



دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

رساله دکتری در رشته زمین‌شناسی گرایش ژئوشیمی

عنوان:

زمین‌شیمی رخدادهای اسکارنی مس- آهن
و توده‌های نفوذی وابسته در منطقه خوت-پناه‌کوه،
غرب یزد، ایران مرکزی

استاد راهنما:

دکتر محمد بومری

استاد مشاور:

دکتر محمد علی مکی زاده

تحقیق و نگارش:

اعظم زاهدی

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است.)

بهمن ماه ۱۳۹۲

بسمه تعالی

این رساله با عنوان "زمین‌شیمی رخدادهای اسکارنی مس - آهن و توده‌های نفوذی وابسته در منطقه خوت - پناه‌کوه، غرب یزد، ایران مرکزی" قسمتی از برنامه آموزشی دوره دکتری ژئوشیمی توسط دانشجو اعظم زاهدی با راهنمایی استاد رساله دکتر محمد بومری تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

اعظم زاهدی

تاریخ	امضاء	نام و نام خانوادگی	
		دکتر محمد بومری	استاد راهنما:
		دکتر محمد علی مکی زاده	استاد مشاور:
		دکتر مجید قادری	داور:
		دکتر ساسان باقری	داور:
		دکتر محمد نبی گرگیج	داور:
		دکتر حبیب بیابانگرد	داور:
		دکتر علی اصغر مریدی	نماینده تحصیلات تکمیلی:



دانشگاه بلوچستان

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب اعظم زاهدی تعهد می‌نمایم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می‌باشد.

اعظم زاهدی

تقدیم به

زیباترین غزل هستی‌ام

پدرم و مادرم

بزرگترین استاد زندگی‌ام

Thanks for all
Cooperations and
Kindness



Prof. Nakashima,
Yamagata university,
Japan

سپاس‌گزاری

به سرانجام رسیدن این رساله که بی‌تردید بدون برخوردارگی از الطاف الهی امکان‌پذیر نبود، با همکاری و همفکری اساتید بزرگواری همراه بوده است که نقشی بس مهم و ارزنده در ارتقای علمی آن ایفا نموده‌اند. از این رو، بر خود لازم می‌دانم از زحمات این عزیزان قدردانی شود.

در آغاز از تلاش‌های مداوم و بی‌دریغ جناب آقای دکتر محمد بومری، که نه تنها به عنوان استاد راهنما، بلکه به مثابه پدری مهربان و صبور، مرا در به انجام رساندن این رساله یاری فرمودند، سپاس‌گزاری می‌نمایم. اگر در این راه موفقیتی حاصل شده باشد، بی‌تردید مرهون رهنمودهای فاضلانه ایشان است.

از استاد مشاور بزرگواری جناب آقای دکتر محمد علی مکی‌زاده به خاطر مشاوره علمی ارزشمندشان و تلاش‌های پدرا نه ایشان صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

از اساتید گرانقدر جناب آقای پروفسور ناکاشیما، از دانشگاه یاماگاتا ژاپن و آقایان پروفسور ایشی‌یاما و ماتسویا از دانشگاه آکیتای ژاپن که در دوره فرصت مطالعاتی اینجانب سخاوتمندانه از زمان ارزشمند خود گذشتند تا فرصت انجام تجزیه‌های زمین‌شیمیایی این رساله فراهم گردد، صمیمانه سپاس‌گزارم؛ همچنین از استاد گرانقدر و فرزانه جناب آقای پروفسور دیوید لنتز از دانشگاه نیوبرانزویک کانادا که در فراهم ساختن بخشی از تجزیه‌های ایزوتوپی و زمین‌شیمیایی نقش موثری داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

همچنین از داوران محترم این رساله، آقایان دکتر حبیب بیابانگرد، دکتر ساسان باقری، دکتر مجید قادری و دکتر محمد نبی گرگیچ که با بررسی دقیق و ارائه پیشنهادات مفید، اینجانب را یاری فرمودند تشکر می‌نمایم.

علاوه بر این، بر خود لازم می‌دانم از زحمات دیگر اساتید گروه زمین‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان به ویژه مدیر گروه محترم زمین‌شناسی جناب آقای دکتر حمیدرضا سلوکی و نماینده محترم تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر مریدی قدردانی نمایم.

یاد می‌کنم از استاد راهنمای گرانقدر و همیشه به یاد ماندنی‌ام در مقطع کارشناسی ارشد، جناب آقای دکتر حمید احمدی‌پور و نیز از استاد فرزانه، جناب آقای دکتر علیجان آفتابی از دانشگاه شهید باهنر کرمان صمیمانه قدردانی نموده و توفیق روزافزونشان را از خداوند منان خواستارم.

در پایان گرامی می‌دارم خاطره پدرم، بزرگترین استاد زندگی‌ام، که به رغم نبودنش، حضورش را در لحظه لحظه زندگی‌م احساس می‌کنم و از مادر بس مهربانم، این فرشته آسمانی بر روی زمین که در تمام سختی‌ها همچون کوهی استوار یار و پشتیبان من بود صمیمانه تشکر می‌نمایم و از این که فرزندی پرمشغله را در دوران تحصیل وی تحمل نمودند، عذرخواهی می‌نمایم. در پایان از برادرانم و خواهرانم که وجودشان شادابی‌بخش و بودنشان مایه دلگرمی من بود تشکر می‌کنم. در نهایت اذعان می‌کنم که چنین تقدیر و تشکری هرگز هم سنگ زحمات این عزیزان نیست و پاداش حقیقی آنان تنها به دست توانای خداوند مهربان امکان‌پذیر خواهد بود.

مصلحی تو، ای تو سلطان سخن

گر خطا گفتیم، اصلاحش تو کن

اعظم زاهدی

بهمن ماه ۱۳۹۲

چکیده:

کانسارهای اسکارنی مس خوت و پناه‌کوه، واقع در ۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر تفت، در استان یزد، در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر واقع شده‌اند. منطقه مورد بررسی بخش وسیعی از سازندهای رسوبی پالئوزوئیک پیشین تا کواترنری را در برمی‌گیرد. نفوذ توده گرانیتوئیدی با سن الیگومیوسن در واحدهای کربناتی قدیمی‌تر از کرتاسه، منجر به پیدایش رخدادهای اسکارنی و کانه‌زایی‌هایی وابسته گردیده است. بر اساس ویژگی‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی، گرانیتوئیدهای مورد بررسی، آلومینیم متوسط، کلسیمی- قلیایی، متعلق به تیپ I و دارای مقادیر بالای $\delta^{18}\text{O}$ (11.0%) بوده که در یک جایگاه زمین‌ساختی ماگمایی مرتبط با قوس آتشفشانی شکل گرفته‌اند. کانه‌زایی در کانسار مس خوت، از نوع جانشینی، شکافه‌پرکن و افشان است که در مرمرها و برون اسکارن‌ها رخ داده است. مرمهرهای سولفیدی نسبت به برون اسکارن دارای آنومالی بالاتری در عیار مس هستند، به گونه‌ای که عیار مس در آن‌ها به ۸/۶۴ درصد وزنی می‌رسد که به فراوانی کالکوپیریت در این نمونه‌ها اشاره دارد. این مرمهرهای سولفیدی غنی در مس دارای آنومالی‌هایی در طلا، روی و سرب نیز هستند. برون اسکارن کانه‌زایی شده، مهم‌ترین زون در کانسار خوت بوده که به دو زون گارنت اسکارن و گارنت- پیروکسن اسکارن تقسیم‌بندی می‌شود. روابط پاراژنزی و داده‌های ریزدماسنجی میان- بارهای سیال در گارنت و کلسیت نشان می‌دهد که زایش و تکوین ترکیبی کانی‌های اسکارنی خوت در سه مرحله اصلی رخ داده است: (۱): مرحله پیش‌رونده پیشین که توسط هیدرژن‌ت‌های غنی در منیزیم ($\text{Hd}_{53.7}\text{Di}_{42.3}\text{-Hd}_{86.1}\text{Di}_{9.5}$) همراه با آندرادیت‌های آلومینیم‌دار (با X_{and} % بین 69.8-99.5) مشخص می‌گردد. دما در اسکارن پیش‌رونده پیشین در فشار ۵۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد تغییر می‌کند (۲): مرحله پیش‌رونده پسین که توسط آندرادیت‌های تقریباً خالص (با X_{and} % بین 98.4-96.2) مشخص می‌شود. بر اساس داده‌های میان‌بارهای سیال در گارنت، دما و شوری سیالات وابسته در اسکارن پیش‌رونده پسین به ترتیب $267\text{-}361^\circ\text{C}$ و $10/1\text{-}21/1$ درصد وزنی معادل نمک طعام تخمین زده شده است. نهشت اولیه پیروتیت در این مرحله آغاز شده است. (۳): مرحله پس‌رونده در برون اسکارن شامل مجموعه‌ای از فرواکتینولیت، کوارتز، کلسیت، اپیدوت، کلریت، اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت است که به طور بخشی جانشین مجموعه کانی‌های اولیه در شرایط هیدروستاتیک در طول شکستگی‌های اسکارن پیشین می‌گردد. در این مرحله دما و شوری سیالات در کلسیت به ترتیب به کمتر از ۲۶۰ درجه سانتیگراد و ۸ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌رسد. کانسار پناه‌کوه یک سامانه رگه‌ای مس- آهن می‌باشد که شامل دو زون درون اسکارن و برون اسکارن است. برون اسکارن از نوع کلسیمی- منیزیمی بوده که در همبری با مرمرها تشکیل شده است در حالی که درون اسکارن با گسترش محدودی در سنگ‌های آپلیتی تشکیل شده است. کانی‌های غالب در اسکارن کلسیمی شامل گارنت (آندرادیت) و پیروکسن (دیوپسید غنی در آهن) بوده در حالی که در اسکارن منیزیمی شامل فورستریت، دیوپسید، سرپانتین و تالک است. کانی‌شناسی و ترکیبات کانیایی اسکارن پیش‌رونده در اسکارن خوت با شرایط تقریباً اکسیدان و فوگاسیته نسبتاً پایین‌تر گوگرد در سطوح پوسته‌ای کم عمق در مقایسه با دیگر سامانه‌های اسکارنی مس- طلا و آهن همخوانی دارد. تهی‌شدگی مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ در انواع متفاوت کلسیت‌ها در کانسار خوت و پناه‌کوه توسط برهمکنش سیالات ماگمایی ($\delta^{18}\text{O}=11.0\%$) با سنگ‌های کربناتی دگرسان نشده در دمای کمتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، $X(\text{CO}_2)$ کمتر از ۰/۰۵ و نسبت آب به سنگ (W/R) % ۲۵-۵۰ قابل تفسیر است. مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ در کالکوپیریت موجود در رخداد اسکارنی و مرمهرهای سولفیدی در کانسار خوت نشان‌دهنده مشارکت غالب سیال ماگمایی دارای گوگرد اولیه مشتق شده از گوشته است به طوری که مقادیر $\delta^{34}\text{S}$ در این کانسار ($\delta^{34}\text{S}=1.4\text{-}5.2\%$) مشابه مقادیر ایزوتوپی گوگرد در بسیاری از کانسارهای مس پورفیری معروف و اسکارن‌های مس و مس- طلا و وابسته به آنهاست. بنابراین، با توجه به فراوانی واحدهای کربناتی در بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه- دختر به ویژه در منطقه یزد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که پتانسیل اکتشافی چشمگیری برای سامانه‌های پورفیری- اسکارن وجود دارد.

کلمات کلیدی: زمین‌شیمی، اسکارن، مس، ایزوتوپ‌های پایدار، یزد، ایران مرکزی.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: کلیات
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱-۱	موقعیت جغرافیایی و دستیابی به مناطق مورد بررسی
۳-۱-۱	ضرورت انجام پژوهش و مطالعات پیشین
۴-۱-۱	تعریف مسئله
۵-۱-۱	فرضیات پژوهش
۶-۱-۱	اهداف پژوهش
۷-۱-۱	روش مطالعه
۷-۱-۱-۱	بررسی شیمی کانی ها
۷-۱-۱-۲	بررسی زمین شیمی زون های اسکارنی و توده های نفوذی همراه
۷-۱-۱-۳	بررسی زمین شیمی ایزوتوپ های پایدار کربن، اکسیژن و گوگرد
۷-۱-۱-۴	بررسی میان بارهای سیال
۱۱	فصل دوم: زمین شناسی عمومی
۱-۲-۱	مقدمه
۲-۲-۱	ایران مرکزی
۳-۲-۱	بلوک یزد
۴-۲-۱	کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر
۴-۲-۱-۱	بخش جنوبی یا کمر بند آتشفشانی کرمان
۴-۲-۱-۲	بخش شمالی قم- تفرش و تکاب- سهند
۴-۲-۱-۳	بخش مرکزی شامل مناطق تفت- انارک و قم- نائین
۵-۲-۱	زمین شناسی منطقه خضرآباد

عنوان

صفحه

۲۱	۵-۲-۱- پركاميرين - پالئوزوئيك.....
۲۲	۲-۵-۲- مزوزوئيك.....
۲۳	۲-۵-۳- تریاس-ژوراسيك.....
۲۳	۲-۵-۴- کرتاسه.....
۲۴	۲-۵-۵- سنوزوئيك.....
۲۴	۲-۵-۵-۱- ائوسن.....
۲۴	۲-۵-۵-۲- میوسن.....
۲۴	۲-۵-۶- ماگماتيسم ناحیه‌ای در منطقه خضرآباد.....
۲۴	۲-۵-۶-۱- گرانیت شیرکوه.....
۲۵	۲-۵-۶-۲- گرانیت آدرلندان.....
۲۵	۲-۵-۶-۳- گنبدهای آتشفشانی.....
۲۵	۲-۶- زمین ساخت ناحیه‌ای.....
۲۵	۲-۶-۱- گسل دهشیر.....
۲۷	۲-۶-۲- گسل شمس‌آباد- توران پشت.....
۲۷	۲-۶-۳- گسل تفت.....
۲۸	۲-۷- زمین‌شناسی منطقه پناه‌کوه.....
۳۱	۲-۸- زمین‌شناسی منطقه خوت.....
۳۳	۲-۸-۱- سازند شتری.....
۳۴	۲-۸-۲- سازند نایبند.....
۳۶	۲-۸-۳- سازند سنگستان.....
۳۷	۲-۸-۴- سازند تفت.....
۳۷	۲-۸-۵- ماگماتيسم منطقه خوت- پناه‌کوه.....
۴۰	۲-۸-۶- نهشته‌های کواترنر.....
۴۱	۲-۹- دگرگونی و متاسوماتیک همبری در منطقه خوت.....

۱۰-۲- دگرگونی و متاسوماتیک همبری در منطقه پناه کوه.....	۴۲
۱۰-۲-۱- زون درون اسکارن.....	۴۴
۱۰-۲-۲- زون برون اسکارن.....	۴۵
۱۰-۲-۱- گارنت اسکارن.....	۴۵
۱۰-۲-۲- گارنت پیروکسن اسکارن.....	۴۵
۱۰-۲-۳- زون اسکارن منیزیمی.....	۴۷
فصل سوم: سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی واحدهای سنگی.....	
۱-۳- مقدمه.....	۵۰
۲-۳- سنگ‌شناسی در منطقه خوت و پناه کوه.....	۵۰
۳-۳- سنگ‌نگاری سنگ‌های گرانیتوئیدی خوت.....	۵۲
۳-۳-۱- گرانودیوریت پورفیری.....	۵۳
۳-۳-۴- سنگ‌نگاری سنگ‌های گرانیتوئیدی پناه کوه.....	۵۴
۳-۴-۱- هورنبلند گرانودیوریت.....	۵۵
۳-۴-۲- بیوتیت گرانودیوریت.....	۵۸
۳-۴-۳- بیوتیت گرانودیوریت پورفیری.....	۶۰
۳-۴-۴- کوارتز دیوریت.....	۶۲
۳-۴-۵- آلکالی گرانت.....	۶۴
۳-۵- سنگ‌نگاری سنگ‌های رسوبی خوت- پناه کوه.....	۶۵
۳-۵-۱- کربنات‌ها.....	۶۵
۳-۵-۲- ماسه سنگ‌ها.....	۶۷
۳-۵-۳- شیل‌ها.....	۶۸
۳-۶- سنگ‌نگاری سنگ‌های دگرگونی خوت- پناه کوه.....	۶۸
۳-۶-۱- سنگ‌نگاری مرمرها.....	۶۸
۳-۶-۲- کوارتزیت.....	۷۰

۷-۳- زمین شیمی و سنگ‌زایی سنگ‌های گرانیتوئیدی.....	۷۰
۸-۳- نامگذاری زمین‌شیمیایی سنگ‌های گرانیتوئیدی.....	۷۶
۹-۳- زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی.....	۷۸
۱-۹-۳- زمین‌شیمی عناصر اصلی در گرانودیوریت خوت.....	۸۰
۲-۹-۳- زمین‌شیمی عناصر کمیاب در گرانودیوریت خوت.....	۸۱
۳-۹-۳- زمین‌شیمی عناصر اصلی در گرانیتوئید پناه‌کوه.....	۸۱
۴-۹-۳- زمین‌شیمی عناصر کمیاب در گرانیتوئید پناه‌کوه.....	۸۲
۵-۹-۳- زمین‌شیمی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در گرانیتوئید خوت-پناه‌کوه.....	۸۳
۱۰-۳- رفتار زمین‌شیمیایی عناصر با استفاده از نمودارهای هارکر.....	۸۶
۱۱-۳- بررسی رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی.....	۸۶
۱-۱۱-۳- آلومینیم.....	۸۶
۲-۱۱-۳- آهن.....	۸۶
۳-۱۱-۳- کلسیم.....	۸۷
۴-۱۱-۳- سدیم و پتاسیم.....	۸۷
۵-۱۱-۳- منیزیم.....	۸۷
۶-۱۱-۳- فسفر.....	۸۷
۷-۱۱-۳- تیتانیم.....	۸۷
۸-۱۱-۳- منگنز.....	۸۸
۱۲-۳- بررسی رفتار زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب.....	۹۱
۱-۱۲-۳- وانادیم، استرانسیم.....	۹۱
۲-۱۲-۳- ربیدیم و باریم.....	۹۱
۳-۱۲-۳- اورانیم و توریم.....	۹۱
۴-۱۲-۳- روی.....	۹۲
۵-۱۲-۳- گالیم.....	۹۲

عنوان	صفحه
۱۲-۳-۶- ایتريم	۹۲
۱۲-۳-۷- کبالت و نیکل	۹۲
۱۳-۳- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های گرانیتوئیدی	۹۵
۱۴-۳- تقسیم‌بندی خاستگاه گرانیتوئیدها	۹۶
۱۵-۳- خاستگاه زمین‌ساختی گرانیتوئیدها	۹۷
۱۶-۳- شیمی کانی‌ها	۹۸
۱۶-۳-۱- آمفیبول	۹۹
۱۶-۳-۱-۱- زمین دما فشارسنجی هورنبلند	۱۰۳
۱۶-۳-۱-۲- محاسبه فوگاسیته اکسیژن	۱۰۵
۱۶-۳-۲- بیوتیت	۱۰۶
۱۶-۳-۳- فلدسپار	۱۰۹
فصل چهارم: ارزیابی پتانسیل کانه‌زایی در گرانیتوئیدها	
۱-۴- مقدمه	۱۱۵
۲-۴- زمین فشارسنج بیوتیت و هورنبلند به عنوان نشانگر پتانسیل اکتشافی	۱۱۵
۳-۴- زمین فشارسنج بیوتیت	۱۱۶
۴-۴- تعیین نوع کانسار گرمابی با استفاده از زمین فشارسنج بیوتیت	۱۲۰
۵-۴- زمین فشارسنج هورنبلند	۱۲۲
۶-۴- تعیین نوع کانسار گرمابی با استفاده از زمین فشارسنج هورنبلند	۱۲۳
۷-۴- ارزیابی پتانسیل کانه‌زایی با استفاده از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی گرانیتوئیدها	۱۲۴
فصل پنجم: دگرسانی و کانی‌زایی	
۱-۵- مقدمه	۱۲۹
۲-۵- دگرسانی سنگ‌های آذرین در کانسار خوت	۱۲۹
۱-۲-۵- دگرسانی فیلیک	۱۳۰
۲-۲-۵- دگرسانی آرژیلیک	۱۳۱

عنوان	صفحه
۳-۲-۵- دگرسانی پروپیلیتیک.....	۱۳۲
۴-۲-۵- دگرسانی هماتیستی.....	۱۳۳
۳-۵- دگرسانی سنگ‌های رسوبی در کانسار خوت.....	۱۳۳
۴-۵- کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری زون‌های اسکارنی خوت.....	۱۳۴
۱-۴-۵- زون گارنت- پیروکسن اسکارن.....	۱۳۴
۲-۴-۵- زون گارنت اسکارن.....	۱۳۵
۵-۵- توالی پاراژنز کانیایی.....	۱۳۹
۶-۵- کانه‌زایی در کانسار خوت.....	۱۴۰
۷-۵- کانه‌زایی درون‌زاد.....	۱۴۰
۱-۷-۵- کانه‌زایی درون‌زاد در گرانیتوئید خوت.....	۱۴۱
۲-۷-۵- کانه‌زایی درون‌زاد در اسکارن‌ها.....	۱۴۱
۳-۷-۵- کانه‌زایی درون‌زاد در مرم‌ها.....	۱۴۲
۸-۵- کانه‌زایی برون‌زاد در سنگ‌های گرانیتوئیدی، اسکارن‌ها و مرم‌ها.....	۱۴۳
۹-۵- کانه‌نگاری در کانسار خوت.....	۱۴۴
۱-۹-۵- اولین مرحله کانه‌زایی.....	۱۴۵
۲-۹-۵- دومین مرحله کانه‌زایی.....	۱۴۵
۳-۹-۵- سومین مرحله کانه‌زایی.....	۱۴۶
۴-۹-۵- کانه‌زایی برون‌زاد.....	۱۴۶
۱۰-۵- ویژگی‌های شیمیایی کانسنگ‌ها در کانسار خوت.....	۱۴۸
۱۱-۵- دگرسانی سنگ‌های آذرین در کانسار پناه‌کوه.....	۱۵۱
۱-۱۱-۵- دگرسانی فلیک.....	۱۵۲
۲-۱۱-۵- دگرسانی کلریتی‌شدن.....	۱۵۲
۳-۱۱-۵- دگرسانی پروپیلیتیک.....	۱۵۲
۴-۱۱-۵- دگرسانی رسی‌شدن.....	۱۵۲

عنوان	صفحه
۵-۱۱-۵- دگرسانی بیوتیتی شدن.....	۱۵۳
۵-۱۱-۶- دگرسانی سیلیسی شدن.....	۱۵۳
۵-۱۲-۱۲- دگرسانی سنگ‌های رسوبی در کانسار پناه‌کوه.....	۱۵۴
۵-۱۲-۱-۱- زون درون اسکارن.....	۱۵۴
۵-۱۲-۲- زون برون اسکارن.....	۱۵۵
۵-۱۲-۱-۲- زون گارنت اسکارن.....	۱۵۶
۵-۱۲-۲-۲- زون گارنت- پیروکسن اسکارن.....	۱۵۷
۵-۱۲-۳-۲- زون اسکارن منیزیمی.....	۱۵۸
۵-۱۳-۱- کانه‌زایی در کانسار پناه‌کوه.....	۱۶۰
۵-۱۳-۱- کانه‌زایی در گرانیتوئید پناه‌کوه.....	۱۶۰
۵-۱۳-۲- کانه‌نگاری رگه‌های مگنتیتی در گرانیتوئید پناه‌کوه.....	۱۶۱
۵-۱۳-۳- کانه‌نگاری در اسکارن پناه‌کوه.....	۱۶۲
فصل ششم: زمین‌شیمی و سنگ‌زایی رخدادهای اسکارنی.....	۱۶۴
۶-۱- مقدمه.....	۱۶۵
۶-۲- شیمی کانی‌ها.....	۱۶۵
۶-۳- شیمی کانی‌های اسکارنی خوت.....	۱۶۷
۶-۳-۱- کلینوپیروکسن.....	۱۶۷
۶-۳-۲- گارنت.....	۱۶۸
۶-۴- بررسی زون‌بندی شیمیایی در گارنت‌ها.....	۱۷۰
۶-۴-۱- گارنت‌های نوع I.....	۱۷۰
۶-۴-۲- گارنت‌های نوع II.....	۱۷۱
۶-۴-۳- گارنت‌های نوع III.....	۱۷۱
۶-۵- تفاسیر دیگر زون‌بندی شیمیایی در گارنت‌ها.....	۱۷۳
۶-۶- شیمی کانی‌های اسکارنی پناه‌کوه.....	۱۷۶

عنوان	صفحه
۱-۶-۶- گارنت.....	۱۷۶
۲-۶-۶- کلینوپیروکسن.....	۱۷۸
۳-۶-۶- اولیوین.....	۱۷۸
۷-۶- اهمیت مطالعه عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در گارنت‌های اسکارنی.....	۱۸۱
۸-۶- شیمی بلور گارنت.....	۱۸۶
۹-۶- رفتار زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی در گارنت‌های کلسیمی.....	۱۸۸
۱-۹-۶- عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE).....	۱۹۳
۲-۹-۶- عناصر کمیاب خاکی متوسط (MREE).....	۱۹۳
۳-۹-۶- عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE).....	۱۹۴
۴-۹-۶- عناصر کمیاب لیتوفیل.....	۱۹۴
۵-۹-۶- عناصر کمیاب کالکوفیل.....	۱۹۶
۱۰-۶- عناصر کمیاب خاکی در تعیین خاستگاه سیالات گرمابی.....	۱۹۸
۱-۱۰-۶- استفاده از شاخص‌های عناصر کمیاب خاکی در تعیین خاستگاه سیالات گرمابی.....	۲۰۳
۱۱-۶- مکانیسم شکل‌گیری اسکارن.....	۲۰۴
فصل هفتم: زمین‌شیمی زون‌های دگرسان و محاسبه تبادلات جرمی عناصر.....	۲۰۷
۱-۷- مقدمه.....	۲۰۸
۲-۷- محاسبه تغییرات جرمی عناصر در زون‌های اسکارنی پناه‌کوه.....	۲۰۸
۱-۲-۷- تعیین عنصر شاخص نامتحرک.....	۲۰۹
۲-۲-۷- تعیین ضریب غنی‌شدگی.....	۲۰۹
۳-۲-۷- تعیین ترکیب بازسازی شده.....	۲۱۰
۴-۲-۷- تعیین تغییر جرم عناصر.....	۲۱۰
۳-۷- رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی در تبادلات جرمی.....	۲۱۲
۱-۳-۷- سیلیسیم.....	۲۱۳
۲-۳-۷- آلومینیم.....	۲۱۳

عنوان	صفحه
..... آهن ۳-۳-۷	۲۱۴
..... منیزیم ۴-۳-۷	۲۱۴
..... کلسیم ۵-۳-۷	۲۱۵
..... پتاسیم و سدیم ۶-۳-۷	۲۱۶
..... منگنز ۷-۳-۷	۲۱۶
..... رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب در تبادلات جرمی ۴-۷	۲۱۷
..... رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب شدت میدان پایین (LFSE) ۵-۷	۲۱۸
..... ۱-۵-۷ باریم	۲۱۸
..... ۲-۵-۷ استرانسیم	۲۱۹
..... ۳-۵-۷ ریدیم	۲۲۰
..... ۴-۵-۷ سزیم	۲۲۰
..... رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب شدت میدان بالا (HFSE) ۶-۷	۲۲۱
..... ۱-۶-۷ اورانیم	۲۲۱
..... ۲-۶-۷ توریم	۲۲۲
..... ۳-۶-۷ وانادیم	۲۲۲
..... ۴-۶-۷ نئوبیم	۲۲۳
..... ۵-۶-۷ کروم	۲۲۴
..... ۶-۶-۷ زیرکونیم	۲۲۴
..... ۷-۶-۷ ایتریم	۲۲۵
..... ۸-۶-۷ گالیم	۲۲۶
..... رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب سیدروفیل ۷-۷	۲۲۷
..... ۱-۷-۷ نیکل	۲۲۷
..... ۲-۷-۷ کبالت	۲۲۷
..... ۸-۷ رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب کالکوفیل	۲۲۸

عنوان	صفحه
۱-۸-۷ مس	۲۲۸
۲-۸-۷ روی	۲۲۹
۳-۸-۷ سرب	۲۳۰
۹-۷ رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب خاکی	۲۳۰
۱-۹-۷ لانتانیم و سریم	۲۳۳
۲-۹-۷ نئودیمیم	۲۳۳
۳-۹-۷ پرازئودیمیم	۲۳۴
۱۰-۷ زمین شیمی و محاسبه تغییرات جرمی عناصر در گرانیتوئید پناه کوه	۲۳۴
۱۱-۷ زمین شیمی زون های دگرسان در گرانیتوئید پناه کوه	۲۳۴
۱۲-۷ محاسبه تغییرات جرمی عناصر در گرانیتوئید پناه کوه	۲۳۶
۱-۱۲-۷ تغییرات جرمی عناصر اصلی و کمیاب	۲۳۷
۲-۱۲-۷ تغییرات جرمی عناصر کمیاب خاکی	۲۳۸
۱۳-۷ محاسبه تغییرات جرمی عناصر در زون های اسکارنی خوت	۲۳۹
۱۴-۷ رفتار زمین شیمیایی عناصر اصلی در تبادلات جرمی	۲۴۱
۱-۱۴-۷ سیلیسیم	۲۴۲
۲-۱۴-۷ آلومینیم	۲۴۲
۳-۱۴-۷ آهن	۲۴۳
۴-۱۴-۷ منیزیم	۲۴۴
۵-۱۴-۷ کلسیم	۲۴۴
۶-۱۴-۷ پتاسیم و سدیم	۲۴۵
۷-۱۴-۷ منگنز	۲۴۶
۱۵-۷ رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب شدت میدان پایین	۲۴۶
۱-۱۵-۷ باریم	۲۴۶
۲-۱۵-۷ استرانسیم	۲۴۷

عنوان	صفحه
۳-۱۵-۷- ریبیدیم.....	۲۴۸
۴-۱۵-۷- سزیم.....	۲۴۸
۱۶-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب شدت میدان بالا.....	۲۴۹
۱-۱۶-۷- اورانیم.....	۲۴۹
۲-۱۶-۷- توریم.....	۲۴۹
۳-۱۶-۷- وانادیم.....	۲۵۰
۴-۱۶-۷- نئوبیم.....	۲۵۱
۵-۱۶-۷- اسکاندیم.....	۲۵۱
۶-۱۶-۷- کروم.....	۲۵۲
۷-۱۶-۷- زیر کونیم.....	۲۵۳
۸-۱۶-۷- ایتریم.....	۲۵۳
۹-۱۶-۷- گالیم.....	۲۵۴
۱۷-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب سیدروفیل.....	۲۵۴
۱-۱۷-۷- نیکل.....	۲۵۴
۲-۱۷-۷- کبالت.....	۲۵۵
۱۸-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب کالکوفیل.....	۲۵۶
۱-۱۸-۷- مس.....	۲۵۶
۲-۱۸-۷- روی.....	۲۵۷
۳-۱۸-۷- سرب.....	۲۵۷
۱۹-۷- عناصر کمیاب خاکی.....	۲۵۸
۲۰-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب خاکی سبک.....	۲۵۹
۱-۲۰-۷- لانتانیم و سریم.....	۲۵۹
۲-۲۰-۷- نئودیمیم.....	۲۶۰
۳-۲۰-۷- پرازئودیمیم.....	۲۶۰

۲۶۱	۲۱-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب حاکی متوسط.....
۲۶۱	۲۱-۷-۱- ساماریم و یوروپیم.....
۲۶۲	۲۱-۷-۲- گادولینیم.....
۲۶۲	۲۱-۷-۳- تربیم، دیسپروزیم، هولمیم.....
۲۶۳	۲۲-۷- رفتار زمین شیمیایی عناصر کمیاب حاکی سنگین.....
۲۶۳	۲۲-۷-۱- اربیم و ایتربیم.....
۲۶۳	۲۲-۷-۲- تولیم و لوتسیم.....
۲۶۳	۲۳-۷- زمین شیمی و محاسبه تغییرات جرمی عناصر در گرانیوتئید خوت.....
۲۶۳	۲۳-۷-۱- زمین شیمی زون های دگرسان در گراندیوریت خوت.....
۲۶۵	۲۳-۷-۲- محاسبه تغییرات جرمی عناصر در گراندیوریت خوت.....
۲۶۵	۲۳-۷-۳- دگرسانی فیلک در گراندیوریت خوت.....
۲۶۷	۲۳-۷-۴- تغییرات جرمی عناصر اصلی و کمیاب در زون فیلک.....
۲۶۸	۲۳-۷-۵- تغییرات جرمی عناصر کمیاب حاکی در زون فیلک.....
۲۷۰	فصل هشتم: بررسی میان بارهای سیال و زمین شیمی ایزوتوپ های پایدار کربن، اکسیژن و گوگرد.....
۲۷۱	۸-۱- مقدمه.....
۲۷۱	۸-۲- میان بارهای سیال در کانسار خوت- پناه کوه.....
۲۷۲	۸-۲-۱- سنگ نگاری میان بارهای سیال در کانسار خوت- پناه کوه.....
۲۷۵	۸-۲-۲- میان بارهای سیال در گارنت ها و کلسیت های اسکارنی خوت.....
۲۷۷	۸-۲-۳- میان بارهای سیال در گارنت ها و کلسیت های اسکارنی پناه کوه.....
۲۷۸	۸-۲-۴- فرایندهای تکوین سیال سازنده کانسار خوت و پناه کوه.....
۲۸۰	۸-۲-۵- تخمین عمق جوشش، دمای به دام افتادگی و چگالی سیال کانه زا.....
۲۸۳	۸-۳- اهمیت بررسی ایزوتوپ های پایدار در کانسارهای اسکارنی.....
۲۸۴	۸-۴- زمین شیمی ایزوتوپ های پایدار کربن و اکسیژن.....
۲۸۶	۸-۵- ترکیب ایزوتوپی اکسیژن در سنگ های گرانیتی.....

عنوان	صفحه
۶-۸- ترکیب ایزوتوپی کربنات‌ها.....	۲۸۷
۷-۸- تهی‌شدگی ایزوتوپی در کربنات‌ها.....	۲۸۸
۸-۷-۱- تاثیر فرایند فرارزدایی بر روی ترکیب ایزوتوپی کربن و اکسیژن.....	۲۸۹
۸-۷-۲- تاثیر تراوش سیال بر روی ترکیب ایزوتوپی کربن و اکسیژن.....	۲۹۲
۸-۸- زمین‌شیمی ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد.....	۲۹۸
۸-۹- زایش و تکوین کانسار خوت.....	۲۹۹
فصل نهم: تکوین کانیاپی و فیزیکوشیمیایی رخدادهای اسکارنی.....	۳۰۲
۹-۱- مقدمه.....	۳۰۳
۹-۲- جایگزینی گرانیتوئید خوت- پناه کوه و اسکارن‌زایی.....	۳۰۳
۹-۳- تکوین فیزیکوشیمیایی کانی‌ها در کانسار خوت.....	۳۰۷
۹-۳-۱- مرحله پیش‌رونده.....	۳۰۷
۹-۳-۲- مرحله پس‌رونده.....	۳۰۸
۹-۳-۳- مرحله کانه‌زایی سولفیدی.....	۳۰۹
۹-۴- تکوین فیزیکوشیمیایی کانی‌ها در اسکارن پناه‌کوه.....	۳۱۳
۹-۴-۱- مرحله پیش‌رونده پیشین.....	۳۱۴
۹-۴-۲- مرحله پیش‌رونده پسین.....	۳۱۴
۹-۴-۳- مرحله پس‌رونده.....	۳۱۵
۹-۴-۴- مرحله کانه‌زایی.....	۳۱۶
فصل دهم: نتایج و پیشنهادات.....	۳۱۸
۱۰-۱- نتایج.....	۳۱۹
۱۰-۲- پیشنهادات.....	۳۲۲
مراجع.....	۳۲۳