای کادمیم، ۰/۰۱ برای آرسنیک، ۱/۰۰ برای آنتیموان و هم‌چنین میزان شاخص آلودگی ۱۸/۵ برای سرب، ۳/۳۸ برای روی، ۱/۷۹ برای مس، ۶/۷۶ برای کادمیم، ۱/۷۲ برای آرسنیک و ۷/۸۶ برای آنتیموان می‌باشد. با توجه به داده‌های حاصله آلودگی منطقه مورد مطالعه با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی در رده عدم- حداقل تا خیلی زیاد، شاخص زمین‌انباشت در رده غیرآلوده تا متوسط-شدید و شاخص آلودگی در رده متوسط تا زیاد قرار دارد. در این راستا بیشترین سهم آلودگی خاک‌های منطقه توسط ضایعات معدنی بوده و در این رابطه عناصر مربوطه به ویژه سرب روند نگران‌کننده‌ای دارد.

## فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی.....	۴
۳-۱- توپوگرافی و مورفولوژی.....	۴
۴-۱- مشخصات اقلیمی.....	۶
۵-۱- محیط زیست.....	۷
الف- حیات وحش.....	۷
ب- پوشش گیاهی.....	۸
ج- خاک‌شناسی.....	۸
۶-۱- مطالعات پیشین.....	۹
۷-۱- ضرورت پژوهش.....	۱۱
۸-۱- اهداف پژوهش.....	۱۱

## فصل دوم: زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

۱-۲- مقدمه.....	۱۴
۲-۲- زمین‌شناسی.....	۱۴
۳-۲- زمین‌ساخت.....	۱۶
۴-۲- فعالیت دگرگونی.....	۱۷
۵-۲- فعالیت آتشفشانی.....	۱۸
۶-۲- واحدهای چینه‌شناسی.....	۱۸



الف- واحدهای سنگ چینه‌ای تریاس بالایی - ژوراسیک	۱۸
الف-۱- واحد فیلیتی ( $J^{ph}$ )	۱۹
الف-۲- واحد ماسه‌سنگ کوارتزیتی ( $J^{qs}$ )	۱۹
الف-۳- واحد اسلیتی ( $J^{sl}$ )	۱۹
الف-۴- واحد شیلی - ماسه‌سنگی ( $J^{sh.ss}$ )	۱۹
ب- واحدهای سنگ چینه‌ای کرتاسه زیرین	۲۱
ب-۱- واحد کنگلومرای، ماسه‌سنگی و دولومیت‌های ماسه‌ای ( $K^C$ )	۲۱
۱- زیر واحد کنگلومرا و ماسه‌سنگ ( $K^{C1}$ )	۲۱
۲- زیر واحد ماسه‌سنگی ( $K^{C2}$ )	۲۲
ب-۲- واحد دولومیتی ( $K^{C3}$ )	۲۲
ب-۳- واحد آهک پلیتی ( $K^m$ )	۲۲
ب-۴- واحد آهک توده‌ای ( $K^L$ )	۲۳
ج- نهشته‌های زمان کواترنر	۲۳
ج-۱- پادگانه‌های آبرفتی قدیم ( $Q^{I2}$ )	۲۴
ج-۲- پادگانه‌های آبرفتی جدید ( $Q^{I1}$ )	۲۴
ج-۳- واریزه‌ها	۲۴
ج-۴- آبرفت‌های جوان ( $Q^{al}$ )	۲۴
۲-۷- زمین‌شناسی معدن	۲۴
الف- فرایند کانی‌سازی در معدن	۲۵
ب- خاستگاه و ژنز معدن	۲۶

## فصل سوم: روش مطالعه

۲۹	۳-۱- روش مطالعه .....
۲۹	الف- نمونه برداری .....
۳۰	ب- کارهای آزمایشگاهی .....
۳۰	ب-۱- آماده سازی نمونه ها .....
۳۰	ب-۲- آزمایشات فیزیکوشیمیایی .....
۳۰	۱- تعیین اسیدیته خاک (pH) .....
۳۱	۲- تعیین درصد مواد آلی (LOI) .....
۳۱	۳- تعیین ظرفیت تبادل یونی (CEC) .....
۳۱	۴- کربنات سنجی (کلسیمتری) .....
۳۲	۵- دانه سنجی .....
۳۲	روش غربال .....
۳۳	آزمایش هیدرومتری .....
۳۴	۶- تشخیص کانی های رسی توسط آنالیز XRD .....
۳۵	۳-۲- شناسایی و تعیین غلظت فلزات سنگین .....
۳۷	الف- اندازه گیری غلظت کل فلزات سنگین .....
۳۷	ب- اندازه گیری غلظت بخشی فلزات سنگین .....
۳۷	ب-۱- اندازه گیری غلظت بخشی فلزات سنگین (Pb, Zn) به روش AAS .....
۳۷	ب-۲- اندازه گیری غلظت بخشی فلزات سنگین (Sb, As) به روش HG AAS .....
۳۸	۱- روش اسپکتروفتومتری مشتقی و تولید هیدرید .....

سیستم فلز- اسید .....	۴۰
سیستم اسید- $\text{NaBH}_4$ .....	۴۱
۲- معرف‌ها و محلول‌ها .....	۴۱
محلول $m/v$ ۰.۲٪ سدیم بروهیدرید در سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار .....	۴۱
تهیه محلول دی‌اتیل دی‌تیو کاربامات نقره .....	۴۱
۳- وسایل و دستگاه‌ها .....	۴۲
۴- منحنی کالیبراسیون آرسنیک (III) .....	۴۵
۵- منحنی کالیبراسیون آنتیموان (III) .....	۴۵

#### فصل چهارم: ژئوشیمی عناصر سنگین

۱-۴- مقدمه .....	۴۸
۲-۴- عناصر سنگین .....	۴۸
الف- تعریف عناصر سنگین .....	۴۸
ب- پیدایش و بازیافت فلزات سنگین .....	۴۹
ج- انتشار فلزات سنگین .....	۵۰
د- ورود فلزات سنگین و سرنوشت آن‌ها در خاک .....	۵۱
ه- غلظت بحرانی عناصر سنگین در خاک .....	۵۲
ی- چگونگی حرکت فلزات سنگین .....	۵۳
ز- فرآیندهای مؤثر در حرکت عناصر سنگین در خاک .....	۵۴

۵۵	۳-۴- ویژگی‌های ژئوشیمی عناصر سنگین.....
۵۶	الف- سرب .....
۵۷	الف-۱- منابع سرب در محیط .....
۵۸	الف-۲- آلودگی‌های ناشی از سرب .....
۵۸	۱- آلودگی طبیعی سرب .....
۵۸	۲- آلودگی مصنوعی سرب .....
۶۰	الف-۳- واکنش سرب با خاک.....
۶۰	۱- واکنش با سیلیکات‌های لایه‌ای .....
۶۰	۲- واکنش با اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی.....
۶۰	الف-۴- اثرات سمیت سرب بر انسان.....
۶۱	ب- روی .....
۶۲	ب-۱- واکنش روی با ترکیبات خاک.....
۶۳	ب-۲- اثر سمیت روی بر انسان .....
۶۴	ج- کادمیوم .....
۶۵	ج-۱- منشأ کادمیوم در خاک.....
۶۶	ج-۲- واکنش کادمیوم با خاک.....
۶۶	۱- واکنش با مواد آلی .....
۶۶	۲- واکنش با سیلیکات‌های لایه‌ای .....
۶۷	۳- واکنش با اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی.....
۶۷	ج-۳- اثر سمیت کادمیوم بر انسان.....

۶۸	د- مس
۶۹	د-۱- واکنش مس با ترکیبات خاک
۶۹	د-۲- اثر سمیت مس بر انسان
۶۹	ه- آرسنیک
۷۱	ه-۱- منشأ آرسنیک
۷۲	ه-۲- اثر سمیت آرسنیک بر انسان
۷۳	ی- آنتیموان
۷۳	ی-۱- منشأ آنتیموان
۷۴	ی-۲- اثر سمیت آنتیموان بر انسان

### فصل پنجم: آلودگی و ارزیابی آن با استفاده از محاسبات آماری

۷۷	۵-۱- مقدمه
۷۷	۵-۲- آلودگی
۷۷	الف- تعریف آلودگی و ماده آلاینده
۷۷	ب- انواع آلودگی
۷۸	ج- تأثیر آلودگی بر خاک
۸۰	۵-۳- روش تعیین میزان زمینه ژئوشیمیایی (Geochemical background)
۸۵	۵-۴- روش‌های ارزیابی سنجش آلودگی
۸۶	الف- فاکتور غنی‌شدگی
۸۸	ب- شاخص زمین‌انباشت

ج- شاخص آلودگی.....	۹۴
۵-۵- نتایج ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه مورد مطالعه.....	۹۹
فصل ششم: نتایج	
۱-۶- نتایج آنالیز فیزیکوشیمیایی و رسوب‌شناسی.....	۱۰۲
الف- تعیین اسیدیته (pH).....	۱۰۲
ب- تعیین درصد مواد آلی (LOI) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC).....	۱۰۲
ج- کربنات سنجی.....	۱۰۳
د- دانه‌سنجی.....	۱۰۳
۲-۶- آنالیز XRD نمونه‌های خاک.....	۱۰۹
۳-۶- نتایج حاصل از بررسی تغییرات غلظت کل و بخشی در نمونه‌های خاک.....	۱۱۲
۴-۶- پردازش داده‌ها.....	۱۱۹
الف- پردازش داده‌های فیزیکوشیمیایی.....	۱۱۹
ب- تعیین پارامترهای آماری.....	۱۲۳
ج- تحلیل آماری داده‌های ژئوشیمیایی.....	۱۲۳
ج-۱- محاسبه همبستگی ژئوشیمیایی بین عناصر.....	۱۲۳
ج-۲- ترسیم روابط خطی بین عناصر.....	۱۲۴
ج-۳- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای.....	۱۲۵

## فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۷- نتیجه‌گیری ..... ۱۳۱

۲-۷- پیشنهادات ..... ۱۳۴

منابع ..... ۱۳۶

پیوست ..... ۱۵۰

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و محل نمونه‌برداری در خاک‌های محدوده معدن آهن‌گران ..... ۵
- شکل ۱-۲: نمایی از عملکرد فرآیندهای تکتونیکی موجود در منطقه مورد مطالعه ..... ۱۷
- شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه ..... ۲۰
- شکل ۳-۲: نمایی از برخی واحدهای چینه‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه ..... ۲۳
- شکل ۱-۳: طیف جذبی کمپلکس آنتیموان با SDDC (۱) و آرسنیک با SDDC (۲) ..... ۳۹
- شکل ۲-۳: سیستم تجزیه‌ای مورد استفاده جهت تولید آرسین و استین ..... ۴۲
- شکل ۳-۳: طیف مشتق مرتبه اول کمپلکس آنتیموان با SDDC (۱) و آرسنیک با SDDC (۲) ..... ۴۳
- شکل ۴-۳: نمودار طیف‌های مشتق مرتبه اول غلظت‌های  $5/00 - 35/00 \mu g$  کمپلکس آرسنیک با دی‌اتیل دی‌تیو کاربامات نقره ..... ۴۴
- شکل ۵-۳: نمودار طیف‌های مشتق مرتبه اول غلظت‌های  $5/00 - 35/00 \mu g$  کمپلکس‌های آنتیموان با دی‌اتیل دی‌تیو کاربامات نقره ..... ۴۴
- شکل ۶-۳: منحنی کالیبراسیون بر حسب مقادیر غلظت  $5/00 - 35/00 \mu g$  آرسنیک تحت شرایط بهینه ۴۵ ..... ۴۵
- شکل ۷-۳: منحنی کالیبراسیون بر حسب مقادیر  $5/00 - 35/00 \mu g$  آنتیموان تحت شرایط بهینه ..... ۴۵
- شکل ۱-۵: منحنی احتمالی نرمال همراه با هیستوگرام و منحنی نرمال برای عناصر Sb, As, Cd, Cu, Zn, Pb در خاک‌های اطراف آهن‌گران ..... ۸۳، ۸۴
- شکل ۲-۵: نقشه پراکندگی شاخص فاکتور غنی‌شدگی عناصر سنگین Sb, As, Cd, Cu, Zn, Pb در معدن آهن‌گران ..... ۸۹
- شکل ۳-۵: نمایش شماتیک فاکتورهای غنی‌شدگی محاسبه شده نسبت به مقدار زمینه محلی، شیل و پوسته فوقانی ..... ۹۰
- شکل ۴-۵: نقشه پراکندگی شاخص زمین‌انباشت عناصر سنگین Sb, As, Cd, Cu, Zn, Pb در معدن آهن‌گران ..... ۹۲



- شکل ۵-۵: نمایش شماتیک شاخص زمین انباشت محاسبه شده نسبت به مقدار زمینه محلی، شیل و پوسته فوقانی ..... ۹۵
- شکل ۵-۶: نقشه پراکندگی شاخص آلودگی عناصر سنگین  $Pb, Zn, Cu, Cd, As, Sb$  در معدن آهنگران ۹۷
- شکل ۵-۷: نمایش شماتیک شاخص آلودگی محاسبه شده نسبت به مقدار زمینه محلی، شیل و پوسته فوقانی ..... ۹۸
- شکل ۶-۱: تغییرات درصد مقدار CEC در ارتباط با تغییر مقادیر درصد LOI و رس ..... ۱۰۳
- شکل ۶-۲: دیاگرام طبقه‌بندی نمونه‌های خاک ..... ۱۰۴
- شکل ۶-۳: نمودار دانه‌بندی تعدادی از نمونه خاک‌های اطراف معدن آهنگران ..... ۱۰۵
- شکل ۶-۴: نمودار آنالیز XRD نمونه خاک  $E_5$  از محدوده معدن آهنگران ..... ۱۰۹
- شکل ۶-۵: نمودار آنالیز XRD نمونه خاک  $F_1$  از محدوده معدن آهنگران ..... ۱۱۰
- شکل ۶-۶: نمودار آنالیز XRD نمونه خاک  $R_{12}$  از ناحیه کشاورزی محدوده معدن آهنگران ..... ۱۱۱
- شکل ۶-۷: نمودار آنالیز XRD نمونه خاک S از ناحیه کشاورزی معدن آهنگران ..... ۱۱۱
- شکل ۶-۸: نمودار آنالیز XRD نمونه خاک  $X_1$  از ناحیه ضایعات معدن آهنگران ..... ۱۱۲
- شکل ۶-۹: نمودار روند تغییرات غلظت کل و بخشی فلز سرب و روی در برخی نمونه‌های خاک اطراف معدن آهنگران ..... ۱۱۳
- شکل ۶-۱۰: نقشه پراکندگی غلظت بخشی عناصر سنگین  $Zn, Pb$  در محدوده معدن آهنگران ..... ۱۱۳
- شکل ۶-۱۱: نقشه پراکندگی غلظت کل عناصر سنگین  $Pb, Zn, Cu, Cd, As, Sb$  در محدوده معدن آهنگران ..... ۱۱۴
- شکل ۶-۱۲: روند تغییرات غلظت کل و بخشی فلزات سنگین  $As$  و  $Sb$  در برخی از نمونه خاک‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۱۱۸
- شکل ۶-۱۳: مقایسه بین میانگین میزان تمرکز فلزات و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ..... ۱۲۱، ۱۲۲

شکل ۶-۱۴: نمودار همبستگی خطی بین عناصر سنگین Pb با Cu، Sb و Zn با As و Cd در منطقه مورد مطالعه

۱۲۶ .....

شکل ۶-۱۵: دیاگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین مورد مطالعه در خاک‌های محدوده معدن آهن‌گران .... ۱۲۸

شکل ۶-۱۶: دیاگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین و پارامترهای فیزیکوشیمیایی مورد مطالعه در خاک‌های

محدوده معدن آهن‌گران..... ۱۲۸

- جدول ۱-۳: فهرست خواص فیزیکی هیدریدهای کوالانسی مهم تجزیه‌ای..... ۴۰
- جدول ۲-۳: شرایط بهینه برای اندازه‌گیری آرسنیک (III) و آنتیموان (III)..... ۴۴
- جدول ۱-۴: حد بحرانی زیست محیطی عناصر سنگین در خاک..... ۵۳
- جدول ۱-۵: فراوانی فلزات سمی در پوسته قاره‌ای فوقانی..... ۸۱
- جدول ۲-۵: مقادیر غلظت زمینه، میزان آلودگی (ناهنجاری) و میزان آلودگی کل یا خالص خاک‌های اطراف معدن آهنگران برای عناصر Sb, As, Cd, Cu, Zn, Pb..... ۸۵
- جدول ۳-۵: مقایسه بین میزان ناهنجاری نمونه‌های مورد مطالعه و میانه خاک‌های معمولی..... ۸۵
- جدول ۴-۵: رده فاکتور غنی‌شدگی و معیارهای شدت آلودگی خاک‌ها..... ۸۷
- جدول ۵-۵: رده فاکتور غنی‌شدگی و شدت آلودگی خاک‌های منطقه مورد مطالعه..... ۸۷
- جدول ۶-۵: رده شاخص زمین‌انباشت و معیارهای شدت آلودگی خاک..... ۹۱
- جدول ۷-۵: رده شاخص زمین‌انباشت و شدت آلودگی خاک‌های منطقه مورد مطالعه..... ۹۱
- جدول ۸-۵: رده شاخص آلودگی و معیارهای شدت آلودگی خاک..... ۹۴
- جدول ۹-۵: رده شاخص آلودگی و میزان شدت آلودگی خاک‌های منطقه مورد مطالعه..... ۹۶
- جدول ۱۰-۵: درصد رده‌های شاخص زمین‌انباشت..... ۹۹
- جدول ۱۱-۵: درصد رده‌های فاکتور غنی‌شدگی..... ۱۰۰
- جدول ۱۲-۵: درصد رده‌های شاخص آلودگی..... ۱۰۴
- جدول ۱-۶: خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک‌های محدوده معدن آهنگران ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸..... ۱۰۶
- جدول ۲-۶: نتایج حاصل از آنالیز XRD نمونه‌های انتخابی محدوده معدن آهنگران..... ۱۱۰
- جدول ۳-۶: نتایج آنالیز نمونه‌های خاک به روش ICP-AES و AAS..... ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷
- جدول ۴-۶: مقادیر تغییرات غلظت کل و بخشی فلزات سنگین As و Sb در برخی نمونه خاک‌های منطقه مورد مطالعه..... ۱۱۸

جدول ۶-۵: نتایج و مشخصات آماری خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک محدوده معدن آهنگران ۱۲۰

جدول ۶-۶: نتایج آنالیز پارامترهای آماری توزیع فلزات سنگین مورد مطالعه در نمونه خاک‌های محدوده معدن آهنگران ۱۲۴

جدول ۶-۷: ماتریس ضرایب همبستگی بین عناصر سنگین مورد مطالعه در معدن آهنگران..... ۱۲۵

جدول ۶-۸: ماتریس ضرایب همبستگی بین عناصر سنگین، pH، درصد ماده آلی، CEC و درصد رس، سیلت، ماسه به روش Pearson در نمونه‌های مورد مطالعه..... ۱۲۷