

دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده علوم پایه

## رساله دوره دکترای زمین‌شناسی (پترولوژی)

پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز باتولیت قره‌داغ (خاور سیه‌رود - آذربایجان خاوری)  
و هاله اسکارنی آن، با نگرشی بر کانی‌سازی مرتبط با توده‌ی نفوذی.

### نگارش:

میر علی اصغر مختاری

### استاد راهنما:

دکتر حسین معین‌وزیری

### اساتید مشاور:

دکتر محمد رضا قربانی

دکتر محمود مهر پرتو

۱ / ۴ / ۱۳۸۸

کتابخانه اطلاعیه مرکز علمی پژوهش  
تهران

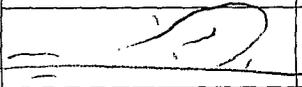
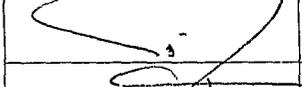
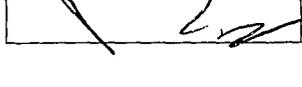
اسفند ۱۳۸۷

۱۱۴۶۱۲

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای میرعلی اصغر مختاری رساله واحدی خود را با عنوان: «پترولوژی، ژئوشیمی و پتروژنز با تولید قره داغ (خاور سیه رود آذربایجان خاوری) و هاله اسکارنی آن، با نگرشی بر کانی سازی مرتبط با توده نفوذی» در تاریخ ۸۷/۱۲/۵ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیات داوران
	استاد	آقای دکتر حسین معین وزیری	۱- استاد راهنما
	استادیار	آقای دکتر محمدرضا قربانی	۲- استاد مشاور
	استادیار	آقای دکتر محمود مهرپرتو	۳- استاد مشاور
	استادیار	آقای دکتر نعمت اله رشیدنزاد عمران	۴- استاد ناظر داخلی
	استادیار	آقای دکتر مجید قادری	۵- استاد ناظر داخلی
	دانشیار	آقای دکتر محمد هاشم امامی	۶- استاد ناظر خارجی
	استادیار	آقای دکتر فربرز مسعودی	۷- استاد ناظر خارجی
	استادیار	آقای دکتر نعمت اله رشیدنزاد عمران	۸- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی

بسمه تعالی

### آیین‌نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)‌های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)‌های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱. در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲. در صفحه پنجم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد / رساله دکتری نگارنده در رشته زمین‌شناسی (پترولوژی) است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حسین معین‌وزیری، مشاوره جناب آقای دکتر محمد رضا قربانی و مشاوره جناب آقای دکتر محمود مهرپرتو از آن دفاع شده است.»

ماده ۳. به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع دفتر نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴. در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵. دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶. اینجانب میر علی اصغر مختاری دانشجوی رشته زمین‌شناسی (پترولوژی) مقطع دکترا تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام خانوادگی: میر علی اصغر مختاری

تاریخ و امضا: ۸۷، ۱۲، ۵

# آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی

## دانشگاه تربیت مدرس

### مقدمه:

با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می‌باشد ولی حقوق معنوی پدیدآورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می‌باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم‌افزار و یا آثار ویژه حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده‌ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آیین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته‌ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت‌رئیس دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

تقدیم به

ہمسگرامی

و

دختر عزیزم

تیا

## تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران معبود ازلی را که لطف و عنایت خویش را بر بندگان ارزانی داشته و مرایاری فرمود تا از عهده این رساله برآیم.

در به ثمر رسیدن این تحقیق، خود را مدیون زحمات و مساعدت‌های بسیاری از عزیزان می‌دانم که بدون همکاری و پشتیبانی آنها، امکان به ثمر رسیدن مطلوب این رساله وجود نداشت. لذا بر خود واجب می‌دانم زحمات آنها را ارج نهاده و مراتب سپاس و قدردانی خویش را به حضور تمامی این سروران گرامی ابراز داشته و آرزوی موفقیت و کامیابی برایشان مسألت نمایم.

— استاد گرانمایه و بزرگوار آقای دکتر حسین معین‌وزیری که راهنمایی این رساله را بر عهده داشته‌اند و در تمام طول تحصیل در دوره دکترا از راهنمایی‌های علمی و فکری ارزنده ایشان، بسیار بهره‌مند شده‌ام. بی‌شک بدون راهنمایی و مساعدت این بزرگوار، به ثمر رسیدن این تحقیق امکان‌پذیر نبود.

— استاد بزرگوار آقای دکتر محمد رضا قربانی که زحمت مشاوره این رساله را بر عهده گرفته و در طول دوران تحصیل در دوره دکترا، از اطلاعات علمی و راهنمایی‌های ایشان برخوردار بوده‌ام.

— استاد بزرگوار آقای دکتر محمود مهرپرتو که زحمت مشاوره این رساله را بر عهده داشته و در زمان مدیریت ایشان به عنوان معاونت اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، از تجربیات بالای ایشان در امر اکتشاف ذخایر معدنی بهره‌مند شده‌ام.

— اساتید گرانقدر آقایان دکتر محمد هاشم امامی، دکتر فریبرز مسعودی، دکتر مجید قادری و دکتر نعمت‌اله رشیدنژاد عمران به عنوان اعضای هیأت داوران که با قبول زحمت کنترل مطالب این تحقیق و ارائه راهنمایی‌های ارزنده خود، اینجانب را یاری فرموده‌اند.

— ریاست محترم سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس محمد تقی کره‌ای که علاقمند به آموزش و ارتقای سطح علمی کارشناسان این سازمان بوده و در این راه از هیچ کوششی فروگذار نیستند.

— معاونت محترم اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس ناصر عابدیان که علاقمند به آموزش و ارتقای سطح علمی کارشناسان این معاونت بوده و در این مدت، همیشه کمال همکاری را داشته‌اند.

- مدیریت محترم امور اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور جناب آقای مهندس بهروز برنا که مساعدت کامل را در جهت اجرای سریعتر این تحقیق داشته‌اند.
- استاد بزرگوار دکتر Ahmad Talat، استاد بخش زمین‌شناسی دانشگاه دهلی به جهت انجام بخشی از آنالیزهای ICP-MS.
- آقایان دکتر Jiri Baburek و Radek Škoda از سازمان زمین‌شناسی جمهوری چک به جهت آنالیز میکروپروب کانی‌های سیلیکاتی توده‌های نفوذی و هاله‌های اسکارنی.
- آقای مهندس مرتضی عشق‌آبادی ریاست گروه اکتشافات ناحیه‌ای و متالورژی که کمال همکاری را در طول دوره دکترا و انجام رساله با اینجانب داشته‌اند.
- آقای دکتر جلیل قلمقاش مدیریت امور زمین‌شناسی منطقه‌ای به دلیل مساعدت‌ها و راهنمایی‌های علمی ارزنده.
- کارشناسان محترم مدیریت امور اکتشاف سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آقایان مهندس نیرومند، تاج‌الدین، قدیم‌زاده، مهری، رحمانی، سپهری‌راد، پورنیک، جمالی، مشکانی و کریمی به جهت همکاری صمیمانه و تبادل نظرات مفید آنها در مورد رساله.
- دوست بزرگوارم مهندس مرتضی خضری کارشناس گروه سنگ‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به دلیل همکاری صمیمانه و مساعدت‌های علمی.
- دوست بزرگوارم آقای دکتر قادر حسین‌زاده عضو هیأت علمی گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز به دلیل همکاری صمیمانه و مساعدت‌های علمی ایشان در نگارش رساله.
- کلیه همکاران و دوستان عزیز در بخش تهیه مقاطع نازک و مقاطع صیقلی و آزمایشگاه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور که زحمت آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها را به عهده داشته‌اند.
- بخش‌داری محترم خاروانا (آقایان مهندس طالب‌پور، نصیری، قلی‌زاده، پورعلی، جوانی، ولیزاده و نجف‌زاده) که کمال همکاری را با اینجانب در طول بررسی‌های صحرائی داشته‌اند.
- ❖ در نهایت از خانواده مهربانم بویژه همسر گرامی و دختر عزیزم که همواره در تمام دوران زندگی، مشوق اصلی من بوده و در طول مدت تحصیل زحمت بسیاری را متحمل گشته‌اند، صمیمانه تشکر نموده و این رساله را به آنها تقدیم می‌نمایم.



## چکیده

باتولیت قره‌داغ با وسعتی بیش از ۱۵۰۰ کیلومتر مربع در شمال باختر ایران و دو کشور همسایه شمالی (جمهوری‌های آذربایجان و ارمنستان) واقع شده است. حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع از باتولیت یاد شده، در خاک کشورمان قرار گرفته و بزرگترین توده نفوذی شمال باختر ایران به حساب می‌آید. در منطقه مورد مطالعه، باتولیت قره‌داغ شامل گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت، کوارتز مونزونیت، کوارتز مونزودیوریت، لوکوتونالیت، گرانودیوریت، مونزوگرانیت و ریولیت ساب ولکانیک می‌باشد. گرانودیوریت‌ها، غالب‌ترین سنگ‌های باتولیت قره‌داغ هستند.

توده‌های گرانیتوئیدی باتولیت قره‌داغ دارای ماهیت کالک آلکان با پتاسیم متوسط تا بالا بوده و گابروها توله‌ای هستند. گرانیتوئیدها متألومین بوده و در زمره گرانیتوئیدهای نوع I و کردیلرایی قرار می‌گیرند. گرانیتوئیدها، از نوع ACG (گرانیتوئیدهای کالک آلکان غنی از آمفیبول) بوده و فقط مونزوگرانیت‌ها دارای خصوصیات گرانیتوئیدهای نوع KCG (گرانیتوئیدهای کالک آلکان غنی از آلکالی فلدسپار) هستند.

تغییرات عناصر کمیاب خاکی فازهای اسیدی، یک الگوی غنی از LREE با نسبت بالای LREE/HREE را نشان می‌دهند. برخی از آنها، حاوی آنومالی منفی ضعیف Eu بوده و تعدادی فاقد آن هستند. شباهت تغییرات عناصر کمیاب در این سنگ‌ها، می‌تواند بیانگر ارتباط ژنتیکی آنها باشد. گابروها دو روند متفاوت الگوی کم شیب با نسبت پایین LREE/HREE و الگوی پرشیب با نسبت بالای LREE/HREE را نشان می‌دهند. نمونه‌های دارای شیب کم، احتمالاً با نرخ ذوب بخشی زیاد از گوشته تپی شده حاصل گشته‌اند. در همه فازهای باتولیت قره‌داغ، آنومالی منفی Nb و Ti مشاهده می‌شود که نشانگر محیط‌های فرورانشی است.

گرانیتوئیدهای باتولیت قره‌داغ مرتبط با کمان آتشفشانی (VAG) بوده و احتمالاً در نتیجه فرورانش حوضه پشت کمانی خوی به سمت شمال خاور و به زیر پوسته قاره‌ای آذربایجان به وجود آمده‌اند. هاله‌های اسکارنی منطقه مورد مطالعه شامل سه اسکارن مجزا تحت عناوین اسکارن کمتال، اسکارن پهناور و اسکارن آوان می‌باشند. این اسکارن‌ها از نوع کلسیک و غنی از گارنت + کلینوپیروکسن هستند.

بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و بافتی، فرایند اسکارن‌زائی در دو مرحله اصلی پیش‌رونده و پس‌رونده صورت گرفته است. مرحله پس‌رونده شامل دو مرحله مجزا ولی پیوسته (مرحله پس‌رونده پیشین و مرحله پس‌رونده پسین) است.

تشکیل اسکارن‌ها در حد تحتانی رخساره پیروکسن هورنفلس (دمائی بین  $550^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$  و فشار در حدود ۲-۱/۵ کیلوبار) شروع شده و با کاهش دمای توده و تغییر ترکیب سیالات منشاء گرفته از توده، در شرایط ایزوباریک بعد از اوج دمائی (تشکیل ولاستونیت) ادامه پیدا کرده است. مجموعه کانی‌شناسی گارنت + کلینوپيروکسن که فراوان‌ترین کانی‌های هاله‌های اسکارنی هستند، در محدوده دمایی  $550^{\circ}\text{C}$  -  $400^{\circ}\text{C}$  و  $f\text{O}_2 = 10^{-22}$  -  $10^{-26}$  تشکیل شده‌اند.

نتیجه مطالعات ترموبارومتري و با استفاده از ترکیب هورنبلند، هورنبلند-پلاژیوکلاز و آمفیبول-کلینوپيروکسن، بیانگر اینست که توده گرانودیوریتی قولان در دمای بین ۶۹۰ تا ۷۷۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۴ تا ۲/۲ کیلوبار، توده کوارتز مونزونیت کمتال در دمای ۶۶۲ تا ۷۰۷ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۱ تا ۲/۶ کیلوبار و کوارتز دیوریت قولان در دمای ۶۹۴ تا ۷۸۴ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ تا ۲/۱۶ کیلوبار تشکیل شده است. گابروها در دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد متبلور شده‌اند.

کانی‌سازی در منطقه انیق-قره‌چیلر عبارت از رگه‌های سیلیسی و زونهای سیلیسی حاوی کانی‌سازی Au-Cu-Mo-Ag در داخل گرانودیوریت قولان می‌باشد. رگه‌های سیلیسی دارای بافت متراکم، توده‌ای، لانه زنبوری و برشی هستند. محتوای کانی‌های سولفیدی در این رگه‌ها، عموماً پایین است. هاله‌های دگرسانی در اطراف این رگه‌ها بسیار محدود بوده و از نوع سریسیتی هستند.

مطالعات ژئوشیمیایی و عیار سنجی طلا گویای تمرکز بالای طلا به همراه نقره، مولیبدن و مس در رگه‌های کوارتزی و زونهای کانی‌سازی می‌باشد. بیشترین عیار طلای اندازه‌گیری شده، حدود ۳۵۹ گرم در تن است که مربوط به رگه سیلیسی با بافت لانه زنبوری و حفره‌ای می‌باشد. در مطالعه سیالات درگیر، دمای هموزن شدن سیالات درگیر دوفازی در برش‌های هیدروترمالی، بین  $171^{\circ}\text{C}$  تا  $386^{\circ}\text{C}$  متغیر بوده و در بقیه رگه‌های حاوی بافت متراکم، بین  $222^{\circ}\text{C}$  تا  $552^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. دمای هموزن شدن سیالات درگیر سه فازی که با از بین رفتن فاز بخار همگن می‌شوند، بین  $240^{\circ}\text{C}$  تا  $545^{\circ}\text{C}$  متغیر است. شوری سیالات درگیر دو فازی عموماً بین ۱۵-۱۰ درصد متغیر بوده و تعداد کمی

از آنها دارای شوری ۲۰-۳۰ درصد هستند. در سیالات درگیر سه فازی، شوری عموماً بین ۴۰-۳۰ درصد متغیر است.

کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی با محتوای پایین کانی‌های سولفیدی، هاله دگرسانی محدود، کانی‌سازی طلا همراه با کانی‌سازی مولیبدن، همبستگی نسبتاً بالای طلا با عناصر Bi، W و Mo، میزبانی توسط توده نفوذی، ویژگی‌های پترولوژیکی و ژئوشیمیایی توده نفوذی میزبان کانی‌سازی و شواهد سیالات درگیر، همگی نشانگر این هستند که کانی‌سازی در منطقه اکتشافی انیق- قره‌چیلر می‌تواند نمونه بارزی از ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی باشد.

**کلید واژه‌ها:** باتولیت، قره‌داغ، گرانیتوئید، اسکارن، کمتال، پهناور، آوان، کانی‌سازی طلا- مس- مولیبدن، انیق- قره‌چیلر، ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار.....
۳	فصل اول.....
۳	کلیات.....
۴	۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی.....
۵	۱-۲- ریخت‌شناسی و آب و هوا.....
۶	۱-۳- پیشینه پژوهش.....
۷	۱-۴- اهداف پژوهش.....
۸	۱-۵- روش تحقیق.....
۱۲	فصل دوم.....
۱۲	زمین‌شناسی.....
۱۳	۲-۱- مقدمه.....
۱۵	۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه.....
۱۹	۲-۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....
۲۲	۲-۳-۱- سنگ‌های قبل از کرتاسه.....
۲۳	۲-۳-۲- کرتاسه.....
۲۵	۲-۳-۳- اولیگوسن.....
۲۵	۳-۲-۱- واحد gb.....
۲۶	۳-۲-۲- واحد qd.....
۲۶	۳-۲-۳- واحد gd.....
۲۶	۳-۲-۴- واحد qmz.....
۲۷	۳-۲-۵- واحد d.....
۲۷	۳-۲-۶- واحد gr.....
۲۸	۳-۲-۷- گنبد ریولیتی.....
۲۸	۳-۲-۸- دایک‌ها.....
۲۸	۳-۲-۹- اسکارن‌ها.....
۲۹	۳-۲-۱۰- زون‌های دگرسانی.....

۲۹	..... ۲-۳-۴- میوسن
۳۰	..... ۲-۳-۵- کواترنری
۳۰	..... ۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه
۳۴	..... فصل سوم
۳۴	..... پتروگرافی
۳۵	..... ۳-۱- پتروگرافی سنگ‌های آذرین درونی
۳۵	..... ۳-۱-۱- منطقه کمتال
۳۷	..... ۳-۱-۱-۱- کوارتز مونزونیت کمتال
۳۹	..... ۳-۱-۱-۲- گابروی کمتال
۴۱	..... ۳-۱-۱-۳- مونزوگرانیت کمتال
۴۴	..... ۳-۱-۱-۴- رگه‌های اپیدوت‌دار کمتال
۴۵	..... ۳-۱-۱-۵- دایک‌های دیابازی کمتال
۴۵	..... ۳-۱-۲- منطقه قولان
۴۶	..... ۳-۱-۲-۱- گابروهای منطقه قولان
۵۰	..... ۳-۱-۲-۲- گرانودیوریت قولان
۵۲	..... ۳-۱-۲-۳- لوکوتونالیت کردشت
۵۳	..... ۳-۱-۲-۴- کوارتز دیوریت قولان
۵۴	..... ۳-۱-۲-۵- دیوریت انیق- آغان
۵۵	..... ۳-۱-۲-۶- استوک دیوریتی پهناور
۵۷	..... ۳-۱-۲-۷- استوک مونزوگرانیتی پهناور
۶۰	..... ۳-۱-۲-۸- استوک‌های کوارتز مونزونیتی منطقه قولان
۶۲	..... ۳-۱-۲-۹- گنبد ریولیتی انیق
۶۳	..... ۳-۱-۲-۱۰- دایک‌های منطقه قولان
۶۵	..... ۳-۱-۲-۱۱- آنکلاوهای قولان
۶۶	..... ۳-۲- پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی
۶۷	..... ۳-۲-۱- پتروگرافی اسکارن‌ها
۶۷	..... ۳-۲-۱-۱- اسکارن کمتال
۷۳	..... ۳-۲-۱-۲- اسکارن پهناور
۷۷	..... ۳-۲-۱-۳- اسکارن آوان
۸۰	..... ۳-۲-۲- پتروگرافی متابازیت‌ها
۸۰	..... ۳-۲-۲-۱- متابازیت‌ها

۸۱.....	۳-۲-۲-۲- آمفیبولیت‌ها
۸۴.....	فصل چهارم.....
۸۴.....	شیمی کانی‌ها.....
۸۵.....	۱-۴- روش مطالعات.....
۸۶.....	۲-۴- شیمی کانی‌ها در سنگ‌های نفوذی.....
۸۶.....	۴-۲-۱- شیمی کلینوپیروکسن‌ها.....
۸۷.....	۴-۲-۲- شیمی آمفیبول‌ها.....
۸۸.....	۴-۲-۳- شیمی بیوتیت‌ها.....
۸۸.....	۴-۲-۴- شیمی اولیوین‌ها.....
۸۹.....	۴-۲-۵- شیمی پلاژیوکلازها.....
۹۲.....	۴-۲-۶- شیمی آلکالی فلدسپارها.....
۹۲.....	۴-۲-۷- شیمی کانی‌های اکسیدی.....
۹۲.....	۴-۳- شیمی کانی‌ها در اسکارن‌ها.....
۹۲.....	۴-۳-۱- شیمی گارنت‌ها.....
۹۵.....	۴-۳-۲- شیمی کلینوپیروکسن‌ها.....
۹۶.....	۴-۳-۳- شیمی آمفیبول‌ها.....
۹۷.....	فصل پنجم.....
۹۷.....	پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی.....
۹۸.....	۵-۱- کلیاتی در مورد پترولوژی و ژئوشیمی گرانیتوئیدها.....
۹۹.....	۵-۱-۱- ویژگی‌های گرانیتوئیدهای نوع I و S.....
۱۰۲.....	۵-۱-۲- ویژگی‌های گرانیتوئیدهای نوع A.....
۱۰۴.....	۵-۱-۳- گرانیتوئیدهای سری مگنتیت / سری ایلمنیت.....
۱۰۴.....	۵-۱-۴- توده‌های گرانیتوئیدی احیائی / اکسیدان.....
۱۰۵.....	۵-۱-۵- طبقه‌بندی Barbarin.....
۱۰۶.....	۵-۲- رده‌بندی توده‌های نفوذی منطقه مطالعاتی.....
۱۰۷.....	۵-۲-۱- رده‌بندی توده‌های نفوذی بر اساس کانی‌های نورم.....
۱۰۸.....	۵-۲-۲- رده‌بندی توده‌های نفوذی بر اساس ترکیب شیمیایی.....
۱۰۹.....	۵-۳- بررسی روند تغییرات عناصر اصلی توده‌های نفوذی.....
۱۱۱.....	۵-۴- تعیین سری ماگمایی توده‌های نفوذی.....
۱۱۲.....	۵-۵- درجه اشباع شدگی از آلومین توده‌های نفوذی.....

- ۵-۶- بررسی نوع توده‌های نفوذی (H و A, S, I, M)..... ۱۱۳
- ۵-۷- بررسی نوع توده‌های نفوذی توسط ترکیب شیمیایی بیوتیت..... ۱۱۶
- ۵-۸- بررسی نوع توده‌های نفوذی (سری مگنتیت/سری ایلمنیت)..... ۱۱۷
- ۵-۹- بررسی توده‌های نفوذی (احیائی/اکسیدان)..... ۱۱۷
- ۵-۱۰- بررسی توده‌های نفوذی (آهنی- منیزیمی و کردیلرئی- نوع A)..... ۱۱۹
- ۵-۱۱- طبقه‌بندی توده‌های نفوذی به روش Barbarin..... ۱۱۹
- ۵-۱۲- بررسی روند تغییرات عناصر فرعی توده‌های نفوذی..... ۱۲۰
- ۵-۱۳- ژئوشیمی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی..... ۱۲۵
- فصل ششم..... ۱۳۱
- پتروژنز و جایگاه تکتونوماگمایی منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۱
- ۶-۱- کلیاتی در مورد منشأ و محیط تکتونیک گرانیتوئیدها..... ۱۳۲
- ۶-۲- محیط تکتونوماگمایی توده‌های نفوذی منطقه..... ۱۳۴
- ۶-۲-۱- تعیین محیط تکتونیک بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی..... ۱۳۵
- ۶-۲-۲- تعیین محیط تکتونیک بر اساس ژئوشیمی عناصر فرعی..... ۱۳۸
- ۶-۲-۳- تعیین محیط تکتونیک بر اساس شواهد صحرایی و پتروگرافی..... ۱۴۲
- ۶-۲-۴- تعیین محیط تکتونیک بر اساس نوع اسکارنها..... ۱۴۵
- ۶-۳- منشأ باتولیت قره‌داغ..... ۱۴۷
- ۶-۴- مدل تکتونوماگمایی باتولیت قره‌داغ..... ۱۴۸
- فصل هفتم..... ۱۵۵
- پترولوژی و ژئوشیمی هاله‌های اسکارنی..... ۱۵۵
- ۷-۱- کلیاتی در مورد اسکارن..... ۱۵۶
- ۷-۱-۱- اندواسکارن..... ۱۵۷
- ۷-۱-۲- اگزواسکارن..... ۱۵۹
- ۷-۱-۳- کانی‌شناسی اسکارن..... ۱۵۹
- ۷-۱-۴- عمق تشکیل اسکارنها..... ۱۶۱
- ۷-۱-۵- طبقه‌بندی ذخایر اسکارنی..... ۱۶۲
- ۷-۱-۶- پتروژنز و موقعیت تکتونیک اسکارنها..... ۱۶۷
- ۷-۲- زونهای متاسوماتیک اسکارنی در منطقه مطالعاتی..... ۱۶۸
- ۷-۲-۱- اسکارن کمتال..... ۱۶۹
- ۷-۲-۲- اسکارن پهناور..... ۱۷۱

۱۷۳	اسکارن آوان ۳-۲-۷
۱۷۴	کانی‌شناسی اسکارن‌های منطقه مطالعاتی ۳-۷
۱۸۰	اسکارن‌زایی در منطقه مطالعاتی ۴-۷
۱۸۱	مرحله پیشرونده (Prograde Stage) ۱-۴-۷
۱۸۲	مرحله پسرونده (Retrograde Stage) ۲-۴-۷
۱۸۳	کانی‌سازی در اسکارن‌های منطقه مطالعاتی ۵-۷
۱۸۵	نوع اسکارن‌های منطقه مطالعاتی (Au, Cu, Fe و ... ) ۶-۷
۱۸۶	شرایط فیزیکوشیمیایی فرایندهای اسکارن‌زایی ۶-۷
۱۹۱	رخساره‌های تشکیل اسکارن در منطقه مورد مطالعه ۷-۷
۱۹۳	محاسبات تغییرات جرم در زون‌های اسکارنی ۸-۷
۲۰۳	فصل هشتم
۲۰۳	ترموبارومتري
۲۰۴	۱-۸ - مقدمه
۲۰۵	۲-۸ - ارزیابی دما و فشار با استفاده از ترکیب پاراژنهای کانی‌شناسی اسکارن‌ها
۲۰۶	۳-۸ - ارزیابی دما و فشار حاکم بر توده‌های نفوذی با استفاده از ترکیب هورنبلند، هورنبلند-پلاژیوکلاز و آمفیبول - کلینوپيروكسن
۲۱۲	فصل نهم
۲۱۲	کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه
۲۱۳	۱-۹ - مقدمه
۲۱۴	۲-۹ - کانی‌سازی منطقه انیق - قره‌چیلر
۲۱۴	۱-۲-۹ - موقعیت جغرافیایی کانی‌سازی منطقه انیق - قره‌چیلر
۲۱۶	۲-۲-۹ - زمین‌شناسی منطقه کانی‌سازی
۲۱۷	۳-۲-۹ - توصیف کانی‌سازی منطقه انیق - قره‌چیلر
۲۱۸	۱-۳-۲-۹ - منطقه قره‌چیلر
۲۲۵	۲-۳-۲-۹ - منطقه زرلی‌دره
۲۳۱	۳-۳-۲-۹ - کانی‌سازی منطقه قره‌دره و دره گوهران
۲۳۳	۴-۳-۲-۹ - منطقه جنوب روستای انیق
۲۳۶	۳-۹ - همبستگی طلا و دیگر عناصر در منطقه انیق - قره‌چیلر
۲۳۶	۱-۳-۹ - همبستگی طلا با دیگر عناصر در منطقه قره‌چیلر
۲۳۷	۲-۳-۹ - همبستگی طلا با دیگر عناصر در منطقه زرلی‌دره



۲۳۹.....	۴-۹- سیالات درگیر رگه‌های انیق- قره‌چیلر.....
۲۳۹.....	۱-۴-۹- مقدمه.....
۲۴۰.....	۲-۴-۹- کلیاتی در مورد سیالات درگیر.....
۲۴۲.....	۳-۴-۹- اطلاعات حاصل از مطالعه سیالات درگیر.....
۲۴۴.....	۴-۴-۹- اصول اساسی آنالیز ترمومتری.....
۲۴۹.....	۵-۴-۹- نتایج مطالعه سیالات درگیر و آنالیز میکروترموتری نمونه‌های انیق- قره‌چیلر.....
۲۴۹.....	۱-۵-۴-۹- مقدمه.....
۲۵۰.....	۲-۵-۴-۹- پتروگرافی سیالات درگیر.....
۲۵۶.....	۳-۵-۴-۹- نتایج آنالیز میکروترموتری.....
۲۶۵.....	۵-۹- خاستگاه و نحوه تشکیل کانی‌سازی انیق- قره‌چیلر.....
۲۶۵.....	۱-۵-۹- مقدمه.....
۲۶۵.....	۲-۵-۹- ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی.....
۲۷۱.....	۳-۵-۹- مقایسه کانی‌سازی منطقه مطالعاتی با ذخایر طلای مرتبط با توده‌های نفوذی.....
۲۷۲.....	۱-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس مجموعه پلوتونیک‌های همراه.....
۲۷۲.....	۲-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس محیط تکتونیک و تشکیل ماگما.....
۲۷۲.....	۳-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس ساختارهای تکتونیک کنترل‌کننده.....
۲۷۳.....	۴-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس سیالات هیدروترمال.....
۲۷۳.....	۵-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس ژئوشیمی.....
۲۷۴.....	۶-۳-۵-۹- مقایسه بر اساس دگرسانی.....
۲۷۴.....	۷-۳-۷-۹- مقایسه بر اساس شکل کانی‌سازی.....
۲۷۵.....	فصل دهم.....
۲۷۵.....	نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۲۷۶.....	۱-۱۰- نتیجه‌گیری.....
۲۸۱.....	۲-۱۰- پیشنهادات.....
۲۸۲.....	منابع.....
۳۰۴.....	پیوست‌ها.....

## فهرست تصاویر

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن.....	۴
شکل ۱-۲- نمایی از کوه آق‌داغ، بلندترین نقطه منطقه مطالعاتی (دید به سمت جنوب خاور).....	۵
شکل ۱-۲-۱- زون‌های زمین ساختاری و رسوبی ایران (آق‌ناباتی، ۱۳۸۳).....	۱۳
شکل ۲-۲- موقعیت منطقه مطالعاتی در زون ساختاری قفقاز کوچک که با دایره مشکی توخالی مشخص شده است. موقعیت کمان پونتید، قفقاز بزرگ و قفقاز میانی نیز نسبت به منطقه مطالعاتی مشخص شده است.....	۱۴
شکل ۲-۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه.....	۲۰
شکل ۲-۴- باتولیت قره‌داغ و هاله دگرسانی اطراف آن بر روی تصویر ماهواره‌ای و موقعیت دو منطقه قولان و کمتال که توسط زون دگرسانی آستامال- نوجه‌مهر از هم جدا شده‌اند.....	۲۲
شکل ۲-۵- دورنمایی از کنتاکت توده گرانودیوریتی (gd) با واحدهای دگرگونه قدیمی (متابازیت‌ها- Met) (دید به سمت خاور).....	۲۳
شکل ۲-۶- نمایی از واحد آهکی $Ku^{fl}$ در حاشیه جنوبی باتولیت قره‌داغ (دید به سمت شمال خاور).....	۲۴
شکل ۲-۷- دور نمایی از زون دگرسانی محور آستامال- نوجه‌مهر در حاشیه جنوبی باتولیت قره‌داغ (دید به سمت شمال باختر).....	۲۹
شکل ۲-۸- بلوک دیاگرام نشان دهنده ساختارهای نئوتکتونیک فشارشی و کششی حاصل از همگرایی شمالی- جنوبی ورقه‌های عربی و اورازیا در آناتولی خاوری، قفقاز و شمال باختر ایران. AF: مخروط افکنه‌های کواترنری، AV: آتشفشان آزارات، DSF: گسل امتداد لغز راست‌گرد، SB: حوضه‌های امتداد لغز، SSF: گسل امتداد لغز چپ‌گرد، VC: مخروط آتشفشانی (Koçyigit و همکاران، ۲۰۰۱، با کمی تغییر).....	۳۰
شکل ۳-۱- a- دورنمایی از منطقه کمتال (دید به سمت باختر). b- دورنمایی از منطقه قولان (دید به سمت خاور).....	۳۶
شکل ۳-۲- دورنمایی از توده کوارتز مونزونیت کمتال و هاله اسکارنی اطراف آن (دید به سمت باختر).....	۳۶
شکل ۳-۳- تصویر ماکروسکوپی از توده کوارتز مونزونیتی کمتال. حضور بلورهای بیوتیت و آمفیبول در زمینه فلدسپاتی.....	۳۷
شکل ۳-۴- تجمع کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز و حضور کلینوپیروکسن در داخل پلاژیوکلاز (نیکول‌های متقاطع).....	۳۸
شکل ۳-۵- a- نمایی از عدسی‌های گابرویی داخل توده کوارتز مونزونیت کمتال. b- نمایی از لایه‌بندی ماگمایی در گابروها.....	۳۹
شکل ۳-۶- a- بلورهای اولیوین در حال دگرسانی به سرپانتین (نیکول‌های متقاطع). b- بلورهای کرمی شکل مگنتیت در مجاورت با کلینوپیروکسن‌های ریز و درشت (نیکول‌های متقاطع).....	۴۰
شکل ۳-۷- دورنمایی از استوک مونزوگرانیته کمتال که به داخل توده کوارتز مونزونیتی نفوذ کرده است (دید به سمت باختر).....	۴۱
شکل ۳-۸- a- درشت بلور بی شکل کوارتز و فلدسپات با ساخت سمپلکتیک (نیکول‌های متقاطع). b- نمایی از بافت گرانوفیری موجود در بخش‌های بالایی استوک مونزوگرانیته (نیکول‌های متقاطع).....	۴۲

- شکل ۳-۹- a- زینولیت‌هایی به اشکال مختلف در داخل مونزوگرانیت. b- گرهک‌های کوارتز- فلدسپاتی در داخل زینولیت‌های موجود در مونزوگرانیت. .... ۴۳
- شکل ۳-۱۰- a- تصویر میکروسکوپی از زینولیت‌های داخل مونزوگرانیت کمتال متشکل از بلورهای باریک و کشیده آمفیبول در زمینه فلدسپاتی (نیکول‌های متقاطع) b- تصویر میکروسکوپی از گرهک کوارتز- فلدسپاتی در داخل زینولیت‌ها (نیکول‌های متقاطع). .... ۴۳
- شکل ۳-۱۱- نمایی از رگه‌های اپیدوت‌دار موجود در داخل توده کوارتز مونزونیتی کمتال (بخش‌های روشن: رگه‌های اپیدوت‌دار، بخش‌های تیره: کوارتز مونزونیت). .... ۴۴
- شکل ۳-۱۲- توالی تبلور گارنت، اپیدوت، اکتینولیت و کوارتز به ترتیب از حاشیه به سمت مرکز رگه. (a) نیکول‌های متقاطع. (b) نیکول‌های غیر متقاطع. .... ۴۵
- شکل ۳-۱۳- دورنمایی از توده گابرویی مقری در حاشیه جنوبی رود ارس و در داخل توده گرانودیوریتی قولان (دید به سمت باختر). .... ۴۶
- شکل ۳-۱۴- منظره لایه‌بندی در گابروی اشتوبین ناشی از جدایش کانی‌های مافیک از فلسیک. .... ۴۷
- شکل ۳-۱۵- نمایی از توده گابرویی نمق و روستای نمق واقع در داخل آن (دید به سمت شمال خاور). .... ۴۷
- شکل ۳-۱۶- a- تجمع کانی‌های کلینوپیروکسن اورالیتی، پلاژیوکلاز، آمفیبول و اکسیدهای آهن در گابروی مقری (نیکول‌های متقاطع). b- تصویر a در نیکول‌های غیر متقاطع. c- بلورهای پلاژیوکلاز دارای ماکل خمیده و سرنیزه‌ای در گابروهای قولان (نیکول‌های متقاطع). d- بلور درشت آمفیبول حاوی ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن اورالیتی و اکسید آهن در گابروهای قولان (نیکول‌های متقاطع). .... ۴۸
- شکل ۳-۱۷- تصویر میکروسکوپی از هولولوکوگابرو در داخل گابروی اشتوبین که متشکل از پلاژیوکلاز و مختصری بیوتیت می‌باشد. a- نیکول‌های متقاطع، b- نیکول‌های غیر متقاطع. .... ۵۰
- شکل ۳-۱۸- معرفی چند بافت از گرانودیوریت منطقه قولان (نیکول‌های متقاطع). a- بافت مونزونیتی. b- بیوتیت ثانویه در داخل گرانودیوریت قولان. c- میرمکیت‌های ظریف در اطراف بلورهای فلدسپار. d- بلورهای شکلدار و درشت اسفن. .... ۵۲
- شکل ۳-۱۹- نمایی از رگه‌های کوارتزی و آپلیت که توده کوارتز دیوریتی قولان را قطع کرده‌اند (دید به سمت جنوب). .... ۵۳
- شکل ۳-۲۰- نمایی از توده دیوریتی انیق- اغان و گنبد ریولیتی انیق که به داخل توده گرانودیوریتی قولان نفوذ کرده‌اند (دید به سمت شمال خاور). .... ۵۴
- شکل ۳-۲۱- بلورهای کلینوپیروکسن اورالیتی، بیوتیت کلریتی، پلاژیوکلاز، کوارتز، آکالی فلدسپار و اکسید آهن در توده دیوریتی انیق- اغان. a- نیکول‌های متقاطع. b- نیکول‌های غیر متقاطع. .... ۵۵
- شکل ۳-۲۲- نمایی از استوک دیوریتی پهناور (d) که به داخل زون دگرسانی باختر گرانودیوریت قولان نفوذ کرده است (دید به سمت شمال خاور). .... ۵۶
- شکل ۳-۲۳- تصویر میکروسکوپی از بخش‌های حاشیه‌ای استوک دیوریتی پهناور که به علت سرد شدن سریع دارای بافت پورفیری شده است. .... ۵۶
- شکل ۳-۲۴- a- بلور پلاژیوکلاز با حاشیه رشد یافته در بخش‌های مرکزی استوک دیوریتی پهناور (نیکول‌های متقاطع). b- فنوکریست پلاژیوکلاز حاوی حاشیه رشد یافته در زمینه ریز بلور (بخش حاشیه‌ای استوک دیوریتی پهناور) (نیکول‌های متقاطع). .... ۵۷
- شکل ۳-۲۵- a- نمایی از استوک مونزوگرانیتی پهناور که به داخل هاله اسکارنی پهناور و زون دگرسانی نفوذ کرده است (دید به سمت خاور). b- نمایی نزدیک از نفوذ استاله‌های ماگمای مونزوگرانیتی پهناور به داخل استوک دیوریتی پهناور. .... ۵۸

شکل ۳-۲۶- a- بلور درشت پلاژیوکلاز با هسته خرد شده در استوک مونزوگرانیته پهناور (نیکول‌های متقاطع). b- بلورهای باریک و کشیده هورنبلند در حاشیه استوک مونزوگرانیته پهناور (نیکول‌های متقاطع). ..... ۵۹

شکل ۳-۲۷- نمایی از همبری استوک مونزوگرانیته پهناور با اسکارن‌های پهناور. باند تیره رنگ، زون واکنشی بین استوک مونزوگرانیته و هاله اسکارنی می‌باشد که غنی از هورنبلند است. .... ۵۹

شکل ۳-۲۸- نمایی از استوک کوارتز مونزونیتی انیق در مجاورت توده دیوریتی انیق- اغان و گنبد ریولیتی که به داخل توده گرانودیوریتی قولان نفوذ کرده است (دید به سمت جنوب). ..... ۶۰

شکل ۳-۲۹- نمایی از استوک کوارتز مونزونیتی قولان که به داخل توده گرانودیوریتی قولان نفوذ کرده است. .... ۶۱

شکل ۳-۳۰- مقطع میکروسکوپی دو نمونه استوک کوارتز مونزونیتی دگرسان شده انیق (نیکول‌های متقاطع). ..... ۶۲

شکل ۳-۳۱- a- نمایی نزدیک از ریولیت در نمونه دستی. فنوکریست‌های ارتوز، پلاژیوکلاز و کوارتز در زمینه دانه ریز قرار گرفته‌اند. b- تصویر میکروسکوپی از فنوکریست‌های ارتوز پرتیتی، پلاژیوکلاز سریسیتی و کوارتز در زمینه دانه ریز کوارتز-فلدسپاتی (نیکول‌های متقاطع). ..... ۶۳

شکل ۳-۳۲- نمایی از دایک‌های آندزیتی در داخل توده گرانودیوریتی در دره اغان (دید به سمت شمال خاور). ..... ۶۴

شکل ۳-۳۳- تصاویر میکروسکوپی از دایک‌های آندزیتی داخل گرانودیوریت قولان (نیکول‌های متقاطع). ..... ۶۴

شکل ۳-۳۴- a- بافت پورفیری در دایک‌های ریوداسیتی. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه دانه ریز کوارتز-فلدسپار (نیکول‌های متقاطع). b- فنوکریست‌های آلکالی فلدسپار و پلاژیوکلاز در متنی متشکل از کوارتز و فلدسپار (نیکول‌های متقاطع). ..... ۶۵

شکل ۳-۳۵- نمایی نزدیک از آنکلاوهای مافیک میکروگرانولار در داخل توده گرانودیوریتی قولان. .... ۶۶

شکل ۳-۳۶- a- بلورهای شکلدار گارنت ایزوتروپ در زمینه کلسیت و کوارتز. b- درشت بلور گارنت ایزوتروپ و حاوی منطقه‌بندی در کنار بلورهای کلینوپیروکسن. c- بلورهای گارنت شکلدار ایزوتروپ در حال دگرسانی در زمینه کلسیت. d- گارنت‌های ایزوتروپ در مجاورت با اپیدوت. همه تصاویر مربوط به نیکول‌های متقاطع می‌باشند. .... ۶۸

شکل ۳-۳۷- نمایی نزدیک از اپیدوت اسکارن‌های کمتال. باندهای غنی از سیلیس و غنی از اپیدوت در تصویر مشخص هستند. تفاوت در رنگ و ترکیب این باندها، ناشی از متفاوت بودن لیتولوژی اولیه باندها است. .... ۷۰

شکل ۳-۳۸- کانی‌های کلینوپیروکسن، اپیدوت، اکتینولیت و کوارتز در اپیدوت اسکارن‌های کمتال (نیکول‌های متقاطع). ..... ۷۰

شکل ۳-۳۹- a- پلاژیوکلازهای اپیدوتی شده همراه با بلورهای درشت اپیدوت و اکتینولیت (نیکول‌های متقاطع). b- گارنت و کلینوپیروکسن به همراه آلکالی فلدسپار (نیکول‌های متقاطع). ..... ۷۲

شکل ۳-۴۰- نمایی نزدیک از گارنت درشت بلور در داخل رگه گارنتیت کمتال. .... ۷۲

شکل ۳-۴۱- گارنت‌های درشت شکلدار ایزوتروپ و دارای منطقه‌بندی در گارنتیت. فضای بین گارنت‌ها توسط کلسیت پر شده است (نیکول‌های متقاطع). ..... ۷۳

شکل ۳-۴۲- دورنمایی از اسکارن پهناور. یک زون دگرسانی سریسیتی و آرژیلی در حد فاصل توده گرانودیوریتی قولان و اسکارن پهناور بوجود آمده است (دید به سمت خاور). بطوریکه در تصویر دیده می‌شود، هاله اسکارنی توسط یک زون دگرسانی احاطه شده است و کنتاکت مستقیمی با توده گرانودیوریت قولان ندارد. .... ۷۳

شکل ۳-۴۳- a- گسترش زون گارنت اسکارن در امتداد شکستگی‌ها و سطوح لایه‌بندی مرمرها دراگزو اسکارن پهناور (دید به سمت خاور). b- نمایی از کانی‌سازی آهن در داخل اسکارن پهناور (دید به سمت شمال). ..... ۷۴

شکل ۳-۴۴- a- بلورهای گارنت شکلدار ایزوتروپ با حاشیه‌های ایزوتروپ و مراکز دگرسان شده در زمینه کلسیت (نیکول‌های متقاطع). b- کلینوپیروکسن‌های ریز با فراوانی تقریباً برابر با گارنت‌های ایزوتروپ (نیکول‌های متقاطع). ..... ۷۵

شکل ۳-۴۵- تصویر ماکروسکوپی از اندواسکارن پهناور. کانی‌های درشت گارنت در داخل مونزوگرانیته مشخص هستند. .... ۷۶