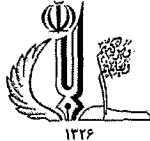


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٩٥٩٠٦



دانشگاه تبریز

دانشکده علوم طبیعی
گروه زمین شناسی

پایاننامه
برای دریافت درجه دکترا در رشته زمین شناسی
گرایش پترولوژی

بررسی پترولوژی سنگهای دگرگونی کالک-سیلیکات و متابازیک مجموعه تخت سلیمان
در شمالشرق تکاب (غرب ایران)

استادان راهنما
دکتر محسن مؤذن
دکتر احمد جهانگیری

استادان مشاور
Prof. Romain Bousquet

Dr. Giles Droop

پژوهشگر
ریاب حاجی علی اوغلی

آذر ۸۶

کتابخانه تخصصی زمین شناسی
تبریز

۱۳۸۷ / ۱۲ / ۸

۹۵۹۰۷

تقدیم به

روح پاک پدرم

و

مادر فداکارم

هوالعلیم

سپاسگزاری

حمد و سپاس بیکران خداوند متعال را که توفیق تحصیل علم و دانش به این حقیر عنایت فرمود. با ناسی از حدیثی از حضرت علی (ع) که فرموده اند: "هرکس به من کلمه ای یاد دهد مرا تا ابد بنده خود کرده است" بر خود واجب می دانم درابتدا از زحمات بی دریغ اساتید راهنمای بزرگواریم، آقایان دکتر محسن مؤذن و دکتر احمد جهانگیری که همواره با دلسوزی تمام در کلیه مراحل تدوین رساله از راهنمایی های ارزنده ایشان بهره مند بوده ام، نهایت تشکر و قدردانی را داشته باشم. همچنین وظیفه خود می دانم از آقای دکتر محسن مؤذن به جهت زحمات فراوان در فراهم آوردن امکان استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و برقراری ارتباط علمی با اساتید دانشگاههای پتسدام آلمان و منچستر انگلستان در طی فرصت مطالعاتی ۷ ماهه دوره دکتری، کمال سپاسگزاری را داشته باشم که بی شک بدون کمک و حمایت های همه جانبه ایشان و خانواده محترم شان قادر به این مهم نبودم.

از راهنماییهای علمی اساتید مشاورم Prof. Romain Bousquet در دانشگاه پتسدام و Dr. Giles Droop در دانشگاه منچستر در طول انجام رساله تقدیر و تشکر می کنم.

از اساتید محترم داور رساله آقایان دکتر محسن مؤید، دکتر سید مسعود همام و دکتر علی کنعانیان به لحاظ تقبل داوری رساله و ارائه نظرات سازنده در جهت ارتقای سطح علمی رساله کمال تشکر و سپاس را دارم.

از زحمات و راهنمایی های ارزنده علمی و اخلاقی تمامی اساتید محترم گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز به خصوص جناب آقایان دکتر مجتهدی، دکتر عامری، دکتر اصغری مقدم، دکتر کلاگری، دکتر عامل، دکتر غضنفری، مهندس جمیری و همچنین مربیان محترم در تمامی دوران تحصیلاتم تشکر و قدردانی می نمایم.

از Prof. R. Oberhänsli به خاطر در اختیار گذاشتن تجهیزات آزمایشگاهی و فراهم آوردن تسهیلات برای گذراندن فرصت مطالعاتی دوره دکتری در دانشگاه پتسدام سپاسگزاری می کنم. از دیگر اساتید دانشگاه پتسدام Prof. P.J. OBrien، Dr. M. Sudo، Dr. M. Timmerman، Dr. A. Möller، Dr. H. U. Altenberger، A. Riemann، A. Yurkovskaya، G. Marcano، A. Knörich، J. Zamagni، A. Landgraf، P. Ballato، K. Rehak، M. Vasquez به خاطر کمکهایشان متشکرم.

از مساعدت های Dr. M. Wilke برای استفاده از نرم افزار WIN-METRIC، Dr. B. Mocek در تجزیه XRF، Dr. M. Ziemann در تجزیه رامان اسپکترومتری، A. Lehmann و M. Borchert در تجزیه XRD، Dr. E. Sobel در جدا سازی کانیهای زیرکن سنگها، Dr. R. Milke و O. Appelt در تجزیه میکروپروب و Dr. S. A. Sergeev در سن سنجی U/Pb زیرکن تشکر می نمایم.

از کارکنان محترم دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز به خصوص در واحدهای سنگبری، کامپیوتر، کتابخانه و آموزش به خاطر مساعدتهایشان تشکر می کنم.

از آقایان دکتر اشرفی، دکتر عمرانی و خانم مهندس انتظاری به خاطر کمکهایشان در عملیات صحرائی متشکرم. از دوستان بسیار عزیزم در دوره دکتری و کارشناسی ارشد به خاطر تشویق ها و کمک هایشان در طول انجام رساله صمیمانه سپاسگزارم.

در نهایت عشق و سپاس بی پایان خود را تقدیم مادر مهربان و فداکارم می نمایم که پیوسته بزرگترین مشوق من برای تحصیل علم در تمام دوران تحصیلاتم بوده اند. از خواهر و برادران بسیار عزیزم به خاطر زحمات فراوانشان در طول تحصیلاتم نهایت امتنان و سپاس را دارم. از آقای مهندس محمد علی سلیمی مؤحد که همواره از کمک هایشان در طول تحصیل بهره مند بوده ام، به خصوص به خاطر همراهی شان در عملیات صحرائی بسیار سپاسگزارم.

نام خانوادگی: حاجی علی اوغلی ،		نام: رباب	
عنوان پایاننامه: بررسی پترولوژی سنگهای دگرگونی کالک-سیلیکات و متابازیک مجموعه تخت سلیمان در NE تکاب (غرب ایران)			
استادان راهنما: دکتر محسن مؤذن-دکتر احمد جهانگیری		استادان مشاور: Prof. R. Bousquet- Dr. G. Droop	
مقطع تحصیلی: دکترا	رشته: زمین شناسی	گرایش: پترولوژی	دانشگاه: تبریز
دانشکده: علوم طبیعی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۶	تعداد صفحه: ۱۶۸	
کلید واژه ها: تخت سلیمان، آرکن-پالئوپروتروزوئیک، دگرگونی HT/MP-HP، مرمر، آمفیبولیت، گرانولیت، کالک-سیلیکات، متاپریدوتیت، سرپانتینیت، میگماتیت مافیک، گرانیتوئید I-type، تحولات P-T، پلی مورف سرپانتین			
چکیده			
<p>کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان در شمال شرق تکاب متشکل از انواع سنگهای دگرگونی متاپلیت، مرمر و کالک-سیلیکات همراه با متابازیت، سنگهای متاولترامافیک و توده های آذرین I-type و S-type است. سنگهای دگرگونی کالک-سیلیکات، مرمر، متاپریدوتیت، سرپانتینیت، گرانولیت، آمفیبولیت، میگماتیت های مافیک، سنگهای شیست سبز و توده های آذرین شامل انواع گرانیتوئیدهای I-type و دیوریت، سنگهای مورد مطالعه در این تحقیق می باشند. بر اساس مطالعات صحرایی، پتروگرافی، کانی شناسی و ژئوشیمی انواع سنگهای دگرگونی و آذرین و نتایج سن سنجی ایزوتوپی U/Pb زیرکن در میگماتیت های مافیک منطقه مورد مطالعه به نظر می رسد کمپلکس تخت سلیمان بسیار مشابه با خرده قاره ایران مرکزی بوده و متعلق به پی سنگ آرکن-پالئوپروتروزوئیک پوسته قاره ای ایران می باشد. منشاء میگماتیت های مافیک در کمپلکس تخت سلیمان بر اساس شواهد صحرایی، بافتی و کانی شناسی، از نوع ذوب بخشی با پروتولیت متابازیت تعیین شده است. برخی از شواهد دال بر آن عبارتند از (a) شواهد ساختاری ذوب بخشی شامل ساختار لایه ای در میگماتیت های متاتکسیت، ساختار های نبولیتیک، رگه ای و شولن در میگماتیت های دیاتکسیت، جهت یابی قطعات ملانوسوم به موازات جریان مذاب در داخل لوکوسوم، تشکیل ملانوسوم به شکل لایه بسیار نازک در اطراف مزوسوم و لوکوسوم و ساختار پگماتیتهی لوکوسوم متشکل از کانیهای دانه درشت پلاژیوکلاز و مگاکریست های هورنبلند (b) شواهد بافتی ذوب بخشی شامل یافت آذرین و دانه درشت در لوکوسوم، فلدسپار پتاسیم با حالت ابری و کوارتز بی شکل با بافت بین دانه ای در لوکوسوم. عدم حضور کانی های دما بالای ارتوپیروکسن و گارنت در ملانوسوم میگماتیتها، واکنش های ذوب اشباع از آب بازالت در دماهای بالاتر از ۹۰۰ °C و ۹ kbar را به عنوان واکنش های احتمالی ذوب بخشی پیشنهاد می کند.</p> <p>سنگهای آذرین مورد مطالعه در کمپلکس تخت سلیمان از لحاظ ترکیبی شامل انواع گرانودیوریت، کوارتز مونزودیوریت و دیوریت است. با در نظر گرفتن معیارهای کانی شناسی (حضور آمفیبول، تیتانیت، اپیدوت و کانیهای تیره شامل ایلمنیت و مگنتیت در پاراژنز سنگها) و همچنین شیمی کانیهای تیره (ترکیب شیمیایی غنی از FeTiO₃ و MnTiO₃ کانیهای ایلمنیت)، منشاء سنگهای گرانیتوئیدی از نوع I-type تعیین می شود. بر اساس ترکیب شیمی کانیهای کلینوپیروکسن تجزیه شده در دیوریت، ترکیب ماگمای اولیه سنگهای آذرین ساب آکالن با ویژگیهای I-type مرتبط با محیط فرورانش ارزیابی می شود. شرایط دما و فشار تبلور ماگمایی در سنگهای دیوریت ۷۶۰ °C و ۸ kbar و سنگهای گرانودیوریت ۷۰۰ °C و ۵/۵ kbar است.</p> <p>ترکیب پروتولیت متاپریدوتیت های تخت سلیمان بطور اصلی هارزبورژیت، دونیت و کمتر لرزولیت است. این سنگها در گوشته فوقانی در دمای ۱۱۵۰ °C و فشار ۲۴±۲٫۷ kbar تشکیل شده اند. سنگهای پریدوتیت توسط فرایندهای متاسوماتیسم تحت شرایط دما پائین (T < ۲۸۰ °C) و سپس دگرگونی پیشرونده در رخساره آمفیبولیت (۵۳۰-۴۱۰ °C) دگرگون شده اند. پلی مورف های سرپانتین در متاپریدوتیت ها با استفاده از مطالعات پتروگرافی، کانی شناسی، تجزیه XRD، طیف سنجی Raman و تجزیه EPMA شناسایی شد. نتایج نشان می دهد پلی مورف های سرپانتین در متاپریدوتیت های دما پائین از نوع کریزوتیل و لیزاردیت می باشند. پلی مورف آنتی گوریت در طی دگرگونی ناحیه ای پیشرونده از مصرف کریزوتیل و لیزاردیت تشکیل شده است. محیط تکتونیکی سنگهای متاولترامافیک بر اساس ترکیب شیمی بقایای کانیهای آذرین از نوع گوشته ای در محدوده پایداری اسپینل پریدوتیت تعیین می شود. مطالعات پتروگرافی و شیمی کانی ها در انواع سنگهای دگرگونی گرانولیت، آمفیبولیت، کالک-سیلیکات و مرمر ها نشان می دهد کانی هانی دگرگونی اوج در این سنگها تحت شرایط دگرگونی پسرونده به مجموعه کانیهای دما-پائین تبدیل شده است. برخی از شواهد پتروگرافی دال بر فرایندهای دگرگونی پسرونده عبارتند از (a) گارنت پسرونده با بافت کرونا در اطراف پلاژیوکلاز، بقایای گارنت اولیه در داخل اگرگاتهایی از کلسیت و پلاژیوکلاز و جانشینی البوین توسط کانیهای ترمولیت و دولومیت در سنگهای کالک-سیلیکات، (b). تشکیل اسپینل در حاشیه کیفیت اطراف پورفیروبلاست گارنت و سیمپلکتیت پلاژیوکلاز-هورنبلند، اینکلوژن روتیل در داخل گارنت در سنگ های گرانولیت، (c)</p>			

ادامه چکیده پاننامه

جانشینی کانیه‌های فرومنیزین دما بالا توسط کانیه‌های پلاژیوکلاز و هورنبلند با بافت هم‌رشدی در سنگ‌های آمفیبولیت. تحولات دگرگونی در سنگهای گرانولیت تخت سلیمان با استفاده از ترکیب شیمی کانیه‌های پورفیروبلاست طی سه مرحله (M_1) مرحله اوج دگرگونی در رخساره گرانولیت، (M_2-a) مرحله پس‌رونده کاهش فشار گرانولیت و (M_2-b) مرحله پس‌رونده دما پائین تعیین شد. به دلیل نبود مجموعه کانیه‌های حفظ شده مرحله اوج، شرایط P-T دگرگونی اوج در سنگهای گرانولیت مورد مطالعه بطور دقیق مشخص نیست. شرایط حرارت و فشار دگرگونی پس‌رونده گرانولیت های مافیک ($T \sim 780^\circ\text{C}$, $P \sim 9 \text{ kbar}$) و گرانولیت های اولترامافیک ($T \sim 810 \pm 10^\circ\text{C}$, $P \sim 10/5 \pm 0/7 \text{ kbar}$) در مرحله (M_2-a) با استفاده از ترکیب شیمی کانی های در حال تعادل به دست آمد.

شرایط حرارت و فشار دگرگونی در مرحله دگرگونی پس‌رونده M_2-b با استفاده از ترکیب حاشیه پورفیروبلاست گارنت و آمفیبول در گرانولیت‌های اولترامافیک ($T \sim 590 \pm 10^\circ\text{C}$, $P \sim 7 \text{ kbar}$) و گرانولیت‌های مافیک ($T \sim 650^\circ\text{C}$, $P \sim 7 \text{ kbar}$) محاسبه شد. بر اساس شواهد پتروگرافی، بافتی و ترکیب شیمیایی کانیه‌ها در گرانولیت های مافیک و گرانولیت های اولترامافیک کمپلکس تخت سلیمان، شرایط دگرگونی مرحله HT/MP (M_2-b) ارزیابی می شود.

سنگهای آمفیبولیت در کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان از لحاظ ساختاری، بافتی و مجموعه کانیه‌های دگرگونی دارای تنوع بسیار بالایی می باشند. انواع آمفیبولیت های تخت سلیمان بر اساس مجموعه کانی های اصلی عبارتند از آمفیبولیت (عادی)، اپیدوت-آمفیبولیت، بیوتیت-آمفیبولیت، موسکویت-آمفیبولیت، گارنت-آمفیبولیت، کیانیت-موسکویت-گارنت آمفیبولیت و گارنت-کلینوپیروکسن آمفیبولیت. فولیاسیون چین خورده در برخی از آمفیبولیتها، رخداد حداقل دو فاز دگرشکلی در منطقه را نشان می دهد. شرایط حرارت و فشار بر اساس مجموعه کانیه‌های دگرگونی و ترکیب شیمی کانیه‌های در حال تعادل در کلینوپیروکسن-گارنت آمفیبولیت، $T \sim 650-700^\circ\text{C}$ و $P \sim 10 \text{ kbar}$ (در مرحله M_1)، $690-720^\circ\text{C}$ و 8 kbar (مرحله M_2) و 650°C و 5 kbar (مرحله M_2-b) است.

بر اساس شواهد بافتی، کانی شناسی و محاسبات P-T، مسیر ساعتگرد تحولات P-T دگرگونی در آمفیبولیت های مورد مطالعه به این صورت تفسیر می شود. به نظر می رسد اولین قسمت مسیر P-T در آمفیبولیت ها مرتبط با ضخیم شدگی پوسته ای و عملکرد گسل های تراسی است. بالا آمدگی سنگهای تدفین شده در اعماق ۳۰ کیلومتری پوسته تحتانی تا اعماق بالاتر ۲۳ با تغییرات دمائی کم همراه است. در قسمت دوم مسیر P-T شرایط دما از 720°C تا 550°C و فشار از 7 kbar تا 5 kbar کاهش یافته است. این قسمت سرد شونده مسیر P-T آمفیبولیتها در ارتباط با سرد شدگی سنگها به علت بالا آمدگی (exhumation) و فرسایش آنها تفسیر می شود.

مطالعات ژئوشیمی سنگهای متابازیت با استفاده از تجزیه XRF همچنین مشخص کرد پروتولیت سنگهای آذرین دگرگون شده بطور اصلی آندزیت تا آندزیت بازالتی با ترکیب کالک آلکالن مرتبط با قوس های ولکانیکی می باشد.

بر اساس داده های سن سنجی U-Pb زیرکن در میگماتیت های مافیک کمپلکس تخت سلیمان مشخص شد (a) سن تبلور زیرکن در پروتولیت پی سنگ دگرگونی تخت سلیمان $2961 \pm 72 \text{ Ma}$ (بر اساس نمودار ناهماهنگ $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ و $2775-2785 \text{ Ma}$) (بر اساس نسبت ایزوتوپی $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) بوده است (متعلق به زمان آرکئن-پالئوپروتروزوئیک). (b) میگماتیزاسیون سنگهای متابازیک در کمپلکس تخت سلیمان در حدود ۲۶ میلیون سال قبل اتفاق افتاده است. سنین هماهنگ در نمودار سازگاری Tera-Wasserburg نشان می دهد که از دست دادن سرب از سیستم U-Pb در زیرکن قدیمی به احتمال بسیار از $24/2 \pm 7/5$ میلیون سال قبل بوده است. بر این اساس احتمالاً زمان از دست دادن سرب از سیستم منطبق با زمان میگماتیزاسیون سنگهای آمفیبولیت در منطقه مورد مطالعه بوده است.

زمان رخداد دگرگونی های اوج در سنگهای متابازیک (گرانولیت و آمفیبولیت) و انتقال دگرگونی پیش‌رونده مجموعه کانیه‌های دگرگونی درجه پائین سنگهای متاولترامافیک به رخساره آمفیبولیت در کمپلکس تخت سلیمان بطور دقیق مشخص نیست. بالا آمدگی سنگهای متابازیک MP-HP در منطقه مورد مطالعه بر اساس شواهد بافتی و کانی شناسی گرانولیت ها و آمفیبولیت ها با مدل ضخیم شدگی پوسته ای و نازک شدگی بعدی آن طی فازهای کشش بعد از فشارش مطابقت دارد.

با در نظر گرفتن تشابهات زمین شناسی، تکتونیکی و سنگ شناسی منطقه تخت سلیمان با خرده قاره ایران مرکزی احتمالاً بتوان دگرگونی های پیش‌رونده و دگرگونی اوج سنگهای متابازیک، کالک-سیلیکات و متاولترامافیک، فرایندهای میگماتیزاسیون و نفوذ سنگهای آذرین در پی سنگ دگرگونی آرکن در منطقه تخت سلیمان را مشابه با زون خرده قاره ایران مرکزی مرتبط با فرورانش نئوتتیس در نظر گرفت اما شواهد دقیق مبنی بر تایید آن در منطقه یافت نشده است.

فهرست

I	فهرست مطالب
V	فهرست جداول
VI	فهرست شکل ها
XII	مقدمه

فصل اول - بررسی منابع

۲	۱-۱ پایه های نظری
۲	۱-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای و فرایندهای دگرگونی
۲	۱-۱-۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای
۳	۳-۱-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای انواع سنگهای اصلی
۵	۴-۱-۱-۱ فرایندهای دگرگونی ناحیه ای
۶	۵-۱-۱-۱ ژئوترموبارومتري
۷	۲-۱-۱ مطالعات دگرگونی ناحیه ای در جهان
۸	۳-۱-۱ مسائل مهم در دگرگونی که هنوز به مطالعات بیشتر نیاز دارد
۸	۴-۱-۱ اهداف تحقیق

فصل دوم - مواد و روشها

۱۱	۱-۲ مقدمه ای بر زمین شناسی منطقه
۱۲	۲-۲ جغرافیای منطقه
۱۵	۳-۲ مطالعات قبلی انجام گرفته در منطقه
۱۶	۴-۲ روش تحقیق
۱۶	۱-۴-۲ کارهای صحرائی
۱۶	۲-۴-۲ کارهای آزمایشگاهی

فصل سوم - بحث و نتیجه گیری

۱۸	۱-۳ زمین شناسی عمومی منطقه
۲۱	۲-۳ بررسی ابهامات زمین شناسی منطقه تخت سلیمان
۲۳	۳-۳ مطالعات صحرائی انواع سنگهای دگرگونی و آذرین تخت سلیمان
۲۳	۱-۳-۳ سنگهای متاولترامافیک
۲۴	۲-۳-۳ سنگهای آهکی دگرگون شده
۲۴	۳-۳-۳ آمفیبولیت
۲۵	۴-۳-۳ گرانولیت
۲۵	۵-۳-۳ میگماتیت های مافیک
۲۶	۶-۳-۳ توده های نفوذی

۳۱	۴-۳ مطالعات زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک
۳۴	۵-۳ زمین شناسی اقتصادی منطقه تخت سلیمان
۳۶	۶-۳ مطالعات پتروگرافی
۳۶	۱-۶-۳ پتروگرافی توده های آذرین
۳۶	۱-۱-۶-۳ دیوریت
۳۷	۲-۱-۶-۳ گرانودیوریت
۳۷	۳-۱-۶-۳ کوارتز مونزودیوریت
۳۸	۴-۱-۶-۳ گرانیت
۴۰	۲-۶-۳ پتروگرافی سنگهای دگرگونی
۴۰	۱-۲-۶-۳ پتروگرافی سنگهای متاولترامافیک
۴۱	۱-۱-۲-۶-۳ سنگهای تالک-سربانتین شیست
۴۱	۲-۱-۲-۶-۳ سربانتینیت
۴۳	۳-۱-۲-۶-۳ متاپریدوتیت
۴۳	۴-۱-۲-۶-۳ متاولترامافیک های برشی
۴۴	۲-۲-۶-۳ انواع پلی مورف های سربانتین در سنگهای متاولترامافیک تخت سلیمان
۵۰	۳-۲-۶-۳ پتروگرافی سنگهای گرانولیت
۵۰	۱-۳-۲-۶-۳ گرانولیت های مافیک
۵۰	۲-۳-۲-۶-۳ گرانولیت های اولترامافیک
۵۲	۴-۲-۶-۳ پتروگرافی آمفیبولیت ها
۵۳	۱-۴-۲-۶-۳ آمفیبولیت (عادی)
۵۳	۲-۴-۲-۶-۳ اپیدوت آمفیبولیت
۵۴	۳-۴-۲-۶-۳ بیوتیت آمفیبولیت
۵۴	۴-۴-۲-۶-۳ موسکوویت آمفیبولیت
۵۴	۵-۴-۲-۶-۳ گارنت آمفیبولیت
۶۴	۵-۲-۶-۳ پتروگرافی سنگ های شیست سبز
۶۴	۱-۵-۲-۶-۳ آلپیت-کلریت شیست
۶۴	۲-۵-۲-۶-۳ اکتینولیت شیست
۶۴	۳-۵-۲-۶-۳ اکتینولیتیت
۶۶	۶-۲-۶-۳ پتروگرافی سنگهای دگرگونی آهکی
۶۷	۱-۶-۲-۶-۳ مرمرها
۶۷	الف- فلوگوپیت-اپیدوت مرمر
۶۷	ب- ترمولیت-اپیدوت مرمر
۶۷	ج- ترمولیت مرمر

- ۶۷ ۳-۶-۲-۱ کالک-سیلیکات ها
- ۶۸ الف- اسکاپولیت-کلینوپیروکسن-گارنت کالک-سیلیکات
- ۶۸ ب- اسکاپولیت-کلینوپیروکسن-هورنبلند کالک-سیلیکات
- ۶۸ ج- کلینوپیروکسن-(±)گارنت-هورنبلند کالک-سیلیکات
- ۷۰ د- سنگهای کالک-سیلیکات دارای الیوین
- ۷۰ ه- کامینگتونیت-گارنت کالک-سیلیکات
- ۷۲ ۳-۷ میگماتیزاسیون آمفیبولیت ها
- ۷۲ ۳-۷-۱ مقدمه
- ۷۲ ۳-۷-۱-۱ میگماتیت های مافیک تخت سلیمان
- ۷۲ ۳-۷-۱-۱-۱ شواهد ساختاری ذوب بخشی
- ۷۳ ۳-۷-۱-۲ شواهد بافتی ذوب بخشی
- ۷۴ ۳-۷-۱-۳ شواهد کانی شناسی لوکوسوم
- ۷۵ ۳-۷-۲-۳ واکنش های ذوب
- ۷۶ ۳-۷-۲ توزیع مذاب در میگماتیت های مافیک تخت سلیمان
- ۷۷ ۳-۸-۱ نمایش کانیهای دگرگونی در نمودارهای سازگاری
- ۷۷ ۳-۸-۱ سیستم شیمیایی و واکنش های دگرگونی در متاپریدوتیت ها
- ۷۹ ۳-۸-۲ سیستم شیمیایی و واکنش های دگرگونی در متابازیت ها
- ۸۰ ۳-۸-۲-۱ سنگهای شیست سبز
- ۸۱ ۳-۸-۲-۲ گرانولیت های مافیک
- ۸۳ ۳-۸-۳ سیستم شیمیایی در سنگهای دگرگونی آهکی
- ۸۴ ۳-۸-۳-۱ واکنش های دگرگونی در مرمرها
- ۸۵ ۳-۸-۳-۲ واکنش های دگرگونی در کالک-سیلیکات ها
- ۸۵ الف- اسکاپولیت-کلینوپیروکسن-گارنت کالک-سیلیکات
- ۸۷ ب- کامینگتونیت-گارنت کالک-سیلیکات
- ۸۷ ج- کالک-سیلیکات های دارای الیوین
- ۸۹ ۳-۹-۱ مینرال شیمی
- ۸۹ ۳-۹-۱ مقدمه
- ۸۹ ۳-۹-۲ مینرال شیمی سنگهای آذرین
- ۹۴ ۳-۹-۳ مینرال شیمی متاپریدوتیت ها
- ۹۷ ۳-۹-۴ مینرال شیمی آمفیبولیت ها
- ۱۰۱ ۳-۹-۵ مینرال شیمی گرانولیت ها
- ۱۰۹ ۳-۹-۶ مینرال شیمی کالک-سیلیکات ها
- ۱۱۴ ۳-۱۰ ژئوترموبارومتري

۱۱۴	۱-۱۰-۳ ژئوترموبارومتری سنگهای دگرگونی
۱۱۴	۱-۱۰-۳ ترموبارومتری متاپریدوتیت ها
۱۱۷	۲-۱۰-۳ ترموبارومتری گرانولیت ها
۱۲۱	۳-۱۰-۳ ترموبارومتری آمفیبولیت ها
۱۲۵	۲-۱۰-۳ ژئوترموبارومتری سنگهای آذرین
۱۲۷	۱۱-۳ پتروژنز سنگها
۱۲۷	۱-۱۱-۳ پتروژنز متاپریدوتیت ها
۱۲۸	۲-۱۱-۳ پتروژنز سنگهای آذرین دگرگون شده با ترکیب بازیک تا حدواسط
۱۳۱	۳-۱۱-۳ پتروژنز سنگهای آذرین
۱۳۴	۱۲-۳ بررسی تحولات دگرگونی و ماگمائی سنگها در کمپلکس تخت سلیمان
۱۳۴	۱-۱۲-۳ تحولات P-T دگرگونی در سنگهای متاولترامافیک
۱۳۵	۲-۱۲-۳ تحولات P-T دگرگونی در متابازیت ها
۱۳۶	۱۳-۳ سن سنجی ایزوتوپی
۱۳۶	۱-۱۳-۳ مقدمه
۱۳۶	۲-۱۳-۳ تبلور زیرکن در سنگها
۱۳۷	۳-۱۳-۳ سن سنجی ایزوتوپی U-Pb زیرکن در کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان
۱۳۷	۴-۱۳-۳ اصول سن سنجی U-Pb زیرکن و اهمیت سن سنجی U-Pb در زمین شناسی
۱۴۱	۵-۱۳-۳ تعیین سن ایزوتوپی (SHRIMP) U-Pb زیرکن در میگماتیت های مافیک تخت سلیمان
۱۴۱	۱-۵-۱۳-۳ آماده سازی نمونه ها و اندازه گیری ایزوتوپ های U-Pb زیرکن
۱۴۲	۲-۵-۱۳-۳ تفسیر داده های ایزوتوپی U-Pb در میگماتیت های مافیک تخت سلیمان
۱۴۶	۱۴-۳ پی سنگ آرکئن-پالئوپروتروزوئیک در ایران و سرزمین های مجاور
۱۴۸	۱۵-۳ ارتباط (؟) ژئودینامیکی پی سنگ آرکئن-پالئوپروتروزوئیک تخت سلیمان و خرده قاره ایران مرکزی
۱۴۹	۱۶-۳ بازسازی مدل تکتونیکی تحولات دگرگونی کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان
۱۵۲	نتیجه گیری
۱۵۷	منابع
	ضمیمه

فهرست جداول

- جدول ۱ مشخصات تکتونیکي اندازه گیری شده در انواع سنگهای دگرگونی منطقه تخت سلیمان. ۳۳
- جدول ۲ علائم اختصاری کانپها به استثناء علایمی که با * مشخص شده اند بقیه از [۱۳۳] است. ۳۶
- جدول ۳ مجموعه کانپهای تشکیل دهنده سنگهای آذرین منطقه تخت سلیمان. ۳۸
- جدول ۴ ترکیب مودال کانپهای تشکیل دهنده سنگ های آذرین منطقه تخت سلیمان. ۴۰
- جدول ۵ مجموعه کانپهای دگرگونی انواع متاولترامافیک های تخت سلیمان. ۴۲
- جدول ۶ محاسبه پارامترهای بلورشناسی پلی مورف های سرپانتین در متاولترامافیک های تخت سلیمان با استفاده از برنامه WIN-METRIC. ۴۶
- جدول ۷ مجموعه کانپهای دگرگونی انواع آمفیبولیت ها و گرانولیت های منطقه تخت سلیمان. ۵۹
- جدول ۸ مجموعه کانپهای دگرگونی در سنگهای شیست سبز منطقه تخت سلیمان. ۶۶
- جدول ۹ مجموعه کانپهای دگرگونی در سنگهای مرمر و کالک-سیلیکات منطقه تخت سلیمان. ۷۱
- جدول ۱۰ ترکیب مودال کانپهای تشکیل دهنده میگماتیت های مافیک تخت سلیمان. ۷۵
- جدول ۱۱ مجموعه کانپها و واکنش های دگرگونی در کالک-سیلیکات های تخت سلیمان. ۸۶
- جدول ۱۲ داده های تجزیه میکروپروب کانپهای معرف سنگهای آذرین منطقه تخت سلیمان. ۹۳
- جدول ۱۳ داده های تجزیه میکروپروب کانپهای معرف در متاپریدوتیت های منطقه تخت سلیمان. ۱۰۶
- جدول ۱۴ داده های تجزیه میکروپروب کانپهای معرف در آمفیبولیت های منطقه تخت سلیمان. ۱۰۷
- جدول ۱۵ داده های تجزیه میکروپروب کانپهای معرف در گرانولیت های منطقه تخت سلیمان. ۱۰۸
- جدول ۱۶ داده های تجزیه میکروپروب کانپهای معرف در کالک-سیلیکات های منطقه تخت سلیمان. ۱۱۲
- جدول ۱۷ نتایج محاسبات شرایط فشار و دما در گرانولیت های اولترامافیک و مافیک منطقه تخت سلیمان. ۱۲۰
- جدول ۱۸ تعیین کسر مولی و اکتیویته ایده آل کانپها برای فشار سنجی بر اساس [۱۴۹] ۱۲۲
- جدول ۱۹ شرایط فشار و دما محاسبه شده در آمفیبولیت های منطقه تخت سلیمان. ۱۲۵
- جدول ۲۰ شرایط دما و فشار تبلور در سنگهای آذرین. ۱۲۷
- جدول ۲۱ ترکیب عناصر اصلی و فرعی در متابازیت های تخت سلیمان. ۱۳۰
- جدول ۲۲ نیمه عمر ایزوتوپ های اصلی اورانیوم و توریوم. ۱۳۸
- جدول ۲۳ داده های ایزوتوبی و سنی U-Pb زیرکن در ملانوسوم و لوکوسوم میگماتیت های مافیک تخت سلیمان. ۱۵۱

فهرست شکل ها

- شکل ۱ نقشه ماهواره ای منطقه تخت سلیمان. ۱۳
- شکل ۲ نقشه مسیرهای دسترسی برای نمونه برداری سنگها (a) در شمال و شمال غرب منطقه. ۱۴
(b) در جنوب و جنوب شرق منطقه.
- شکل ۳ نقشه زمین شناسی منطقه تخت سلیمان. ۲۰
- شکل ۴ (a) موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی ساختاری [۹۳]. ۲۱
- (b) نقشه تکتونیکی خرده قاره ایران مرکزی و نقشه زمین شناسی منطقه ساغند ۲۲
- شکل ۵ (a) موقعیت نمونه برداری سنگها در شمال و شمال شرق منطقه. (b) در جنوب و جنوب شرق منطقه. ۲۶
- شکل ۶ (a) دورنمایی از برونزد سنگهای متااولترامافیک، آمفیبولیت و مرمر در نزدیکی روستای بنفشه دره سی. ۲۸
(b) برونزد سنگهای متااولترامافیک در کنتاکت با کالک-سیلیکات و مرمرها.
(c) تالک به ضخامت ۳ متر در داخل سرپانتینیت های شمال غرب روستای بگلو کندی؛
(d) لایه نازکی از تالک سفید رنگ در داخل سرپانتینیت های شمال غرب روستای بگلو کندی؛
(e) مگنزیت در اندازه چند میلی متر در داخل تالک؛
(f) تشکیل تالک در امتداد زون برشی در شمال غرب روستای بگلو کندی؛
(g, h) کانیهای شکل دار و درشت مگنتیت در داخل سرپانتینیت؛
(i) برونزد سنگهای متاپروکسنیت در نزدیکی روستای بنفشه دره سی؛
(j) تجمعی از کانیهای مگنتیت در سطح سنگهای دگرگون شده مرمر؛
(k) چین خوردگی سنگهای آمفیبولیت در مقیاس کوچک؛
(l) چین خوردگی آمفیبولیت در مقیاس سانتی متر؛
(m) آمفیبولیت با مقادیر کم هورنبلند (پارا-آمفیبولیت)؛
(n) آمفیبولیت غنی از هورنبلند با مقادیر بسیار کم پلاژیوکلاز؛
(o) گارنت آمفیبولیت.
(P) برونزد سنگهای گرانولیتی در شمال غرب قره ناز.
- شکل ۷ ساختارهای متانکسیت و دیاتکسیت در میگماتیت های قره ناز. (a) ساختار هتروژن که در آن لوکوسوم ۳۰
به موازات اجزاء میگماتیته تشکیل شده است؛
(b) میگماتیت با رگه های روشن لوکوسوم در داخل آمفیبولیت. ملانوسوم به صورت پراکنده در داخل
لوکوسوم مشاهده می شود (روستای قره ناز)؛
(c, d) ساختار شولن با قطعات شناور ملانوسوم در داخل لوکوسوم.
(e) ملانوسوم به صورت لایه بسیار نازک در اطراف مزوسوم؛
(f) ملانوسوم در اطراف لوکوسوم؛
(g, f) ساختار فولیاسیون در میگماتیته با جدایش لایه های غنی از هورنبلند.
(h) بافت پگماتیته در لوکوسوم با کانیهای پلاژیوکلاز و مگاکریست های هورنبلند.
- شکل ۸ نقشه تکتونیکی و سیستم گسلی منطقه تخت سلیمان. ۳۲
- شکل ۹ نمودار گل سرخی ساختارهای تکتونیکی اندازه گیری شده در سنگهای دگرگونی منطقه تخت سلیمان. ۳۳
- شکل ۱۰ ترکیب سنگهای آذرین منطقه مورد مطالعه در نمودار طبقه بندی [۲۴۱]. ۳۷
- شکل ۱۱ (a) بافت پوئیکلیتیک در دیوریت. اینکلوزن های فراوان از کانیهای کلینوپیروکسن داخل پلاژیوکلاز. PPL. ۳۹
طول میدان دید ۴/۸mm.
(b) تجزیه کلینوپیروکسن به اکتینولیت در حاشیه و در امتداد کلیواژ. PPL، طول میدان دید ۲/۴mm.
(c) تجزیه هورنبلند به اکتینولیت در گرانودیوریت. PPL، طول میدان دید ۲/۴mm.
(d) هورنبلند و پلاژیوکلاز با بافت گرانولار در گرانودیوریت. XPL، طول میدان دید ۲/۴mm.
(e) تیتانیت ثانویه حاصل از تجزیه شدگی آمفیبول. اپیدوت نسبتاً دانه ریز در تعادل بافتی با پلاژیوکلاز
در زمینه گرانولار تشکیل شده است. PPL، طول میدان دید ۲/۴mm.

- (f) بافت برشی در گرانودیوریت، XPL، طول میدان دید $1/2\text{mm}$.
- شکل ۱۲ پتروگرافی سنگهای متاولترامافیک. (a) تالک-سرپانتین شیبست با بافت غربالی متشکل از لیزاردیت در هسته و تالک در حاشیه، XPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (b) کریزوتیل و لیزاردیت در بافت غربالی. سودومورف، XPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (c) بافت غربالی در تالک-سرپانتین شیبست. هسته در بافت غربالی از کانی های تیره شکل دار و لیزاردیت تشکیل شده است، XPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (d) بافت نفوذی در سرپانتینیت، XPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (e) بافت مشبک در سرپانتینیت متشکل از کانیهای دانه ریز تیره در حواشی بافت غربالی، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (f) کلینوکلر، ترمولیت و آنتی گوریت در متاپریدوتیت، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (g) اسپینل در متاپریدوتیت، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (h) لیزاردیت و تالک به صورت اینکلوزن در داخل کانی تیره، PPL، طول میدان دید $1/2\text{mm}$.
- ۴۸ (i) جانشینی ترمولیت توسط اگرگاتهای دانه ریز لیزاردیت و کلسیت در متاپریدوتیت، PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (j) سودومورف سرپانتین با بافت غربالی متشکل از لیزاردیت تاخیری در هسته و آنتی گوریت در حاشیه بافت غربالی، PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (k) سنگ کلینوکلر به طور اصلی متشکل از کلینوکلر با بافت کریستالوبلاستیک، PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (l) سرپانتینیت برشی. آنتی گوریت اصلی ترین پلی مورف سرپانتین است که به شکل طویل شده به موازات زون برشی تشکیل شده است. کانی های تیره طویل شده و دارای فرم بودیناژ می باشند، PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (m) بافت برشی در سنگ های تالک-سرپانتین شیبست. طویل شدگی کانی های درشت مگنیزیت به موازات زون برشی، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (n) لیزاردیت تاخیری به صورت رگه ثانویه، پورفیروبلاست ترمولیت و آنتی گوریت در زمینه را قطع کرده است، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (o) ارتوپروکسن با کلیواژ خم شده در متاپریدوتیت، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (p) طویل شدگی کانی های تیره به موازات زون برشی، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- شکل ۱۳ خطوط پراکنش پلی مورف های در نمودار 2θ-I.
- شکل ۱۴ طیف سنجی Raman برای آنتی گوریت در نمونه (R18-d) و لیزاردیت در نمونه (R88-7).
- ۴۹
- شکل ۱۵ پتروگرافی گرانولیت ها. (a) اینکلوزن روتیل در داخل گارنت در گرانولیت مافیک. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (b) سیمپلکتیت پلاژیوکلاز و هورنبلند در گرانولیت مافیک. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (c) سیمپلکتیت هورنبلند، پلاژیوکلاز و اسپینل در اطراف پورفیروبلاست گارنت. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (d) بافت equigranoblastic در گرانولیت مافیک. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (e) حاشیه کلیفیت با کانیهای اسپینل و هورنبلند در اطراف پورفیروبلاست گارنت در گرانولیت اولترامافیک. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (f) سیمپلکتیت اسپینل در اطراف پورفیروبلاست گارنت. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (g) اینکلوزن اسپینل داخل هورنبلند که خود به صورت اینکلوزن داخل پورفیروبلاست گارنت است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (h) بقایای آمفیبول با رنگ سبز-آبی داخل هورنبلند سبز-قهوه ای. سیمپلکتیت های اسپینل در مرز بین کانیهای هورنبلند حاصل از مصرف کامل گارنت طی واکنش های دگرگونی پسروده است. PPL، طول میدان دید $1/2\text{mm}$.
- ۵۷
- شکل ۱۶ پتروگرافی آمفیبولیت ها. (a) بافت گرانوبلاستیک در آمفیبولیت، PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.

- (b) بافت تجمعی هورنبلند در آمفیبولیت. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (c) فولیاسیون چین خورده در اپیدوت-آمفیبولیت. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (d) فولیاسیون در آمفیبولیت. رنگ کانی های آمفیبول در فولیاسیون متفاوت از رنگ پورفایروبلاست های آمفیبول است. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (e) موسکویت به صورت پورفایروبلاست توسط کانی های آمفیبول در فولیاسیون احاطه شده است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (f) رنگ متفاوت هسته و حاشیه پورفایروبلاست گارنت. گارنت در هسته دارای اینکلوزن های بسیار ریز و فراوان اپیدوت است در صورتیکه بخش حاشیه دارای اینکلوزن های کوارتز نسبتاً دانه درشت است.
- (g) گارنت با بافت آتول در آمفیبولیت. گارنت در بخش میانی به کانیهای پلاژیوکلاز و زوئیزیت تجزیه شده است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (h) سیمپلکتیت هورنبلند و پلاژیوکلاز در اطراف پورفایروبلاست گارنت. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (i) پورفایروبلاست گارنت با حاشیه گرد در آمفیبولیت برشی. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- ۵۸ (j) اینکلوزن های کوارتز در حاشیه گارنت و کوارتز در هاله لوکوکراتیک اطراف پورفایروبلاست از گارنت تشکیل شده است. برخی از اینکلوزن های کوارتز دارای اینکلوزن های بسیار ریز هورنبلند می باشند. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (k) اینکلوزن های هورنبلند در داخل اینکلوزن های کوارتز در داخل گارنت. PPL، طول میدان دید $1/2\text{mm}$.
- (l) موسکویت، کیانیت و استارولیت در آمفیبولیت. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (m) گارنت شکل دار پورفایروبلاست در جهات مختلف بلوری نسبت به فولیاسیون. روند اینکلوزن های کوارتز در داخل گارنت متفاوت از فولیاسیون است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (n) کلینوپیروکسن و گارنت در آمفیبولیت. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- ۶۵ شکل ۱۷ پتروگرافی سنگهای شیبست سبز. (a) کانیهای آلبیت و کلریت در متابازیت. اپیدوت و کلسیت دانه ریز در زمینه کاملاً جانشین پورفایروبلاست پیشین شده اند. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (b) اکتینولیت شیبست. پورفایروبلاست اکتینولیت (Act_n) توسط کانیهای نسبتاً دانه ریز اکتینولیت (Act_{n+1}) احاطه شده است. رنگ پورفایروبلاست های اکتینولیت متفاوت از کانی های اکتینولیت در فولیاسیون است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (c) اکتینولیت شیبست با بافت برشی. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (d) اکتینولیت با بافت کریستالوبلاستیک در اکتینولیتیت. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- ۶۹ شکل ۱۸ پتروگرافی مرمرها و کالک-سیلیکات ها. (a) بافت گرانوبلاستیک دانه درشت در فلوگوپیت-اپیدوت مرم، نمونه R21-C. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (b) گارنت پسروده با بافت اسکلتی در حاشیه پلاژیوکلاز. بقایای گارنت اولیه به صورت اینکلوزن در داخل پلاژیوکلاز مشاهده می شود، نمونه R96-33. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (c) تجزیه شدگی گارنت اولیه به کلسیت و پلاژیوکلاز. بقایای گارنت اولیه به صورت اینکلوزن داخل پلاژیوکلاز حفظ شده است نمونه R96-33. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (d) تیتانیت ثانویه به صورت کرونا در اطراف اینکلوزن ایلمنیت در داخل گارنت تشکیل شده است. گارنت در حاشیه به کلسیت و پلاژیوکلاز تجزیه شده است. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (e) کانی های بی شکل الیوین در زمینه گرانوبلاستیک. کانی های فرومنیزین پیشین در کالک-سیلیکات های دما بالا کاملاً توسط ترمولیت پسروده جانشین شده است. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- (f) گارنت پورفایروبلاست به طور کامل توسط کانیهای جهت یافته کامینگتونیت احاطه شده است. PPL، طول میدان دید $4/8\text{mm}$.
- ۷۴ شکل ۱۹ پتروگرافی میگماتیت های مافیک. (a) بافت گرانولار در لوکوسوم متشکل از کانیهای کوارتز، پلاژیوکلاز و هورنبلند. کوارتز به صورت بین دانه ای مابین کانیهای پلاژیوکلاز را پر کرده است. XPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.
- (b) کوارتز با بافت بین دانه ای در لوکوسوم. XPL، طول میدان دید $1/25\text{mm}$.
- (c) کانیهای هورنبلند با بافت کریستالوبلاستیک در ملانوسوم. PPL، طول میدان دید $2/4\text{mm}$.

- (d) فولیاسیون در مزوسوم، PPL، طول میدان دید ۲/۴mm.
- ۷۵ شکل ۲۰ تصویر کاندولومینسانس زیرکن در لوکوسوم، ملانوسوم و مزوسوم میگماتیت های مافیک.
 (a) زیرکن در لوکوسوم، شکل دار، منشوری و نسبتاً دانه درشت است.
 (b) رشد دوباره زیرکن در اطراف کانیه های قبلی در لوکوسوم.
 (c) زیرکن در اندازه نسبتاً دانه درشت و اغلب نیمه شکل دار در ملانوسوم.
 خطوط روشن در ملانوسوم، کانیه های کلسیت حاصل از تجزیه هورنبلند را نشان می دهد.
 (d) زیرکن بی شکل و دانه ریز در مزوسوم.
- ۷۹ شکل ۲۱ نمایش ترکیب شیمیایی کانیه ها، روابط فازی و واکنش های دگرگونی در
 (a) متاپریدوتیت ها در سیستم شیمیایی $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ SAM.
 (b) گرانولیت های اولترامافیک در سیستم شیمیایی $(\pm\text{H}_2\text{O})$ SAM.
- ۸۳ شکل ۲۲ نمایش ترکیب شیمیایی کانیه ها، روابط فازی و واکنش های دگرگونی در
 (a) آمفیبولیت ها، سیستم $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ CAM.
 (b) گرانولیت های مافیک، سیستم $(\pm\text{H}_2\text{O})$ CSM.
- ۸۸ شکل ۲۳ ترکیب شیمیایی کانیه ها و واکنش های دگرگونی در انواع کالک-سیلیکات ها.
 (a) اسکاپولیت-کلینوپیروکسن-گارنت کالک-سیلیکات، سیستم $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ CAF.
 (b) کومینگتونیت-گارنت کالک-سیلیکات، سیستم $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ CAF.
 (c) کالک-سیلیکات های دارای الیوین، سیستم $(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ CAM.
- ۹۰ شکل ۲۴ تصاویر BSE در گرانولیت ها و آمفیبولیت های منطقه تخت سلیمان.
 (a) سیمپلکتیت پلاژیوکلاز و هورنبلند در اطراف پورفیروبلاست گارنت در گرانولیت مافیک.
 (b) پلاژیوکلاز و هورنبلند در زمینه گرانوبلاستیک همان نمونه.
 (c) هورنبلند در اطراف گارنت در گرانولیت اولترامافیک متفاوت از هورنبلند در بافت گرانوبلاستیک است.
 (d) هم رشدی پلاژیوکلاز و هورنبلند در اطراف گارنت در آمفیبولیت.
- ۹۱ شکل ۲۵ (a) ترکیب پلاژیوکلاز و (b) ترکیب آمفیبول در سنگ های آذرین تخت سلیمان.
- ۹۲ شکل ۲۶ ترکیب کانی های کلینوپیروکسن در سنگ های دیوریت (a) در نمودار Q در مقابل J،
 (b) نمودار Ca-Mg-Fe [۱۶۴] و ترکیب Ti بر اساس [۱۹] است.
- ۹۵ شکل ۲۷ (a) مقادیر MgO ، FeO ، Al_2O_3 و SiO_2 در ترکیب آنتی گوریت و لیزاردیت در متاپریدوتیت ها
- ۹۶ شکل ۲۸ (a) ترکیب کلریت. (b) ترکیب آمفیبول.
- ۹۶ شکل ۲۹ ترکیب کانیه های ارتوپیروکسن در نمودارهای Mg-Al^{IV} ، Mg-Al^{VI} ، Si-Al^{IV} و Si-Al^{VI} .
- ۹۷ شکل ۳۰ (a) ترکیب کانیه های اسپینل در نمودار Fe-Mg-(Mn+Zn) و Al-Cr-Fe^{3+} .
 (b) ترکیب الیوین های تجزیه شده در نمودار مثلثی Ca-Mg-Fe.
- ۹۸ شکل ۳۱ ترکیب آمفیبول در انواع آمفیبولیت ها (a) در نمودار طبقه بندی [۱۴۲].
 (b) در نمودار Na+K در مقابل Al^{IV} .
 (c)، (d) در نمودار Ti-Si و Ti-Al [۱۱۷].
- ۹۹ شکل ۳۲ ترکیب دیوپسید در آمفیبولیت ها (a) در نمودار En-Fs-Wo [۵۲].
 (b) ترکیب دیوپسید در نمودار Fe^{3+} در مقابل Al [۱۶۴].
- ۱۰۰ شکل ۳۳ (a)، (b)، (c) پروفیل ترکیبی گارنت در آمفیبولیت ها.
 (a) ترکیب گارنت دارای تغییرات تدریجی و پیوسته است. تغییرات ترکیبی ناگهانی و ناپیوسته
 در پروفیل گارنت در (c)، (b) الگوی پیچیده پروفیل در پورفیروبلاست گارنت احتمالاً جوش خوردگی
 (annealing) کانیه های گارنت کوچک تر دارای زونینگ را نشان می دهد.
 (d) ترکیب کانیه های گارنت تجزیه شده در آمفیبولیت ها در نمودار های مثلثی
 Prp-Alm-Sps و Prp-Grs-Sps .
 (e) ترکیب کانیه های پلاژیوکلاز تجزیه شده در آمفیبولیت ها.
- ۱۰۴ شکل ۳۴ (a) ترکیب اسپینل های تجزیه شده در گرانولیت ها در نمودار های مثلثی Fe-Mg-(Mn+Zn)

Al-Fe³⁺-Cr و

(b) نمایش ترکیب کانیهای گارنت تجزیه شده در گرانولیت های مافیک در نمودارهای مثلثی Prp-Alm-Sps و Prp-Grs-Sps

(c) پروفیل ترکیبی گارنت در گرانولیت مافیک.

(d) پروفیل ترکیبی گارنت در گرانولیت های اولترامافیک.

شکل ۳۵ (a) ترکیب کانیهای پلاژیوکلاز تجزیه شده در گرانولیت های مافیک در نمودار مثلثی An-Ab-Or

(b) ترکیب کانیهای آمفیبول در گرانولیت ها در نمودار طبقه بندی [۱۴۲].

(c), (d) ترکیب کانیهای آمفیبول در نمودار های Ti-Si و Ti-Al (نمودار [۱۱۷]).

شکل ۳۶ (a) ترکیب آمفیبول در کالک-سیلیکات ها در نمودار طبقه بندی [۱۴۱].

(b) مقادیر Na+K در مقابل Al^{IV} در ترکیب کانیهای آمفیبول تجزیه شده در کالک-سیلیکات ها

(c) (d) ترکیب کانیهای آمفیبول تجزیه شده به در نمودار Ti-Si و Ti-Al [۱۱۷].

شکل ۳۷ (a) ترکیب کانیهای اسکاپولیت در کالک-سیلیکات ها در نمودار ترکیبی K-Ca-Na

(b) ترکیب اسکاپولیت تجزیه شده در نمودار Cl/(Cl+CO₃) در مقابل Eq_{An%}

شکل ۳۸ (a), (b) ترکیب دیوپسید در کالک-سیلیکات ها در نمودار طبقه بندی [۵۲].

شکل ۳۹ (a), (b) ترکیب گارنت و پلاژیوکلاز در کالک-سیلیکات ها

شکل ۴۰ ترموبارومتري و تحولات P-T دگرگونی در متاپریدوتیت ها.

شکل ۴۱ ترموبارومتري و مسیر P-T در گرانولیت های اولترامافیک و گرانولیت های مافیک.

شکل ۴۲ ترموبارومتري و تحولات P-T دگرگونی در آمفیبولیت ها.

شکل ۴۳ ترموبارومتري و تحولات P-T تبلور ماگمائی و ساب سالدوس در سنگهای آذرین.

شکل ۴۴ ترکیب اسپینل و الیون در متاپریدوتیت های تخت سلیمان.

(a) (Cr*100)/(Cr+Al) و (Mg*100)/(Mg+Fe) [۵۴].

(b) (Mg/Mg+Fe) و (Cr/Cr+Al) در اسپینل [۴۱].

(c) نمودار Al₂O₃ (wt%) در مقابل Cr₂O₃ (wt%)

(d) مقدار Cr# در مقابل مقدار Mg# الیون در نمودار [۹].

شکل ۴۵ (a) ترکیب شیمی پروتولیت آمفیبولیت ها و اکتینولیت شیبست های تخت سلیمان

(b) نامگذاری سنگهای آذرین دگرگون شده با ترکیب بازیک تا حدواسط بر اساس طبقه بندی [۱۲۳].

(c) ترکیب پروتولیت آمفیبولیت ها و اکتینولیت شیبست های مورد مطالعه در نمودار عناصر فرعی

Nb/Y-Zr/TiO₂ [۲۷۸]. نمونه های تجزیه شده ویژگیهای کالک-آلکان نشان می دهند.

(d) ترکیب پروتولیت سنگهای آذرین دگرگون شده با ترکیب بازیک تا حدواسط در نمودار AFM

شکل ۴۶ (a) موقعیت تکتونیکی نمونه های معرف از سنگهای آمفیبولیت و اکتینولیت شیبست تجزیه شده در نمودار عناصر [۱۸۷].

(b) ویژگی قوس آتشفشانی (VAB) سنگهای آذرین دگرگون شده با ترکیب بازیک تا حدواسط

بر اساس نمودار عناصر فرعی [۱۸۶].

شکل ۴۷ طیف اسپکتروم کانیهای مگنتیت و ایلمنیت در گرانیتوئیدهای تخت سلیمان.

شکل ۴۸ فوگاسیته اکسیژن در توده های آذرین مورد مطالعه.

شکل ۴۹ ویژگی ساب-آلکان ماگمای تشکیل دهنده توده های آذرین منطقه مورد مطالعه

در نمودار SiO₂ (a) در مقابل Al₂O₃ (b) و Ti (a.p.f.u.) در مقابل Na+Ca (a.p.f.u.)

شکل ۵۰ تعیین محیط تکتونیکی توده های آذرین تخت سلیمان بر اساس ترکیب کلینوپیروکسن های

تجزیه شده در نمودارهای (a) TiO₂-MnO-Na₂O (wt%) و (b) F₁ در مقابل F₂.

شکل ۵۱ تصویر BSE زیرکن های تجزیه شده در لوکوسوم و ملانوسوم میگماتیت مافیک.

(a) زیرکن به ارث رسیده در ملانوسوم، باقیمانده از ذوب متابازیت است.

(b-i) کانیهای زیرکن جدید شکل دار تا نیمه شکل دار در لوکوسوم و ملانوسوم میگماتیت مافیک.

شکل منشوری برخی از کانیهای زیرکن از ویژگیهای شاخص زیرکن با منشاء تبلور از مذاب است.

- شکل ۵۲ (a) نمودار Th/U در مقابل داده های سنی زیرکن در ملانوسوم و لوکوسوم میگماتیت مافیک.
 (b) نمودار Th (ppm)-U(ppm) در ملانوسوم و لوکوسوم میگماتیت مافیک.
- شکل ۵۳ نمودار سنی هماهنگ U-Pb زیرکن لوکوسوم و ملانوسوم میگماتیت های مافیک.
 (a) نمودار $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ در مقابل $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$. تقاطع بالایی منحنی هماهنگ با خط ناهماهنگ سن تشکیل زیرکن در پروتولیت (۲۹۶۰ میلیون سال) و تقاطع پائینی تشکیل زیرکن در لوکوسوم میگماتیت مافیک را نشان می دهد (۲۴ میلیون سال).
 (b) داده های سنی (تصحیح نشده) زیرکن های جدید در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ زمان تشکیل زیرکن جدید در ملانوسوم و لوکوسوم را ۲۶ میلیون سال قبل تعیین می کند.
 (c) داده های سنی (تصحیح شده) زیرکن های جدید در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$.
 (d) نمودار $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ تقاطع پائین منحنی هماهنگ با خط هماهنگ سن کانیهای زیرکن جدید در لوکوسوم و ملانوسوم را نشان می دهد.
- شکل ۵۴ واحدهای اصلی زمین ساختی-رسوبی ایران بر اساس [۲۱].
 محدوده مشخص شده با خط چین مناطق پرکامبرین در خرده قاره ایران مرکزی (CEMI) و مناطق مجاور در زون ایران مرکزی (Central Iran Zone) را نشان می دهد.
- شکل ۵۵ موقعیت اقیانوس پالئوپروتوتتیس و سرزمین های گندوانائی در کامبرین پیشین.

منطقه تخت سلیمان در شمال شرق تکاب به دلیل دارا بودن ویژگیهای زمین شناسی پیچیده در تقسیم بندی های ارائه شده توسط محققان مختلف در زون های ساختاری متفاوتی در نظر گرفته شده است.

کمپلکس تخت سلیمان با تنوع بالایی از انواع سنگهای دگرگونی درجه بالا و متوسط شامل گرانولیت، آمفیبولیت، گنیس، میکاشیست، کالک-سیلیکات، مرمر، متاپریدوتیت و سنگهای دگرگونی درجه پائین متشکل از اسلیت، فیلیت و اکتینولیت شیست است. سنگهای متابازیک در درجه دگرگونی های بالا ذوب شده و میگماتیت های مافیک با منشاء آناکسی تشکیل شده است.

سن پروتولیت دگرگونی و نفوذ توده های آذرین در مجموعه دگرگونی تخت سلیمان تا به حال بطور دقیق مطالعه نشده است و سنین پرکامبرین-کامبرین نسبت داده شده به سنگهای دگرگونی بر اساس شدت دگرگونی، شواهد فسیلی، استراتیگرافی و پترولوژیکی ارائه شده است. اخیراً با استفاده از سن یابی زیرکن (U/Pb)، سن نفوذ پروتولیت گنیس های گرانیتی در منطقه ماه نشان به ۵۶۰ میلیون سال قبل نسبت داده شده است [۲۳۹].

سنگهای متابازیک و متاولترامافیک در تعیین تحولات P-T مناطق دگرگونی ناحیه ای و تکتونیک کمربندهای کوهزایی مهم بوده و برونزد این سنگها اغلب در ارتباط با فرایندهای تصادم پوسته ای تفسیر می شود. به دلیل نبود مطالعات پیشین در خصوص پترولوژی دگرگونی و پتروژنز سنگهای متابازیک و متاولترامافیک، سن پروتولیت در پوسته قاره ای منطقه و میگماتیزاسیون سنگهای متابازیک، بررسی موارد زیر به منظور رفع ابهامات زمین شناسی در کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان ضروری به نظر می رسد.

۱- تعیین روابط پتروگرافی، بافتی و شیمی کانی ها در سنگهای دگرگونی متاپریدوتیت، سرپانتینیت، گرانولیت، آمفیبولیت، کالک-سیلیکات و توده های آذرین.

۲- محاسبه حرارت و فشار تشکیل سنگهای دگرگونی و توده های نفوذی با استفاده از ترکیب شیمی کانی های تشکیل دهنده.

۳- تعیین منشاء میگماتیت های مافیک بر اساس شواهد ساختاری، سنگ شناسی و کانی شناسی.

۴- تعیین سن پروتولیت دگرگونی و میگماتیزاسیون سنگهای متابازیک در کمپلکس دگرگونی تخت سلیمان با استفاده از داده های ایزوتوپی U-Pb زیرکن.

۵- تعیین پتروژنز و محیط تکتونیکی پروتولیت سنگهای آذرین دگرگون شده با ترکیب بازیک تا حدواسط و سنگهای متاولترامافیک.

۶- بررسی تحولات P-T سنگهای دگرگونی متاپریدوتیت، گرانولیت و آمفیبولیت در پی سنگ آرکئن-پالئوپروتروئیک کمپلکس تخت سلیمان.

۷- بازسازی حوادث ژئودینامیکی^۱ و ارائه الگوی تکتونیکی مناسب برای تحولات پوسته ای منطقه تخت سلیمان.

فصل اول
بررسی منابع

۱-۱ پایه های نظری

۱-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای و فرایندهای دگرگونی

۱-۱-۱-۱ مقدمه

سنگهای دگرگونی ناحیه ای در هسته کمربندهای کوهزایی سراسر دنیا یافت می شوند. پروتولیت این سنگها با ترکیب ماسه سنگ، آهک، شیل و گریوک در حوضه های رسوبگذاری تشکیل می شود. سنگهای متابازیک میان لایه در داخل مجموعه دگرگونی های رسوبی (شیست، گنیس و آهک) حاصل فعالیتهاى ماگمایی مرتبط با فرایندهای کوهزایی می باشند. مهم ترین هدف از مطالعات دگرگونی بررسی تحولات پوسته ای به منظور بازسازی تکتونیک و ژئودینامیک پیشین زمین است.

"مطالعات دگرگونی کلید تحولات پوسته ای زمین است" [۲۳۵].

۱-۱-۲ دگرگونی ناحیه ای

دگرگونی های ناحیه ای معمولاً در کمربندهای دگرگونی حواشی صفحات تکتونیکی همگرا (convergent plate margin) تحت شرایط مختلف دما و فشار تشکیل می شوند. سه نوع اصلی دگرگونی ناحیه ای عبارتند از دگرگونی تدفینی (burial)، دگرگونی پشته های اقیانوسی (oceanic-ridge) و دگرگونی کوهزایی (orogenic metamorphism).

الف) دگرگونی تدفینی: دگرگونی تدفینی غیر کوهزایی بوده و در داخل صفحات بزرگ، حوضه های رسوبی نسبتاً آرام و حوضه های رسوبی اقیانوسی (حوضه های ژئوسنکلینال) تشکیل می شود. فشردگی سنگها به علت تدفین در زیر رسوبات بالایی حوضه های رسوبگذاری از عوامل این نوع دگرگونی است. فشار و دما دو فاکتور اصلی در تبلور دوباره سنگها در دگرگونی های تدفینی می باشند. تغییرات دما در طول ژئوترم دگرگونی تدفینی تقریباً ثابت بوده و فشارهای جهت دار نقش مهمی در دگرگونی این سنگها ندارند. معمولاً دگرگونی های مرتبط با کوهزایی های بعدی باعث از بین رفتن اثرات دگرگونی تدفینی اغلب سنگها می شوند.

ب) دگرگونی پشته های-اقیانوسی: قبل از سال ۱۹۶۰ چنین دگرگونی هایی ناشناخته بود. این واژه اولین بار توسط [۱۵۷] برای توصیف دگرگونی های مرتبط با پشته های میان اقیانوسی حاشیه صفحات و اگر استفاده شد. دگرگونی پشته های اقیانوسی به جریان حرارت بالا و چرخش سیالات در طول پشته های اقیانوسی نسبت داده می شود. بازالت های اقیانوسی دگرگون شده در رخساره های شیبست سبز و آمفیبولیت حاصل این نوع دگرگونی ها هستند. به دلیل اینکه پوسته جدید بطور مداوم در پشته اقیانوسی تولید می شود، سنگهای دگرگونی تشکیل شده بصورت پوسته جدید از پشته دور می شوند که این باعث تشکیل دگرگونی های پشته-اقیانوسی در کل پوسته اقیانوسی در مقیاس ناحیه ای می شود. برای تبدیل بازالت به شیبست سبز و آمفیبولیت چرخش هیدروترمال سیالات در پوسته اقیانوسی ضروری است.

ج) دگرگونی کوهزایی: این نوع دگرگونی معمولترین بوده و در جزایر قوسی (island arcs) و در قوس های قاره ای (continental arcs) مرتبط با حواشی صفحات همگرا در کمربندهای کوهزایی سراسر دنیا اتفاق می افتد. آشفستگی های حرارتی، تغییرات فشار و دگرشکلی سنگها به دلیل تاثیر فشارهای یک جانبه (deviatoric stress) همگی از مشخصه های مهم دگرگونی های کوهزایی می باشند. اصطلاح دگرگونی دیناموترمال به این علت برای دگرگونی کوهزایی بکار رفته است.