



دانشکده علوم طبیعی

گروه زمین شناسی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین شناسی

گرایش پترولوژی

عنوان

بررسی پتروگرافی و پترولوژی سنگهای دگرگونی و آمفیبولیت های منطقه ماکو،

جنوب عباس کندی، جنوب شرق سیه چشمه

استاد راهنما

دکتر رباب حاجی علی اوغلی

استاد مشاور

پروفسور محسن مؤذن

پژوهشگر

حمیده فخاری نژاد

بهمن ۸۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نام خانوادگی دانشجو: فخاری نژاد		نام: حمیده	
عنوان پایان نامه: بررسی پتروگرافی و پترولوژی سنگ های دگرگونی و آمفیبولیت های منطقه ماکو، جنوب عباس کندی، شمال شرق سیه چشمه			
استاد راهنما: دکتر رباب حاجی علی اوغلی			
استاد مشاور: پروفسور محسن مؤذن			
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: زمین شناسی	گرایش: پترولوژی	دانشگاه: تبریز
دانشکده: علوم طبیعی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۹/۱۱	تعداد صفحات: ۹۵	
کلید واژه‌ها: سنگ های دگرگونی، آمفیبولیت، پتروژنز، ترموبارومتري، عباس کندي، شمال شرق ايران			
چکیده			
<p>منطقه مورد مطالعه در جنوب روستای عباس کندی، جنوب شرق سیه چشمه در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این محدوده بین طول های جغرافیایی $30^{\circ} 44'$ تا $29^{\circ} 40' 44''$ شرقی و عرض جغرافیایی $39^{\circ} 00'$ تا $39^{\circ} 05'$ شمالی واقع شده است. این منطقه در تقسیم بندی های مختلف زونهای زمین شناسی ایران، در زون ایران مرکزی و زون آمیزه رنگین قرار گرفته است. کمپلکس دگرگونی افیولیت ماکو متشکل از انواع سنگهای دگرگونی متابازیت، متاولترامافیک، متاپلیت و مرمر است. سنگهای دگرگونی در رخساره شیست سبز تا آمفیبولیت و در طی دگرگونی ناحیه ای دگرگون شده اند.</p> <p>از نظر پترولوژی، سنگهای مورد مطالعه شامل طیف وسیعی از سنگهای دگرگونی مثل سنگهای اسلیت، میکاشیست، گنیس، مرمر، شیست سبز (آلبیت-اپیدوت-کلریت شیست و اکتینولیت شیست)، آمفیبولیت (گارنت آمفیبولیت، بیوتیت آمفیبولیت، اکتینولیت آمفیبولیت، اپیدوت-اکتینولیت-آمفیبولیت، آمفیبولیت های غنی از هورنبلند، آمفیبولیت های معمولی)، سنگهای متاولترابازیک (سرپانتینیت ها و متاپریدوتیت های سرپانتینیزه شده) با پروتولیت احتمالی لرزولیت/هارزبورژیت و سنگهای آذرین (گابرو/ادیوریت و میکروادیوریت) می باشد.</p> <p>مطالعات حرارت و فشار سنجی به منظور تخمین شرایط P-T تشکیل آمفیبولیت های منطقه مورد مطالعه انجام گردید و شرایط اوج دگرگونی پیشرونده در رخساره آمفیبولیت در دمای حدود ۶۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد و فشار حدود ۴ تا ۶ کیلو بار تعیین شد.</p> <p>مطالعات سنگ کل انجام شده برای آمفیبولیت های مورد مطالعه، نشان می دهد که پروتولیت این سنگها بازالت و متعلق به سری ماگمایی تولئیتی و به مقدار کمتر به سری ماگمایی کالک آلکالن می باشند. با توجه به اینکه ماگماهای جزایر قوسی می توانند اختصاصات سری ماگمایی تولئیتی و کالک آلکالن را به طور هم زمان دارا باشند، به احتمال زیاد جایگاه تکتونیکی آمفیبولیت های منطقه مورد مطالعه، متعلق به جزایر قوسی (IA) می باشد.</p> <p>بررسی نمودارهای REE که نسبت به کندریت نرمالیزه شده اند، الگوی نسبتاً مسطح عناصر REE این سنگ ها، نشان دهنده منشأ بازالت های تولئیتی قوس با غنی شدگی خیلی پایین LREE می باشد.</p> <p>حوضه ی خوی از نظر تقسیم بندی های زمین شناسی مشابه با افیولیت های منطقه ی ماکو و در ادامه ی آنهاست و تاکنون مدل های تکتونیکی مختلفی برای آن ارائه شده است. حوضه پشته های میان اقیانوسی MORB، حوضه ی پشت قوس سیالیک، جزیره ی قوسی و سپس مدل تکتونیکی سوپرا سابداکشن زون. بر اساس ژئوشیمی سنگ های متابازیت و نمودارهای تعیین محیط های تکتونیکی تشکیل این سنگ ها در محیط جزایر قوسی بسیار محتمل به نظر می رسد اما برای تعیین مدل تکتونوماگمایی دقیق کمپلکس ماکو نیاز به مطالعات بیشتر در خصوص مطالعات تکتونیکی و ژئوشیمی گارنت متاپریدوتیت ها در منطقه می باشد.</p>			

از خطبه های حضرت علی (ع) است در قدرت خداوند و خلقت زمین

از آثار اقتدار عظمتش، و شگفتی لطائف آفرینشش، اینکه زمین خشک را از آب دریای عمیق و متراکم که امواج درهم شکننده است به وجود آورد، سپس از آن آب طبقاتی آفرید، آن گاه هفت آسمان را بعد از آنکه به هم پیوسته بود از آن باز کرد، آسمانها به فرمان او خود را نگاه داشتند و براندازه ای که برای آنها مقرر فرموده بود برپا شدند، و زمینی را که آب روان سبزرنگ آن را حمل می کند و دریای مسخر شده آن را برمی دارد استوار و پابرجا نمود، دریایی که در برابر امرش خاکسار و در مقابل هیبتش تسلیم، و جریانش از خشیت او متوقف است. تخته سنگهای عظیم، و تپه های بلند و کوههای زمین را آفرید، و آنها را در جای خود ثابت نمود، و در قرارگاهشان مستقر کرد. قلّه کوهها در فضا بالا رفت، و ریشه آنها در آب قرار گرفت. کوهها را از زمینهای هموار برافراشت، و پایه های آن را در پشت اطراف زمین و مراکزی که برقرارند فرو برد، قله ها را بالا برد، و بلندیهای آن را طولانی نمود، و کوهها را ستون زمین ساخت، و چون یخ هایی بر آن کوبید، پس زمین متحرک ساکن شد از اینکه ساکنانش را به اضطراب اندازد، یا بار گراننش را در خود فرو برد، یا از جای خود منحرف شود. منزه است خداوندی که زمین را پس از موج زدن آبهای نگاه داشت، و آن را پس از رطوبت اطرافش خشک نمود، و آن را برای خلق خود بستر آرام، و فرش گسترده قرار داد، آن هم روی دریای عمیق ساکنی که بی جریان است، و ایستاده و بی حرکت می باشد، که بادهای سخت آن را زیر و رو و این سو و آن سو می کند، و ابرهای پر باران آن را به جنبش می آورد، «همانا در این آثار برای اهل خشیت عبرت و پند است.»

به پاس عشق ناب و پاک لحظه لحظه ی حضورشان
به پاس آفتاب مهرشان که هرگز کاستی نگیرد
به پاس گرمای امید بخش وجودشان در تار و پود وجود من
و به پاس تعبیر عظیم شان از کلمه ی گذشت و ایمان

این مجموعه را به پدر عزیز و نازنین مادرم تقدیم می کنم.

تشکر و سپاس

از خداوند مهربان سپاسگذارم و حمد و ستایشم را مخصوص او می گردانم که مرا در مسیر دانش نگاه داشت. از سرکار خانم دکتر حاجی علی اوغلی به خاطر هدایت و راهنمایی ارزنده و بی دریغشان در لحظه لحظه نگارش و تدوین این رساله کمال سپاس و تشکر را دارم و از خداوند منان خواستار سعادت و سربلندی استاد بزرگوار هستم.

از جناب آقای دکتر محسن مؤذن به خاطر مشاوره ی با درایت و نظرات ارزشمندشان در بهبود این رساله نهایت سپاس را دارم.

از جناب آقای دکتر مؤید که داوری این پایان نامه را به عهده گرفتند تشکر می کنم. از تمام اساتید و کارمندان دانشکده علوم طبیعی و همچنین از تمام دوستانم که در این راه مشوق و پشتیبان من بوده بوده اند سپاسگذارم.

و در آخر از خواهران و برادرم که همیشه حضورشان در خط مشی زندگی من مؤثر و مفید بوده است سپاسگذارم.

فهرست

I	فهرست مطالب
IV	فهرست جداول
	فهرست شکل ها
	IV
	مقدمه
	فصل اول: پایه های نظری و پیشینه پژوهش
۲	۱-۱ پایه های نظری
۲	۱-۱-۱ مقدمه
۲	۱-۱-۲ انواع دگرگونی
۲	۱-۲-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای
۳	- انواع دگرگونی ناحیه ای
۳	۲-۲-۱-۱ انواع رخساره های دگرگونی ناحیه ای
۳	a- رخساره ی شیست سبز
۴	b- رخساره ی آمفیبولیت
۴	c- رخساره ی گرانولیت
۴	d- رخساره ی اکلوزیت
۴	۳-۲-۱-۱ انواع سنگ های اصلی دگرگونی ناحیه ای
۵	a- سنگهای رسی و نیمه رسی (رسوبات پلیتی)
۵	b- سنگهای آهکی و کالک سیلیکات
۵	c- سنگهای بازیک
۶	d- سنگهای اولترامافیک
۶	d- سرپانتینیت ها
۷	۱-۱-۱ کلیاتی در مورد افیولیت ها
۷	۱-۳-۱-۱ تعریف افیولیت ها
۷	۲-۳-۱-۱ جایگزینی افیولیت ها
۹	۳-۳-۱-۱ آمیزه های رنگین ایران
۱۰	۴-۳-۱-۱ پراکندگی جغرافیایی و سن افیولیت های ایران

۱۰	۱-۱-۳-۵ مشخصات کلی افیولیت های ایران
۱۱	۱-۱-۳-۶ تقسیم بندی افیولیت های ایران
۱۱	۱-۲-۲ پیشینه ی پژوهش
۱۲	۱-۳-۳ اهداف رساله
فصل دوم: مواد و روشها	
۱۴	۱-۲ معرفی منطقه
۱۴	۱-۱-۲ موقعیت جغرافیایی
۱۵	۱-۲-۲ موقعیت جغرافیایی شهر ماکو
۱۶	۱-۳-۲ راههای ارتباطی
۱۷	۱-۲-۲ روش تحقیق
۱۷	۱-۲-۲ برداشت صحرایی
۱۸	۱-۲-۲ کارهای آزمایشگاهی
۱۸	۱-۲-۳ تفسیر داده های سیمی و تلفیق نتایج
فصل سوم: بحث و نتیجه گیری	
۲۰	۱-۳ زمین شناسی
۲۰	۱-۱-۳ زمین شناسی آذربایجان
۲۱	۱-۳-۲ زمین شناسی عمومی منطقه ماکو
۲۱	۱-۲-۱-۳ زمین ساخت و زمین شناسی ساختمانی منطقه ماکو
۲۲	۱-۳-۲-۲ گسل های منطقه ماکو
۲۳	۱-۳-۲-۳ چینه شناسی منطقه ماکو
۲۸	۱-۳-۲ مطالعات صحرایی
۳۷	۱-۳-۳ مطالعات پتروگرافی
۳۷	۱-۳-۳ سنگهای دگرگونی
۳۷	۱-۳-۳-۱ سنگهای دگرگون شده
۳۷	۱-۳-۳-۱-۱ اسلیت
۳۷	۱-۳-۳-۱-۱-۱-۱ مسکوویت-بیوتیت-شیست
۳۷	۱-۳-۳-۱-۱-۱-۱-۱-۱ آمفیبول-بیوتیت-شیست

۳۸	d-۱-۱-۳-۳ گنیس
۳۸	۲-۱-۳-۳ سنگهای آهکی دگرگون شده (مرمر)
۳۹	۳-۱-۳-۳ سنگهای دگرگون شده (متابازیک ها)
۳۹	۱-۳-۱-۳-۳ شیست سبز
۳۹	۲-۳-۱-۳-۳ آمفیبولیت ها
۳۹	a-۲-۳-۱-۳-۳ پارا آمفیبولیت
۴۰	b-۲-۳-۱-۳-۳ اورتو آمفیبولیت
۴۰	۱-۳-۳-۱-۳-۳ گارنت آمفیبولیت
۴۰	۲-۳-۳-۱-۳-۳ بیوتیت آمفیبولیت
۴۰	۳-۳-۳-۱-۳-۳ اکتینولیت آمفیبولیت
۴۱	۴-۳-۳-۱-۳-۳ اپیدوت - اکتینولیت - آمفیبولیت
۴۲	۵-۳-۳-۱-۳-۳ آمفیبولیت غنی از هورنبلند
۴۲	۶-۳-۳-۱-۳-۳ آمفیبولیت های معمولی
۴۳	۴-۱-۳-۳ سنگهای متاولترامافیک
۴۳	۱-۴-۱-۳-۳ سرپانتیت ها
۴۴	۲-۴-۱-۳-۳ متاپریدوتیت های سرپانتینیزه شده
۴۵	۱-۳-۳ پتروگرافی سنگهای آذرین
۴۵	a-۱-۳-۳ گابرو
۴۵	b-۱-۳-۳ دیوریت
۴۵	c-۱-۳-۳ میکرو دیوریت
۵۶	۴-۳ سیستم های شیمیایی و واکنشهای دگرگونی در سنگهای متابازیت
۵۷	۱-۴-۳ رخساره ی شیست سبز
۵۷	۲-۴-۳ رخساره ی آمفیبولیت
۶۰	۵-۳ حرارت و فشارسنجی با استفاده از واکنش های چندگانه و ترموکالک
۶۱	۶-۳ شیمی سنگ کل
	۱-۶-۳ تعیین ترکیب سنگ مادر و سری ما سنگهای آذرین اولیه آمفیبولیتها بر اساس داده های
۶۳	ژئوشیمیایی

۶۴	۳-۶-۲ بررسی نمودارهای تغییرات
۶۷	۳-۶-۳ بررسی محیط تکتونیکی تشکیل آمفیبولیت های ماکو
۷۱	۳-۶-۴ الگوهای عناصر خاکی کمیاب
۷۳	۳-۶-۵ دیاگرام های عنکبوتی یا چند عنصری بهنجار شده
۷۶	۳-۶-۶ مقایسه سنگ های متابازیک جنوب ماکو با سنگ های متابازیک مشابه
۷۸	۳-۷ بررسی مدل های تکتونیکی ارائه شده در رابطه با مجموعه های افیولیتی خوی
۸۳	۳-۸ نتیجه گیری

فهرست جداول

۴۶	جدول (۱-۳) مجموعه کانی های دگرگونی در سنگهای متاپلیتی جنوب عباس کندی
۴۶	جدول (۲-۳) مجموعه کانی های دگرگونی در شیست های سبز جنوب عباس کندی
۴۷	جدول (۳-۳) مجموعه کانی های دگرگونی در آمفیبولیت های جنوب عباس کندی
۴۸	جدول (۴-۳) مجموعه کانی های دگرگونی در متاپریدوتیت های سرپانتینیزه شده و سرپانتینیت ها
	جدول (۵-۳) نتایج تجزیه شیمیایی ۱۰ نمونه از سنگهای مورد مطالعه به روش ICP-MS
۶۲	برای عناصر فرعی و کمیاب

فهرست شکل ها

۱۴	شکل (۱-۲) نقشه ی واحدهای ساختاری ایران (Stocklin, 1968)
۱۵	شکل (۲-۲) واحدهای ساختاری ایران (آقانباتی، ۱۳۶۳) و موقعیت منطقه مورد مطالعه
	شکل (۲-۳) موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیم بندی واحدهای زمین ساختی - رسوبی ایران
۱۵	(نبوی، ۱۳۵۵)
۱۶	شکل (۴-۲) نمایی از شهر ماکو (دید به سمت شمال شرق)
۱۷	شکل (۵-۲) نقشه راههای ارتباطی منطقه مورد مطالعه
	شکل (۱-۳) نقشه گسل های منطقه مورد مطالعه، اقتباس از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ماکو، امینی آذر و عباسی
۲۳	(۱۳۸۲)
۲۴	شکل (۲-۳) نقشه زمین شناسی منطقه ی مورد مطالعه، اقتباس از امینی آذر و عباسی (۱۳۸۲)
۳۱	شکل (۳-۳):

a برونزد سنگهای آهکی دگرگون شده در ۱۰ کیلومتری جنوب روستای عباس کندی (دید به سمت شرق)

- b** برونزد سنگهای آهکی دگرگون شده و آمفیبولیتها (دید به سمت شرق)
- c** قرارگیری سنگ ای آهکی دگرگون شده بر روی آمفیبولیتها ی منطقه (دید به سمت شرق)
- d** برونزد آمفیبولیت ها در نزدیکی روستای عباس کندی (دید به سمت شرق)
- e** توالی سنگهای آهکی و آمفیبولیتها، در نزدیکی روستای عباس کندی (دید به سمت شرق)
- f** قرارگیری سنگهای آهکی دگرگون شده بر روی آمفیبولیت ها (دید به سمت شرق)

۳۲

شکل (۳-۴):

- a** برونزد سنگ های آهکی دگرگون شده در منطقه (دید به سمت شرق)
- b** چین خوردگی در سنگ های آهکی دگرگون شده در منطقه (دید به سمت شرق)
- c** آمفیبولیت های دگرسان شده با هوازدگی کم در سنگهای منطقه (دید به سمت شمال)
- d** هوازدگی شدید و توسعه ی زون آلتراسیون در سنگ های منطقه (دید به سمت شمال)
- f** سنگ های آهکی از بالا آلتزه و شسته شده و در میان سنگهای بازیک دگرگون شده قرار گرفته اند (دید به سمت شرق)

۳۳

شکل (۳-۵):

- a** لایه بندی سنگ های آمفیبولیتی و آهک دگرگون شده که با هم به صورت بین انگشتی قرار گرفته اند
- b** آمفیبولیت دارای بافت اولیه گابرویی دانه درشت با تجمعاتی از کانی های تیره
- c** چین خوردگی در آمفیبولیت های منطقه
- d** آمفیبولیت هایی که حالت پگماتینی دارند و چین خوردگی نشان میدهند
- e** بافت گابرویی باقی مانده در آمفیبولیت ها
- f** آمفیبولیت با کانی های درشت (دگرگونی یک گابروی پگماتیتی)

۳۴

شکل (۳-۶):

- a** رگه های سیلیسی در داخل آمفیبولیت
- b** تجمع کانی های تیره در داخل آمفیبولیت ها ی منطقه
- c** برونزد سنگ های فسیل دار در منطقه
- d** یک نمونه از فسیل مرجان در مسیر بین روستای قزخچلو و صونابولاغی
- e** شیل های گرافیت دار تیره رنگ
- f** گارنت پریدوتیت سرپانتینیزه شده

۳۵

شکل (۳-۷):

- a** روستای قولار، برونزد یک رگه سیلیسی حاوی اکسید آهن
- b** رگه سیلیسی در میان شیست ها (روستا و تپه های اطراف همه بر روی شیست ها قرار گرفته اند)

c برونزد شیست های گرافیتی در منطقه

d کالک سیلیکات در روستای آرکواين

e گنیس با بافت دانه درشت

f کنگلومرای آهکی در کنار روستای عرفات

شکل (۳-۸):

۳۶

a نمونه ای از کنگلومرا با سن جوان در منطقه قولار

b ماسه سنگ samitic (حاوی ژپیس)

c آثاری از کانی سازی مس (مالاکیت)

d آهک های قرمز رنگ آهنسازی شده

شکل (۳-۹):

۴۹

a یک سنگ اسلیتی حاوی بیوتیت و پلاژیوکلاز، حالت PPL.

b اکتینولیت شیست، دانه های ریز و کشیده اکتینولیت در پلاژیوکلاز، حالت PPL.

c گنیس، حاوی کانی های اصلی پلاژیوکلاز، مسکوویت و کوارتز می باشد، حالت XPL.

f گنیس، کوارتزها خاموشی موجی نشان میدهند، حالت XPL.

شکل (۳-۱۰):

۵۰

a بافت پورفیروگرانوبلاستیک در گنیس (پورفیرها پلاژیوکلاز و مسکوویت در زمینه ای دانه ریز

از پلاژیوکلاز و کوارتز، حالت PPL.

b بافت پورفیروگرانوبلاستیک در گنیس، حالت XPL.

c تیتانیت ها به موازات آمفیبول (ترمولیت/اکتینولیت) در سنگ پارامفیبولیت قرار گرفته اند،

حالت PPL.

d بیوتیت اولیه در سنگ پارامفیبولیت، حالت PPL.

e سنگ گارنت - آمفیبولیت حاوی گارنت و آمفیبول های بارویسیتی، حالت PPL.

f سنگ گارنت - آمفیبولیت، حالت XPL.

شکل (۳-۱۱):

۵۱

a بافت پورفیروگرانوبلاستیک در سنگ آمفیبولیت اکتینولیت دار، حالت PPL.

b بافت پورفیروگرانوبلاستیک در سنگ آمفیبولیت اکتینولیت دار، حالت PPL.

c سنگ آمفیبولیت اکتینولیت دار حاوی اپیدوت، حالت PPL.

d سنگ آمفیبولیت اکتینولیت دار حاوی اپیدوت، حالت XPL.

e تیتانیت ثانویه در اطراف ایلمنیت در اپیدوت- اکتینولیت- آمفیبولیت، حالت PPL.

f مجموعه ای از تیتانیت ها در سنگ آمفیبولیت غنی از آمفیبول (آمفیبول از نوع باروسیت). حالت PPL.

شکل (۳-۱۲): ۵۲

a آمفیبولیت های معمولی، حالت PPL.

b آمفیبولیت های معمولی، حالت XPL.

c بافت نماتوبلاستیک در آمفیبولیت های معمولی، حالت PPL.

d بافت نماتوبلاستیک در آمفیبولیت های معمولی، حالت XPL.

f, e تجزیه ی آمفیبول هورنبلند به ایلمینیت (تیتانیت ثانویه در اطراف ایلمینیت قرار گرفته

است) در آمفیبولیت معمولی، حالت PPL.

شکل (۳-۱۳): ۵۳

a بافت مشبک (mesh texture) در سرپانتینیت، حالت PPL.

b بافت مشبک در سرپانتینیت، حالت XPL.

c کانی کریزوتیل و لیزاردیت در سرپانتینیت، کانی لیزاردیت در اطراف کریزوتیل قرار دارد، حالت PPL.

d کانی کریزوتیل و لیزاردیت در سرپانتینیت، حالت XPL.

e کانی اپک در مرکز بافت مشبک در سرپانتینیت، حالت XPL.

f کلینوپیروکسن در سرپانتینیت که از اطراف به جاروسیت و اپک تجزیه شده و بافت دگرشکلی

مرتبط با گوشته (mantel deformation) را نشان میدهد، حالت PPL.

شکل (۳-۱۴): ۵۴

a کلینوپیروکسن در حال تجزیه به جاروسیت و اپک در سرپانتینیت، حالت PPL.

b ترمولیت های دسته جارویی در اطراف اسپینل ها، در متاپریدوتیت سرپانتینیره شده، حالت PPL.

c کانی های اسپینل ها حاوی بلورهای اپک در متاپریدوتیت سرپانتینیره شده، حالت PPL.

d کانی گارنت در متاپریدوتیت حاوی اسپینل هرسینیتی و دارای حاشیه ی کلیفیت.

(کلیفیت شامل ترمولیت/اکتینولیت می باشد.)، حالت XPL.

e مقطع نازک از متاپریدوتیت.

شکل (۳-۱۵): ۵۵

a سنگ لرزولیت/هارزبورژیت (مجموعه کانی ها شامل اسپینل، جاروسیت، ترمولیت/اکتینولیت

و گارنت می باشد. (گارنت به علت بزرگ بودن در شکل وجود ندارد.)، حالت PPL.

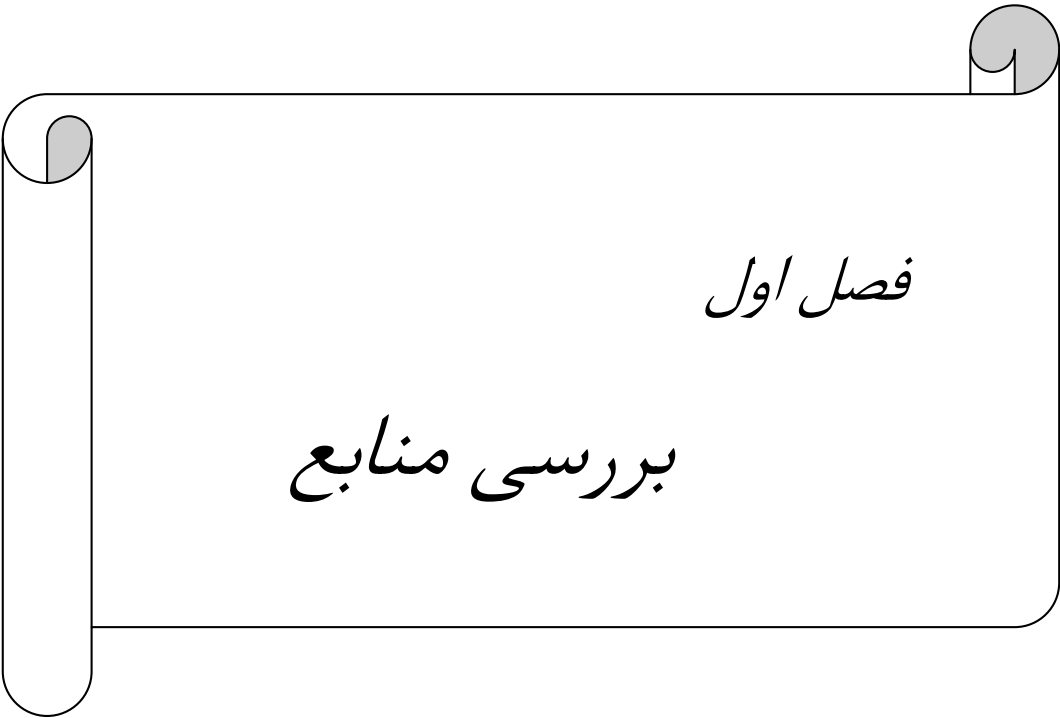
b, c سنگ گابرو (مجموعه کانی های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و اورتوپیروکسن)، حالت PPL.

e بافت سیمپلکتیک (کلریت + اکتینولیت) در یک گابروی دگرگون شده، حالت PPL.

f بافت سیمپلکتیک (کلریت + اکتینولیت) در یک گابروی دگرگون شده، حالت XPL.

شکل (۳-۱۶) ترکیب شیمیایی کانی ها، روابط فازی و واکنشهای دگرگونی در آمفیبولیت های منطقه ماکو. ۵۹

- شکل (۳-۱۷) ترموبارومتري در آمفیبوليت های منطقه ماکو
 شکل (۳-۱۸) نمودار Th در مقابل Co از Hastie, et al., 2007
 ۶۰
 ۶۳
 شکل (۳-۱۹):
 a نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb از Pearce. (1983)
 b نمودار Ta/Yb در مقابل Ce/Yb از Pearce. (1983)
 ۶۶
 شکل (۳-۲۰) نمودارهای تغييرات عناصر فرعی به Zr
 ۶۸
 شکل (۳-۲۱) نمودار Zr/Y در مقابل Zr از Pearce and Norry, (1979)
 ۶۹
 شکل (۳-۲۲):
 a نمودار متمایز کننده ی بازالت ها بر اساس Cr-Y (Pearce, 1982)
 b نمودار متمایز کننده بازالت ها بر اساس Cr-Ce/Sr (Pearce, 1982)
 c نمودار متمایز کننده بازالت ها بر اساس Hf/3, Th و Ta (Wood, 1980)
 d نمودار متمایز کننده بازالت ها بر اساس Hf/3, Th و Nb/16 (Wood, 1980)
 e نمودار متمایز کننده بازالت ها بر اساس Th, Nb/16 و Zr/117 (Wood, 1980)
 f نمودار متمایز کننده بازالت ها بر اساس Y و 2Nb, Zr/4 (Mesched, 1986)
 ۷۱
 شکل (۳-۲۳):
 a الگوئی از مقایسه محیطهای تکتونیکی براساس سری سنگهای آتشفشانی (Miyashiro, 1974)
 b الگوی اصلاح شده محیطهای تکتونیکی براساس سری سنگهای آتشفشانی
 (Pearce and Robinson, 2009)
 ۷۳
 شکل (۳-۲۴) نمودار بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynnton, 1984)
 ۷۴
 شکل (۳-۲۵) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت (Thompson et al., 1984)
 ۷۵
 شکل (۳-۲۶) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به MORB (Pearce, 1983)
 ۷۶
 شکل (۳-۲۷) مقایسه سنگ های متابازیک جنوب ماکو با سنگ های متابازیک مشابه.
 a الگوهای REE (Boynnton, 1984)
 b نمودار عنکبوتی بهنجار شده به MORB (Pearce, 1982)
 شکل (۳-۲۸) مقایسه سنگ های متابازیک جنوب ماکو با افیولیت ملائزهای آنکارا (Tankut, 1990)
 ۷۷
 شکل (۳-۲۹) گسترش پوسته اقیانوسی قدیمی بین صفحه های ایران، عربی، ترکیه و قفقاز کوچک
 ۷۹
 (Forster, 1978)



فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ پایه های نظری

۱-۱-۱ مقدمه

دگرگونی فرایندی است که به بروز تغییراتی در کانی شناسی و ساختار یک سنگ منجر می شود. این تغییرات در حالت جامد بدون اینکه ذوب قابل توجهی صورت گیرد در بخش های عمیق پوسته و یا گوشته کره ی زمین صورت می پذیرد. مهمترین هدف از مطالعات دگرگونی بررسی تحولات پوسته ای به منظور بازسازی تکتونیک و ژئودینامیک پیشین زمین است.

براساس موقعیت زمین شناسی و تکتونیکی، دگرگونیهای دارای گسترش موضعی یا ناحیه ای را میتوان از هم تفکیک کرد.

۱-۱-۲ انواع دگرگونی

دگرگونی دارای گسترش ناحیه ای شامل دگرگونی کوهزایی، دگرگونی بستر اقیانوسی و دگرگونی تدفینی است. دگرگونی دارای گسترش موضعی شامل دگرگونی مجاورتی، دگرگونی کاتاکلاستیک، دگرگونی برخوردی یا ضربه ای و دگرگونی گرمایی می باشد.

۱-۲-۱-۱ دگرگونی ناحیه ای

این دگرگونی زمانی صورت میگیرد که درجه حرارت پوسته ی قاره ای زمین در مقیاس ناحیه ای افزایش یابد که این افزایش حرارت در محیطهای مختلف تکتونیکی به دلایل مختلف صورت می پذیرد و توسط عوامل متعددی کنترل می شود. برخی از این عوامل عبارتند از ضخامت و ترکیب پوسته ی زمین، مقدار و چگونگی توزیع عناصر رادیواکتیو، جریان گرمایی گوشته به پوسته ی زمین، هدایت حرارتی سنگها، نرخ فرسایش و...

دگرگونی ناحیه ای درهسته ی کمرندهای کوهزایی سراسر دنیا یافت می شود و برخلاف دگرگونی مجاورتی با حرکت و دگرشکلی همراه است.

دگرگونی ناحیه ای ترکیبی از فرایندهای درشت شدگی، تشکیل کانیههای دگرگونی جدید، آناکسی و دگرشکلی است.

دگرگونی ناحیه ای در مناطق زیر تشکیل می شود:

الف- مناطق قوس-درازگودال اقیانوسی: بعضی از حاشیه های فعال قاره ای دارای پوسته ی قاره ای بسیار ضخیمی هستند که باعث می شود گرمای رادیوژنیک زیادی در آنها تمرکز پیدا کند که این امر باعث هجوم گسترده ی ماگما می شود. این افزایش دمای پوسته باعث دگرگونی ناحیه ای می شود.

ب- مناطق برخورد قاره ای: معمولاً چین خوردگی ها، رورانگی و سایر فرایندهای مکانیکی ناشی از برخورد قاره

ای ضخامت پوسته را افزایش می دهد که این امر موجب تجمع گرمای ناشی از وجود مواد رادیواکتیو شده و دمای سنگ افزایش می یابد و باعث تبلور دگرگونی در اعماق می شود.

ج- مناطق گسترش یا بازشدگی لیتوسفر: صعود مواد آستنوسفری دما بالا و به دنبال آن تولید و صعود ماگماها در گوشته و پوسته عامل دگرگونی ناحیه ای است.

- انواع دگرگونی ناحیه ای

a- دگرگونی کوهزایی: این دگرگونی معمولترین نوع دگرگونی بوده و در جزایر قوسی (Island arc) و در قوس های قاره ای (continental arcs) مرتبط با حواشی صفحات همگرا در کمربندهای کوهزایی سراسر دنیا اتفاق می افتد. آشفته گی های حرارتی، تغییرات فشار و دگرشکلی سنگها به دلیل تأثیر 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. این دگرگونی مشخصه ی نوارهایی است که در آنها کوهزایی با دگرشکلی و تبلور همراه است. فابریک در این دگرگونی با جهت یافتگی ترجیحی کانیها همراه است.

b- دگرگونی تدفینی: دگرگونی ناحیه ای دما پایین که رسوبات و سنگهای آتشفشانی بین لایه ای موجود در گودال فرورانشی را تحت تأثیر قرار می دهند و بدور از هر گونه تأثیر کوهزایی یا نفوذی می باشد. این سنگها فاقد شیبستوزیته هستند و این بدین معنی است که فابریکهای سنگهای اولیه تا حد زیادی حفظ گردیده است. تغییرات کانی شناسی معمولاً ناقص است به طوری که مجموعه های کانی شناسی تازه تشکیل شده در نهایت با بقایا و آثار کانی های باقیمانده سنگهای اولیه همراه می باشند.

c- دگرگونی بستر اقیانوسی: که در پیرامون پشته های میان اقیانوسی انجام می گیرد از ویژگی های این دگرگونی رگه دار شدن گسترده و فراوان در آنهاست که در نتیجه ی چرخش همرفتی مقادیر زیادی آب داغ در درون شکستگی ها حاصل گردیده است. این سنگها فاقد شیبستوزیته هستند.

۱-۲-۲-۱ انواع رخساره های دگرگونی ناحیه ای

a- رخساره ی شیبست سبز: شیبست سبز سنگ بازیک دگرگون شده ای است که عموماً حاوی مجموعه ی کانی شناسی اکتینولیت + کلریت + اپیدوت + آلبیت + کوارتز می باشد.

این رخساره معرف دگرگونی ناحیه ای ضعیف است و با مجموعه کانی های سبز رنگ و غالباً آبدار مشخص می شود. مجموعه کانی های رخساره شیبست سبز در سنگهای بازیک شامل آلبیت + اپیدوت + کلریت + اکتینوت + کوارتز می باشد.

مجموعه کانی های رخساره شست سبز در سنگهای پلیتی شامل کلریت + میکای سفید + بیوتیت + کلریتوئید + کوارتز است.

زونهای باروین کلریت، بیوتیت و گارنت در سنگهای رسی به این رخساره تعلق دارند.

b- رخساره ی آمفیبولیت: آمفیبولیت سنگ بازیک دگرگون شده ای است که حاوی پلاژیوکلاز + هورنبلند + کوارتز + گارنت + کلینوپیروکسن می باشد.

کانی های پلاژیوکلاز و هورنبلند حجم عمده ی کانی ها سازنده ی آمفیبولیتها را به خود اختصاص می دهند. سایر کانیها از قبیل کوارتز، اپیدوت، مسکوویت، بیوتیت، گارنت و کلینوپیروکسن که می توانند در آمفیبولیتها حضور داشته باشند.

در آمفیبولیتها غالباً تغییرات کانی شناسی از طریق واکنشهایی صورت می گیرند که در طیف دما-فشار گسترده ای به طور پیوسته انجام می شوند. تأثیر عمده ی این واکنشهای پیوسته در تغییرات منظم ترکیب دو کانی اصلی هورنبلند و پلاژیوکلاز قابل مشاهده می باشد. همچنین این واکنشهای پیوسته سبب می گردند که مقدار مودال کانی های اپیدوت و کلینوزوئزیت کاهش یابد و سرانجام محو گردند. همینطور در سنگهای رسی مسکوویت باقی مانده از رخساره ی شایست سبز به تدریج از بین می رود. گارنت پایدار می ماند و به سمت درجات بالاتر دگرگونی، مقدار مودال آن از مقدار بیشتری برخوردار می گردد. در دماهای بالاتر کلینوپیروکسن ظاهر می شود. زونهای باروین استارولیت، کیانیت و سیلیمانیت در سنگهای رسی به این رخساره تعلق دارند.

c- رخساره ی گرانولیت: این رخساره شامل مجموعه کانیهایی است که شدیداً آب از دست داده اند و در بیشترین دمای دگرگونی کوهزایی تشکیل گردیده اند. در این رخساره هورنبلند موجود در سنگهای بازیک دگرگون شده (متابازیت ها) توسط ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن جایگزین می گردد و به همین دلیل گاهی اوقات به این رخساره، رخساره ی دو پیروکسنی می گویند.

چون سنگهای این رخساره شدیداً آب از دست داده اند در نتیجه باید تحت اکتیویته ی پایین آب تشکیل شده باشند. پایین بودن اکتیویته ی آب می تواند به دلیل کم بودن آب و یا رقیق شدن آب توسط CO_2 باشد (Bucher and Fery, 1994).

d- رخساره ی اکلوزیت: این رخساره مختص فشارهای زیاد است و از دگرگونی سنگهای بازیک و یا سایر انواع سنگها بوجود می آید. این رخساره در اعماق پوسته ی قاره ای ظاهر می شود و در سنگ های بازیک شامل کانیهای گارنت منیزیم دار، امفاسیت، روتیل و کیانیت است.

۱-۲-۳ انواع سنگهای اصلی دگرگونی ناحیه ای

دگرگونی سنگها علاوه بر تغییرات فشار و دما به طور شدید وابسته به ترکیب شیمیایی آنهاست (کانیهای مختلف در سنگهایی با ترکیب شیمیایی متفاوت تشکیل می شوند).

این سنگها به انواع زیر تقسیم می شوند:

a- سنگهای رسی و نیمه رسی (رسوبات پلیتی)

سنگهای پلیتی شامل گلسنگ ها و شیل می باشند. پس از دگرگونی اولیه کلیه این سنگهای رسوبی در مجموع آرژیلیت نامیده می شوند. متاپلیت ها سنگهایی هستند که از رسوبات غنی از رس تشکیل شده اند. گلسنگهایی که دارای مقدار فراوانی سیلت (سیلتستون) و مقدار کمتری رس باشد به سنگهای دگرگونی معادلی تبدیل می شوند که از کانی های شاخص و مجموعه های کانی شناسی کمتری برخوردارند که به آنها نیمه رسی (semi politic) می گویند.

ترکیب شیمیایی این دسته از سنگها شامل مقدار خیلی زیاد آلومینیوم و حدود ۱۰ درصد وزنی مقدار آهن است. منیزیم نیز به مقدار قابل ملاحظه ای وجود دارد ولی CaO فوق العاده کم است. میزان آب پلیتها زیاد است. این سنگها در برابر تغییرات دما و فشار بسیار حساس بوده و به علت تشکیل کانیهای دگرگونی متعدد نمایانگرهای خوبی از تحولات دگرگونی در مناطق پوسته ای می باشند.

b- سنگهای آهکی و کالک سیلیکات

با اینکه این سنگها تنها کسر خیلی کوچک از پوسته را تشکیل می دهند اما به علت اینکه اطلاعات مهمی از ترکیب فاز سیال و شرایط P-T دگرگونی را ثبت می کنند در مطالعات دگرگونی از جایگاه ویژه ای برخوردارند. سنگهای کالک سیلیکات دارای فازهای سیال CO_2 و H_2O حاصل از فرایندهای دگرگونی پیشرونده بوده که این ویژگی آنها متفاوت از دگرگونی سنگهای رسی با تنها فاز سیال H_2O است.

c- سنگهای بازیک

سنگهای دگرگونی با ترکیب متوسط تا بازیک، اصلی ترین سنگهای تشکیل دهنده کمربندهای کوهزایی می باشند. همچنین بخش عمده ای از پوسته اقیانوس را تشکیل می دهند و غالباً به نظر می رسد که بلافاصله پس از تشکیل در پشته های درحال گسترش در معرض دگرگونی بستر اقیانوسی قرار می گیرند. وقتی که این سنگها به حاشیه ی مخربی انتقال می یابند در محل تماس ورقه های همگرا یا نزدیک به آن تبلور مجددی را متحمل می شوند. این سنگها از نظر کانی شناسی تغییرات کمتری نسبت به دیگر سنگهای دگرگونی از خود نشان می دهند و بسته به تغییرات درجه حرارت و فشار گروه های سنگی مختلفی مانند شیستهای بازیک، آمفیبولیتها، اکلویتها و گرانولیتها را به وجود می آورند.

این سنگها در مقایسه با متاپلیتها حساسیت کمتری نسبت به دما و فشار از خود نشان می دهند، از این رو زونهای شناسایی شده از نظر شرایط تشکیل دامنه ی گسترده ای دارند.

در این سنگها توزیع کانی شناسی متنوع نیست که این به علت شدت تشکیل محلول جامد در این سنگهاست، این امر باعث ایجاد ایزوگراد کمتری می شود.

ترکیب شیمیایی سنگهای مافیک با CaO , MgO , Al_2O_3 , FeO , H_2O و SiO_2 و یا با سیستم CFMASH مشخص می شوند.

مطالعه ی سنگهای بازیک در تعیین تحولات P-T مناطق دگرگونی ناحیه ای مهم است.

d- سنگهای اولترامافیک

گوشته زمین عموماً از سنگهای اولترامافیک تشکیل شده است. در مقیاس کلی کره ی زمین، سنگهای دگرگونی اولترامافیک بیشترین حجم سنگها را در بر می گیرند. سنگهای اولترامافیک به علت وقوع کنوکسیون بزرگ مقیاس در گوشته و انجام فرایندهای تکتونیکی در لیتوسفر تبلور مجدد پیوسته ای را متحمل می شوند. بنابراین بخش اعظم سنگهای گوشته ای به صورت سنگهای دگرگونی می باشند.

در طی کوهزایی قطعات یا بخشهایی از گوشته به کمک فرایندهای تکتونیکی در پوسته استقرار می یابد که در نتیجه ی رخنمون های آن در سطح قابل مشاهده است. چنین قطعات گوشته ای اولترامافیک به عنوان پریدوتیت های نوع آلی نامیده می شوند.

دو نوع اصلی از قطعات گوشته ای موجود در پوسته عبارتند از:

قطعات متعلق به گوشته ی واقع در زیر پوسته ی اقیانوسی که اعضای کاملی از توالی های افیولیتی را تشکیل می دهند و اغلب دارای ترکیب کلی لرزولیتی می باشند.

قطعات متعلق به گوشته ی واقع در زیر قاره ها که همراه با مجموعه های سنگی بارز پوسته ی قاره ای یافت می شوند. این قطعات معمولاً دارای ترکیب هارزبورژیتی (با دونیتی) می باشند.

ترکیب شیمیایی سنگهای اولترامافیک معمولاً ساده بوده و متشکل از FeO , MgO , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 $\pm (\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2)$ است.

نسبت MgO/SiO_2 در سنگهای اولترامافیک بسیار بالاست و کانیهای بی آب عمده در اولترامافیک ها شامل الیون، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن می باشد.

سنگهای اولترامافیک در شرایط حضور H_2O و CO_2 به سرپانتینیت ها و تالک شایسته های کربنات دار دگرگون می شوند (Bucher and Frey, 1994).

e- سرپانتینیت ها

سرپانتینیت ها با هیدراسیون سنگهای اولترامافیک و مافیک در محیط های مختلف تکتونیکی بوجود می آیند از جمله در حاشیه ی واگرا در طول پشته های میان اقیانوسی (پریدوتیت های نوع Abyssal) و همچنین در حاشیه ی همگرا که سرپانتینیزاسیون گوه ی گوشته ای در حاشیه ی همگرای فعال در اثر واکنش با سیالات آزاد شده توسط صفحات فرورانش می باشد (پریدوتیت های نوع آلی).

یکی از مهمترین تأثیرات سرپانتینیزاسیون کامل، افزایش حجم سنگ پریدوتیتی تا ۴۰٪ می باشد که باعث افزایش تغییرشکل در سنگ شده و نقش مهمی در تشکیل گسل های مجزا و کششی در طول صفحات گسلی سرپانتینی شده دارد.