

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: علوم زمین

گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

## کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار آهن ورتاوه، جنوب کاشان

نگارش:

مجید وکیلی نوش‌آبادی

استاد راهنما:

دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور:

دکتر مریم شیبی

شهریور ۱۳۹۳

در آموزه‌های دینی آموخته‌ام که بهترین‌ها را ببخشم...

و دوست داشتم این تحقیق کاری کم عیب و نقص و ارزشمند می‌شد،  
اما حیف که این کار کمتر و کم ارزش‌تر از آن است تا تقدیم کنم به....

## سپاس‌گزاری

### من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق

سپاس خداوندی را که سر‌آغاز و سرانجام سپاس برای اوست و بنده را توان سپاس‌گزاری شایسته‌اش را نباشد. درود و سلام بر آنان که چراغ آزادگی و انسانیت را برافراشتند تا در مسیر زندگی سرگردان و متحیر نماییم. و سپاس از همه آنان که در راه رشد و کمال با ایثار و از جان گذشتگی راه را بر ما هموار کردند و از آنان که در راه علم و دانش سوختند تا روشنای علم، عالم گیر شود.

حرکات نقطه‌ای و دایره‌ایست      قصه‌ای هم‌زیر پرکار است

رو، که اول حدیث پایه‌کنند      حرکت کاشف کوی دیوار است (پروین اعتصامی)

- استاد راهنمای دلسوز و بزرگوارم، جناب آقای دکتر موسیوند، که بی‌شک راهنمایی‌های ارزنده، دانش و دلسوزی‌های ایشان سبب به انجام رسیدن این تحقیق شده است و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام استادی که در بسیاری از جنبه‌ها از جمله علمی، اخلاقی، معنوی و اجتماعی الگو و راهنمایم بودند.
- استاد مشاور بزرگوارم، سرکار خانم دکتر مریم شیبی، که با قبول زحمت مشاوره این تحقیق، در رفع نقایص و مشکلات علمی از هیچ کوششی فروگذار نکردند.
- جناب آقای دکتر صادقیان، استادی مهربان و دلسوز که صبورانه و دلسوزانه در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمند ایشان بهره‌مند شده‌ام.
- دوستان عزیز و گرامی، آقایان حمید عمیدی، سید جمال یداللهی، تقی صحرائیان، حسن بسطامی، علی نصراللهی، مجید تاشی و خانم‌ها آهی، باقرزاده، تقی‌زاده، حمیدی، طائفی و ناهیدی فر بخاطر همکاری در طول مراحل تحقیق و همچنین بسیاری از عزیزانی که متأسفانه اینجا امکان تشکر از تک‌تک ایشان مقدور نیست، تشکر و قدردانی می‌کنم.
- و از زحمات تمامی اساتید و پرسنل دانشکده علوم زمین به ویژه سرکار خانم فارسی، که در اموری اداری همکاری بسیاری نمودند.

• و نه در پایان، بلکه از آغاز تا پایان زندگی، خودم را مدیون زحمات پدر و مادر مهربانم می‌دانم که فداکارانه عمر خود را در راه پیشرفت و ترقی من صرف نمودند و همچنین از برادران و خواهران عزیزم که در تمام این سال‌ها مهربانانه و فداکارانه پشتیبان و مشوق من بوده‌اند، قدر دانی می‌نمایم.

مجید و کیلی نوش‌آبادی

شهریور ۱۳۹۳

## چکیده:

کانسار آهن ورتاوه در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر کاشان، ۸ کیلومتری جنوب شرقی شهر قمصر و در کمربند آتشفشانی- نفوذی ارومیه- دختر واقع شده است. سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و توده نفوذی بعد از میوسن زیرین (میوسن میانی؟) پیکره اصلی سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه را تشکیل می‌دهند. بر اساس این پژوهش تزریق توده نفوذی با ترکیب کوارتز دیوریت-دیوریت به داخل توف‌های کربناتی ائوسن موجب تشکیل کانسار آهن ورتاوه شده است. ماده معدنی بطور عمده از مگنتیت تشکیل شده که در بخش‌هایی با هماتیت و کانی‌های سولفیدی شامل پیریت و کالکوپیریت و کانه‌های ثانویه مالاکیت، لیمونیت، گوتیت و اکسیدهای منگنز همراه است. ماده معدنی دارای بافت‌های توده‌ای، برشی، رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده می‌باشد. مجموعه کانی‌های گارنت، پیروکسن، اپیدوت، کلریت، کلسیت، کوارتز، سرسیت و آپاتیت، کانی‌های باطله‌ها را تشکیل می‌دهند. دگرسانی‌های اصلی در منطقه شامل اپیدوتی، کلریتی، سرسیتی و آرژلیتی شدن هستند. مطالعات ژئوشیمیایی توده نفوذی نشان‌دهنده ماگمایی با ماهیت کالک آلکالن و متاآلمین و از رده گرانیتهای کمان ماگمایی است. بر اساس مطالعات ژئوشیمی و سیالات درگیر، سیال کانه‌ساز دارای منشأ ماگمایی می‌باشد. گسل، درزه و شکستگی‌های فراوان در منطقه نقش مهمی در انتقال سیالات کانه‌ساز و کانه‌زایی داشته‌اند. مطالعه سیالات درگیر، بیانگر شوری برابر ۵/۴۰ تا ۱۵/۷۸ درصد وزنی نمک طعام در کانی کلسیت، ۷/۱۶ تا ۱۰/۶۴ درصد وزنی نمک طعام در کانی کوارتز و متوسط شوری ۹/۵۶ درصد وزنی نمک طعام برای سیالات کانه‌ساز می‌باشد. نمودار دمای همگن شدن، محدوده بین ۱۵۰ تا ۲۸۹ درجه سانتی‌گراد در کانی کلسیت و محدوده‌ای بین ۲۷۴ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد در کانی کوارتز را نشان می‌دهد. با تلفیق داده‌های حاصل از بررسی روابط صحرایی، مطالعات پتروگرافی، کانه‌نگاری، مطالعه سیالات درگیر و شیمی سنگ کل، برای کانسار ورتاوه الگوی تشکیل اسکارن کلسیمی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر ماهیت اسکارنی با توجه به شواهد کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی، کانسار ورتاوه شباهت‌هایی را نیز با کانسارهای اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) نشان می‌دهند.

کلید واژه‌ها: اسکارن، آهن، مگنتیت، ورتاوه، کاشان

## مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- وکیلی نوش آبادی، م.، موسیوند، ف.، شیبی، م.، (۱۳۹۱)، "کانسار ورتاوه (جنوب کاشان)؛ نمونه‌ای از کانه‌زایی آهن اسکارنی در پهنه ارومیه-دختر". سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

۲- وکیلی نوش آبادی، م.، موسیوند، ف.، شیبی، م.، (۱۳۹۲)، " میکروترمومتري سيالات درگير در کانسار آهن اسکارنی ورتاوه، جنوب کاشان". سی و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- موقعیت جغرافیائی منطقه کانسار ورتاوه و راه‌های دسترسی به آن
۴	۱-۲-۱- شرایط آب و هوائی
۵	۲-۲-۱- وضعیت معیشتی و اجتماعی
۵	۳-۲-۱- زمین‌ریخت‌شناسی
۷	۴-۲-۱- مطالعات و کارهای انجام‌شده قبلی
۱۱	۳-۱- طرح مسئله و هدف از مطالعه
۱۲	۴-۱- روش مطالعه
۱۲	۱-۴-۱- گردآوری اطلاعات
۱۳	۵-۱- مطالعات صحرائی
۱۳	۱-۵-۱- مطالعات آزمایشگاهی و دفتری
۱۴	۶-۱- رده‌بندی کانسارهای آهن
۱۷	۷-۱- کانسارسازی آهن در ایران
۱۸	۱-۷-۱- کانی‌سازی آهن در پروتوزوئیک پسین-کامبرین پیشین
۲۰	۲-۷-۱- کانی‌سازی آهن در پالئوزوئیک-تریاس پیشین
۲۰	۳-۷-۱- کانی‌سازی آهن در مزوزوئیک
۲۱	۴-۷-۱- کانی‌سازی آهن در ترشیاری



## فصل دوم - زمین شناسی ناحیه‌ای

۲۴	۱-۲ - مقدمه
۲۴	۲-۲ - ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ارومیه - دختر
۲۷	۳-۲ - واحدهای سنگی
۲۸	۱-۳-۲ - پالئوزوئیک
۲۸	۲-۳-۲ - مزوزوئیک
۳۰	۳-۳-۲ - سنوزوئیک
۳۵	۴-۲ - ماگماتیسم
۳۵	۱-۴-۲ - سنگ‌های نفوذی
۳۹	۵-۲ - زمین‌شناسی ساختمانی
۴۰	۶-۲ - زمین‌شناسی اقتصادی

## فصل سوم - زمین شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۴۴	۱-۳ - مقدمه
۴۴	۲-۳ - چینه‌شناسی
۴۴	۱-۲-۳ - ژوراسیک
۴۶	۲-۲-۳ - کرتاسه
۴۷	۳-۲-۳ - ائوسن
۴۸	۴-۲-۳ - کواترنری

۳-۳- توده نفوذی ..... ۴۹

۴-۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه معدنی ..... ۵۱

### فصل چهارم- کانه‌زایی و دگرسانی

۱-۴- کانی‌زایی ..... ۵۴

۱-۱-۴- پیکره A1 ..... ۵۶

۲-۱-۴- پیکره A2 ..... ۵۸

۳-۱-۴- پیکره A3 ..... ۶۰

۴-۱-۴- دیگر آثار کانی‌زایی ..... ۶۳

۲-۴- دگرسانی ..... ۶۴

۱-۲-۴- دگرسانی‌های موجود در منطقه ..... ۶۵

۱-۱-۲-۴- دگرسانی آرژلیک ..... ۶۵

۲-۱-۲-۴- دگرسانی سیلیسی ..... ۶۶

۳-۱-۲-۴- دگرسانی سربیتی ..... ۶۷

۴-۱-۲-۴- کلریتی شدن ..... ۶۸

۵-۱-۲-۴- اپیدوتی شدن ..... ۶۹

### فصل پنجم- ساخت و بافت، کانی‌شناسی و توالی پاراژنزی کانی‌ها

۱-۵- مقدمه ..... ۷۲

.....	۲-۵- ساخت و بافت	۷۲
.....	۱-۲-۵- ساخت و بافت توده‌ای	۷۲
.....	۲-۲-۵- بافت دانه پراکنده	۷۳
.....	۳-۲-۵- ساخت و بافت برشی	۷۳
.....	۴-۲-۵- ساخت استوک ورکی	۷۳
.....	۵-۲-۵- ساخت نواری	۷۴
.....	۶-۲-۵- ساخت و بافت رگه - رگچه‌ای	۷۴
.....	۷-۲-۵- ساخت و بافت فضاپرکن	۷۵
.....	۸-۲-۵- ساخت و بافت گل کلمی	۷۵
.....	۳-۵- کانی‌شناسی	۷۶
.....	۱-۳-۵- مگنتیت	۷۶
.....	۲-۳-۵- هماتیت	۷۸
.....	۳-۳-۵- پیریت	۸۰
.....	۴-۳-۵- کالکوپیریت	۸۱
.....	۵-۳-۵- سایر کانه‌ها	۸۲
.....	۶-۳-۵- گارنت	۸۴
.....	۷-۳-۵- اپیدوت	۸۶
.....	۸-۳-۵- کلریت	۸۸
.....	۹-۳-۵- کوارتز	۸۸
.....	۱۰-۳-۵- آراگونیت و کلسیت	۸۸

۱۱-۳-۵- ژئوپس	۸۹
۱۲-۳-۵- پیروکسن	۸۹
۱۳-۳-۵- آپاتیت	۹۰
۴-۵- توالی پاراژنزی کانی‌ها	۹۱
۱-۴-۵- مرحله دگرگونی	۹۱
۲-۴-۵- مرحله متاسوماتیسم	۹۱
۳-۴-۵- هوازدگی	۹۲

### فصل ششم - ژئوشیمی

۱-۶- مقدمه	۹۶
۲-۶- ژئوشیمی آهن	۹۷
۳-۶- برداشت و آنالیز نمونه‌ها	۹۹
۴-۶- ژئوشیمی توده نفوذی	۱۰۲
۱-۴-۶- نامگذاری و طبقه‌بندی توده نفوذی	۱۰۲
۲-۴-۶- تعیین سری ماگمایی	۱۰۳
۳-۴-۶- تقسیم‌بندی توده نفوذی بر مبنای موقعیت زمین‌ساختی	۱۰۵
۴-۴-۶- عناصر نادر خاکی و کمیاب	۱۰۶
۱-۴-۴-۶- عناصر نادر خاکی	۱۰۷
۲-۴-۴-۶- عناصر کمیاب	۱۱۱
۵-۴-۶- ژئوشیمی سنگ میزبان	۱۱۲

۱۱۳..... ۶-۴-۶- ژئوشیمی ماده معدنی.....

### فصل هفتم - مطالعه سیالات درگیر

۱۱۸..... ۱-۷- مقدمه.....

۱۱۹..... ۲-۷- نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها.....

۱۲۱..... ۳-۷- پتروگرافی سیالات درگیر.....

۱۲۴..... ۴-۷- میکروترموتری سیالات درگیر.....

۱۲۵..... ۵-۷- کوارتز.....

۱۲۸..... ۶-۷- کلسیت.....

۱۳۱..... ۷-۷- چگالی سیال.....

### فصل هشتم - بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای اکتشافی

۱۳۴..... ۱-۸- مقدمه.....

۱۳۴..... ۲-۸- محیط زمین‌ساختی.....

۱۳۴..... ۳-۸- ساخت و بافت.....

۱۳۵..... ۴-۸- کانی‌شناسی.....

۱۳۷..... ۵-۸- دگرسانی.....

۱۳۷..... ۶-۸- ژئوشیمی.....

۱۳۸..... ۷-۸- نقش توده نفوذی در کانه‌زایی.....

- ۸-۹- نتایج سیالات درگیر ..... ۱۴۰
- ۸-۱۰- الگوی تشکیل کانسار آهن ورتاوه ..... ۱۴۲
- ۸-۱۱- مقایسه کانسار آهن ورتاوه با کانسارهای اکسید آهن، مس و طلا (IOCG) ..... ۱۴۹
- ۸-۱۱-۱- ویژگی‌های کانسارهای IOCG ..... ۱۴۹
- ۸-۱۱-۲- موقعیت زمین‌ساختی ..... ۱۵۰
- ۸-۱۱-۳- سنگ درونگیر ..... ۱۵۱
- ۸-۱۱-۴- ساخت و بافت ..... ۱۵۲
- ۸-۱۱-۵- دگرسانی ..... ۱۵۳
- ۸-۱۱-۶- دگرسانی در سنگ درونگیر آذرین ..... ۱۵۳
- ۸-۱۱-۷- توده نفوذی ..... ۱۵۴
- ۸-۱۱-۸- کانی‌های معدنی ..... ۱۵۵
- ۸-۱۲- نتیجه‌گیری ..... ۱۵۷
- ۸-۱۳- پیشنهادهای اکتشافی و تحقیقاتی ..... ۱۵۹

منابع ..... ۱۶۱

## فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) نقشه راه‌های دسترسی به معدن ورتاوه..... ۴
- شکل (۲-۱) نقشه ارتفاعی بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان، با استفاده از داده‌های SRTM..... ۶
- شکل (۳-۱) نیمرخ ارتفاعی پیکره‌های معدنی کانسار (طراحی با استفاده از نقشه ارتفاعی (DEM)..... ۷
- شکل (۴-۱) نمایی از فرایندهای تشکیل کانسارهای آهن (کسلر، ۱۹۹۴)..... ۱۴
- شکل (۵-۱) نقشه پراکندگی انواع کانسارهای آهن در ایران (سازمان زمین‌شناسی..... ۱۷
- شکل (۱-۲) نقشه ساختاری ایران و موقعیت کانسار ورتاوه در پهنه ساختاری ارومیه- دختر..... ۲۵
- شکل (۲-۲) بخشی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان (رادفر و همکاران، ۱۳۷۱) و نطنز..... ۲۹
- شکل (۳-۲) نمایی از واحد آهکی کرتاسه  $K_1^1$  و شیل‌های ژوراسیک  $J_s^{sh}$  (دید به سمت غرب)..... ۳۰
- شکل (۴-۲) نمایی از واحد سنگی  $E_s^1$  و توده دیوریتی di m (دید به سمت جنوب)..... ۳۲
- شکل (۵-۲) نمایی از توده نفوذی di m در کنار گدازه‌های آندزیت بازالتی واحد  $E_6^v$ ..... ۳۲
- شکل (۶-۲) نمایی از کوه کنگرون شامل شیل‌های خاکستری تیره، مارن سبز و آهک ریفی..... ۳۳
- شکل (۷-۲) واحد آهکی - مارنی اولیگوسن ( $OM_1^1$ ) و گدازه‌های ائوسن ( $E_6^v$ ) (دید به سمت غرب)..... ۳۴
- شکل (۸-۲) توده‌های نفوذی در محدوده نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشان (رادفر و همکاران، ۱۳۷۱)..... ۳۶
- شکل (۹-۲) نمایی از گرانیتهای غرب قهرود (دید به سمت غرب)..... ۳۷
- شکل (۱۰-۲) موقعیت کانه‌زایی، معادن فلزی و توده‌های نفوذی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کاشان..... ۴۲
- شکل (۱-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی ورتاوه که بر مبنای نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کاشان..... ۴۵
- شکل (۲-۳) تصویر گوگل ارث از منطقه ( راهنمای سازندها در شکل ۱-۳)..... ۴۶
- شکل (۳-۳) الف- آهک‌های اوریتولین‌دار کرتاسه ( $K_1^1$ ) بر روی شیل‌های سازند شمشک ( $J_s^{sh}$ )..... ۴۷
- شکل (۴-۳) الف توف‌های سبز رنگ ب) توف‌های کربناتی خاکستری رنگ با ساخت نواری..... ۴۸
- شکل (۵-۳) قطعات سنگ درون‌گیر توفی دگرسان شده در اثر سیال گرمایی..... ۴۸

- شکل ۳-۶) نمایی از سازندهای منطقه (دید به سمت شمال غرب) ..... ۴۹
- شکل ۳-۷) توده نفوذی در کنار گدازه‌های ائوسن (دید به سمت شمال) ..... ۴۹
- شکل ۳-۸) الف- نمونه دستی از توده نفوذی دیوریتی منطقه ورتاوه، ب- پلاژیوکلاز (Pl) ..... ۵۰
- شکل ۳-۹) الف- پلاژیوکلاز بالا سمت راست با ماکل مشخص و تقریباً سالم، پلاژیوکلاز پایین ..... ۵۱
- شکل ۳-۱۰) الف- گسل خوردگی در ماده معدنی (دید به سمت غرب)، ب- آینه گسل ..... ۵۲
- شکل ۳-۱۱) سطح لایه توف کربناتی با شیب قائم ..... ۵۲
- شکل ۴-۱) موقعیت کانه‌زایی پیکره‌های معدنی A1, A2 و A3 (مساحت پیکره‌ها تقریبی است) ..... ۵۵
- شکل ۴-۲) موقعیت پیکره‌های معدنی و توده‌نفوذی در کانسار ورتاوه ..... ۵۶
- شکل ۴-۳) الف- کانه‌زایی توده‌ای مگنتیت (Mt) با لنزهایی از کلسیت، ب- کانسنگ مگنتیتی ..... ۵۷
- شکل ۴-۴) الف- لیمونیتی شدن در پیکره A1، ب- تشکیل مالاکیت بر سطح سنگ ..... ۵۷
- شکل ۴-۵) الف- نمونه دستی از سنگ هماتیتی- مگنتیتی همراه با سولفیدهای پیریت و ..... ۵۹
- شکل ۴-۶) الف- موقعیت قرارگیری ماده معدنی در پیکره A3 در کانسار ورتاوه، ..... ۶۱
- شکل ۴-۷) الف- دایک دگرسان شده (سفید رنگ) در غرب پیکره A3، ب- کانسنگ توده‌ای، ..... ۶۲
- شکل ۴-۸) الف- رگه مگنتیتی با ضخامت نزدیک به یک متر، ب- رگه اولیژیستی با ..... ۶۳
- شکل ۴-۹) کانه‌سازی رگه‌ای مگنتیت در نمونه توده نفوذی ..... ۶۴
- شکل ۴-۱۰) الف- دگرسانی آرژیلیک و کلریتی- اپیدوتی در دایک مجاور پیکره A3، ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۱) الف- تشکیل دگرسانی کلریتی (Chl) در مقیاس میکروسکوپی، ..... ۷۰
- شکل ۵-۱) الف- نمونه‌ای از ساخت توده‌ای ماده معدنی، ب- بافت توده‌ای مگنتیت ..... ۷۳
- شکل ۵-۲) الف- ساخت برشی، ب- ساخت استوک ورکی (مگنتیت= Mt و دگرسانی= Altr) ..... ۷۴
- شکل ۵-۳) الف- ساخت نواری گرمابی در پیکره A1، ب- بافت رگه‌ای ..... ۷۴
- شکل ۵-۴) حفرات و فضاها خالی توسط کلسیت پر شده است، ب- بلورهای رشد کرده کوارتز ..... ۷۵
- شکل ۵-۵) ساخت گل کلمی در کانی پیریت، ب) بافت گل کلمی در مگنتیت‌ها که در اطراف ..... ۷۵



- شکل ۵-۶) تجمع بلورهای درشت مگنتیت در نمونه دستی از کانسگ معدنی، ب) رگه..... ۷۶
- شکل ۵-۷) ساخت برشی که فضای بین قطعات را مگنتیت و کلسیت پر کرده است..... ۷۶
- شکل ۵-۸) الف) مگنتیت با بافت دانه پراکنده با بلورهای نیمه شکل دار..... ۷۷
- شکل ۵-۹) الف- منطقه بندی در بلور مگنتیت که در اثر تغییرات سیال حاصل شده است..... ۷۸
- شکل ۵-۱۰) الف- کانه زایی سیال اکسیدان تر به شکل کانی اولیژیست (Oly) در شکستگی ها..... ۷۹
- شکل ۵-۱۱) پیریت های شکل دار در نمونه دستی که دارای شکل هندسی کامل هستند..... ۸۰
- شکل ۵-۱۲) الف- پیریت نسل اول (Py<sub>1</sub>) که به صورت شکل دار تا نیمه شکل دار و همزمان..... ۸۰
- شکل ۵-۱۳) الف- کالکوپیریت (Cpy) نسل اول که توسط مگنتیت (Mt) احاطه شده است،..... ۸۱
- شکل ۵-۱۴) مالاکیت بر روی کانسنگ آهن..... ۸۲
- شکل ۵-۱۵) نمونه ای از سنگ های لیمونیتی (نمونه از پیکره A3)..... ۸۲
- شکل ۵-۱۶) تبدیل کانی پیریت به گوتیت (Goe) (عکس در وضعیت نور عبوری..... ۸۳
- شکل ۵-۱۷) تبدیل پیریت به گوتیت در مقیاس میکروسکوپی (نور انعکاسی)..... ۸۳
- شکل ۵-۱۸) الف- گارنت های قرمز رنگ، ب- گارنت های سبز رنگ که تمام سنگ را..... ۸۵
- شکل ۵-۱۹) الف- منطقه بندی گارنت در مقیاس میکروسکوپی، ب- گارنت های شکل دار..... ۸۶
- شکل ۵-۲۰) گارنت های درشت با دامنه رنگی از قرمز تا سبز روشن..... ۸۶
- شکل ۵-۲۱) الف- اپیدوت و کلریت در رگه کلسیتی در پهنه کانه دار، ب- اپیدوت..... ۸۷
- شکل ۵-۲۲) الف- کلریت با رنگ سبز همراه با قطعات گارنت، ب- بلورهای فضا پرکن کوارتز..... ۸۸
- شکل ۵-۲۳) الف- عدسی کلسیتی در توده معدنی، ب- آراگونیت با بلورهای شعاعی..... ۸۹
- شکل ۵-۲۴) کانی پیروکسن (Px) همراه با گارنت های ریز بلور و ایزوتروپ (نور پلاریزه)..... ۹۰
- شکل ۵-۲۵) بلورهای کشیده آپاتیت در مقیاس میکروسکوپی..... ۹۰
- شکل ۶-۱) نمودار Eh-pH برای عنصر آهن (بارنز، ۲۰۰۵)..... ۹۸
- شکل ۶-۲) نمودار Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> (میدل موس، ۱۹۸۵) برای تعیین نام سنگ های..... ۱۰۲

- شکل ۳-۶) نمودار سه تایی AFM ابروین و باراگار (۱۹۷۱) که نشان‌دهنده ماهیت کالک آلکالن... ۱۰۳
- شکل ۴-۶) نمودار مجموع آلکالی به  $\text{SiO}_2$  (ایروین و باراگار، ۱۹۷۱) برای تعیین میزان قلیایی ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۶) موقعیت نمونه‌های توده نفوذی (شاند، ۱۹۴۳) جهت تعیین میزان اشباع شدگی ..... ۱۰۴
- شکل ۶-۶) موقعیت نمونه‌های توده نفوذی کانسار ورتاوه در نمودارهای تعیین موقعیت ..... ۱۰۶
- شکل ۷-۶) نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده به کندریت (سان و مک دانوف، ۱۹۸۹) ..... ۱۱۰
- شکل ۸-۶) نمودار بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (سان و مک دانوف، ۱۹۸۹) برای ..... ۱۱۲
- شکل ۹-۶) نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (سان و مک دانوف، ۱۹۸۹) ..... ۱۱۳
- شکل ۱۰-۶) میزان عناصر اصلی از پیکره‌های معدنی کانسار ورتاوه ..... ۱۱۳
- شکل ۱۱-۶) میزان عنصر طلا در ۳ پیکره‌های معدنی کانسار ورتاوه ..... ۱۱۴
- شکل ۱۲-۶) نمودار تغییرات عناصر REE بهنجار شده نسبت به کندریت (سان و مک دانوف، ..... ۱۱۵
- شکل ۱۳-۶) نمودار عناصر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (سان و مک دانوف، ۱۹۸۹) ..... ۱۱۶
- شکل ۱-۷) الف- رگه کوارتزی همراه با ماده معدنی، ب- کانه‌زایی مگنتیت و تشکیل کلسیت ..... ۱۲۰
- شکل ۲-۷) الف- سیالات با اندازه‌های متفاوت (مقیاس ۲۰ میکرون)، ب- سیال سه فازی ب ..... ۱۲۲
- شکل ۳-۷) الف سیال تک فازی (V)، ب- سیال تک فازی (L) در پایین سمت چپ عکس ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۷) الف- سیال دو فازی (LV)، ب- سیال دو فازی (VL) در بالا و دو فازی (LV) ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۷) الف- سیال دوفازی به شکل کشیده، ب- سیال سه فازی نیمه شکل‌دار، ..... ۱۲۴
- شکل ۶-۷) الف- نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب- نمودار فراوانی شوری سیالات، ..... ۱۲۷
- شکل ۷-۷) موقعیت داده‌های گرمایش و سرمایش برای کانی کوارتز، موقعیت نمونه‌ها ..... ۱۲۸
- شکل ۸-۷) الف- نمودار فراوانی آخرین نقطه ذوب یخ، ب- نمودار فراوانی شوری سیالات، ..... ۱۳۰
- شکل ۹-۷) نمودار سه تایی  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$  برای کانی کلسیت ..... ۱۳۰
- شکل ۱۰-۷) نمودار دمای همگن شدن به شوری همراه با منحنی‌های تعیین چگالی ..... ۱۳۱
- شکل ۱-۸) موقعیت داده‌های کانسار ورتاوه بر روی نمودار AFM (ایروین و بارگار، ۱۹۸۱) ..... ۱۳۹

- شکل ۲-۸) نمودار A/KN در مقابل A/CNK نمودار از مانیار و پیکولی، ۱۹۸۹ و محدوده و ..... ۱۳۹
- شکل ۳-۸) موقعیت داده‌های توده نفوذی ورتاوه بر روی نمودار پیرس و همکاران (۱۹۸۴)، ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۸) موقعیت داده‌های سرمایش و گرمایش دو کانی کوارتز و کلسیت که نشان‌دهنده ..... ۱۴۱
- شکل ۶-۸) مراحل تکامل سیالات گرمابی و موقعیت داده‌های کانسار ورتاوه ..... ۱۴۲
- شکل ۷-۸) مقطع شماتیک از پهنه‌های دگرسانی کانسارهای آهن اکسیدی ..... ۱۵۴
- شکل ۸-۸) تصویر شماتیک از مراحل تشکیل و تکوین کانسار ورتاوه ..... ۱۵۸

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱) مشخصات برخی از کانسارهای آهن (اقتباس از متولی، ۱۳۸۴، با تغییرات)..... ۱۵
- جدول ۱-۵) جدول توالی پاراژنزی، ساخت و بافت در کانسار ورتاوه..... ۹۳
- جدول ۱-۶) نتایج آنالیز XRF، برای نمونه‌های توده نفوذی (واحد اندازه‌گیری به درصد)..... ۹۹
- جدول ۲-۶) داده‌های آنالیز ICP-MS برای نمونه‌های توده نفوذی..... ۱۰۰
- جدول ۳-۶) داده‌های آنالیز ICP-MS برای نمونه‌های ماده معدنی (واحد اندازه‌گیری بر حسب ..... ۱۰۰
- جدول ۴-۶) داده‌های آنالیز ICP-MS برای سنگ میزبان..... ۱۰۱
- جدول ۵-۶) میزان طلا در پیکره‌های معدنی کانسار ورتاوه..... ۱۱۴
- جدول ۱-۷) جدول داده‌های مطالعه سیالات درگیر بر روی کانی کوارتز..... ۱۲۶
- جدول ۲-۷) داده‌های مطالعات سرمایش و گرمایش بر روی کانی کلسیت..... ۱۲۹
- جدول ۱-۸) مقایسه انواع کانسارهای اسکارن با کانسار ورتاوه..... ۱۴۳
- جدول ۲-۸) مقایسه کانسار ورتاوه با برخی کانسارهای آهن اسکارنی ایران..... ۱۴۶
- جدول ۳-۸) جدول دسته بندی انواع کانسارهای گروه IOCG (کولب و استنس گارد، ۲۰۰۹)..... ۱۵۰
- جدول ۴-۸) جدول مقایسه‌ای بین کانسار ورتاوه و برخی کانسارهای IOCG..... ۱۵۶