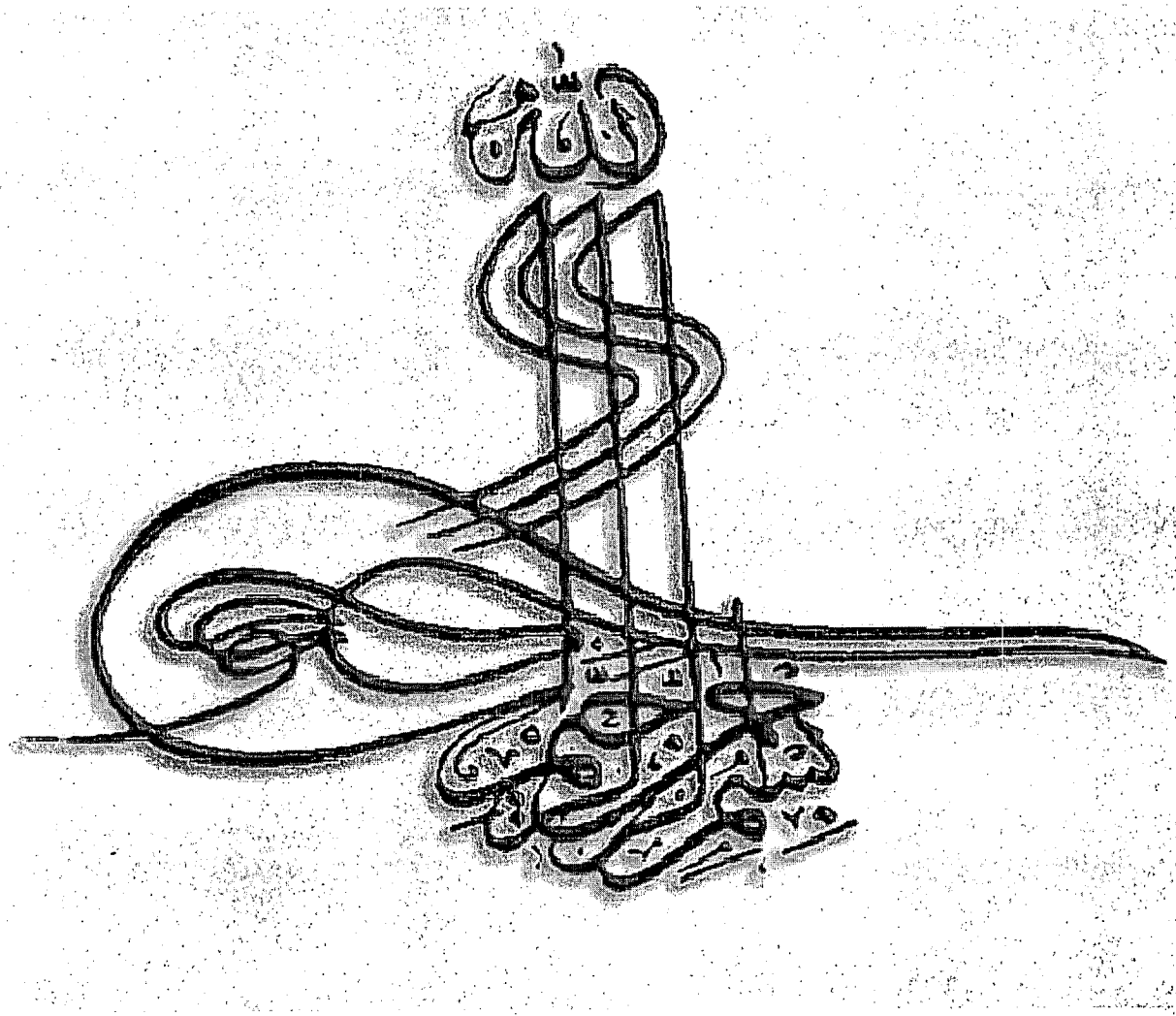


١٤٥٧٩٨-٢٠١٨٦١١

دانشگاه تبریز
دانشکده علوم طبیعی
گروه زمین شناسی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی در گرایش پترولوژی

عنوان

بررسی پترولوژی سنگ‌های دگرگونی کالک– سیلیکات و متابازیک مناطق نی‌باغی و سیاه منصور در شمال شرق میانه

استاد راهنما

دکتر محسن مؤذن

اساتید مشاور

دکتر رباب حاجی علی اوغلی

دکتر آندریاس مولر (دانشگاه کانزاس– آمریکا)

پژوهشگر

گل‌نساء پورحاتمی

تیرماه ۸۹

۱۳۸۹/۹/ ۳

۱۴۵۷۹۸

خداوندا

تقدیرم را زیبا بنویس

آنچه را تو دیر می‌خواهی

من زود نخواهم

و

آنچه که تو زود می‌خواهی

من دیر نخواهم

تقدیم به روح پاک پدر دلسوز و مادر فداکارم

تقدیر و تشکر

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر مؤذن کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم که با نهایت صبر و دانائی مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند و از خداوند منان برای ایشان آرزوی سلامت و سعادتمندی را خواستارم. همچنین از استاد محترم سرکار خانم دکتر حاجی علی اوغلی به پاس زحمات بی‌دریغ‌شان در انجام این پایان‌نامه کمال تقدیر و تشکر، و آرزوی توفیق و سعادتمندی را دارم.

در پایان از تمامی عزیزانی که به نوعی مرا در انجام این پایان‌نامه کمک کردند و اسمی از آنها برده نشده متشکرم و برای همه آنها آرزوی سربلندی و سعادت دارم.

نام خانوادگی: پورحاتمی	**نام:** گل نساء
عنوان پایان نامه: بررسی پترولوژی سنگهای دگرگونی آهکی و متابازیک منطقه ی نی باغی و سیاه منصور در شمال شرق میانه	
استاد راهنما: دکتر محسن مؤذن **اساتید مشاور:** دکتر رباب حاجی علی اوغلی- دکتر آندریاس مولر	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** زمین شناسی **گرایش:** پترولوژی **دانشگاه:** تبریز	
دانشکده: علوم طبیعی **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۸۹/۰۴/۱۵ **تعداد صفحه:** ۸۷	
کلید واژه ها : میانه، کالک- سیلیکات، متابازیک، فورستریت، مرمر، کالک- آلکالن	

چکیده:

منطقه‌ی مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و در شمال شرق میانه واقع شده است. این محدوده با مختصات (UTM)، X=754000 تا X=762000 طول شرقی و Y=4176000 تا Y=4190000 عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه در تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری و رسوبی ایران در زون البرز- آذربایجان قرار دارد.

منطقه‌ی مورد مطالعه دارای تنوع لیتولوژیکی زیادی بوده و دارای انواع سنگ‌های دگرگونی، آذرین، رسوبی و آذرآواری می‌باشد که قدیمی‌ترین تشکیلات از سنگ‌های دگرگونی شیست و مرمر تشکیل شده‌اند. در مطالعات ژئوشیمیائی نمونه‌های متابازیک نوع پروتولیت آذرین، ماگمای مادراولیه و محیط تکتونیکی بررسی شد. بر اساس دیاگرام‌های تعیین سری ماگمائی، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی سری ماگمائی آلکالن تا کالک آلکالن با مقدارپتاسیم متوسط قرار می‌گیرند. این تحول ماگمائی ممکن است در طی تکامل شکستگی‌ها در زون ریفتی و کاهش فشار بر روی گوشته فوقانی رخ داده باشد.

مرمرهای منطقه‌ی مورد مطالعه دارای کانی فورستریت به عنوان کانی اصلی به همراه کلسیت و دولومیت می‌باشد. فورستریت در مرمرهای مورد مطالعه در گستره‌ی معینی از دما و XCO_2 تشکیل شده است. منحنی‌های واکنشی احتمالی در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند که میزان XCO_2 سیال تأثیر قابل توجهی بر روی دمای تشکیل کانی فورستریت در مرمرها دارد همچنین پاراژنزهای اصلی در نمونه های مرمر و کالک سیلیکات مطالعه شده در مقاطع میکروسکوپی تعیین شد. این در حالی است که به دلیل نزدیکی محل نمونه برداری ها این زون بندی در محل نمونه برداری ها قابل مشاهده نیست. اما بر اساس شواهد میکروسکوپی این زون‌بندی صورت گرفت.

مقدمه

فرآیندهای دگرگونی بر تمام سنگ‌های پوسته زمین اثر گذار است. از آنجائی‌که مشاهده‌ی مستقیم این فرآیندها به ندرت امکان‌پذیر است، از این رو اعم مطالعات بر مبنای مطالعات پتروگرافی و نتایج حاصل از تجزیه شیمیائی نمونه‌های مورد مطالعه استوار است. در این پایان‌نامه سعی شده است با توصیف مجموعه کانی‌ها ی موجود در مقاطع تهیه شده از سنگ‌های دگرگونی آهکی و متابازیک مورد مطالعه و بررسی نتایج حاصل از تجزیه شیمیائی نمونه های متابازیک، فرآیندهای دگرگونی مؤثر و ارتباط پترولوژیکی کانی‌ها با هم و همچنین الگوی مناسب برای تکوین این سنگ‌ها در شرایط خاص مورد بحث قرار گیرد.

مهم‌ترین عناوین تحقیق بر روی سنگ‌های دگرگونی منطقه‌ی مورد مطالعه عبارتند از:

۱- طبقه‌بندی انواع سنگ‌های دگرگونی آهکی و متابازیت مطالعه شده بر اساس مطالعات پتروگرافی

۲- مطالعه ژئوشیمی سنگ کل متابازیت‌ها و تشخیص سنگ مادر آذرین اولیه

۳- تعیین پاراژنز سنگ‌های دگرگونی آهکی و ترتیب توالی واکنش‌های رخ داده احتمالی در ایجاد این پاراژنزها

۴- تعیین مسیر تقریبی دما و میزان XCO_2 سیال بر روی منحنی‌های واکنشی طراحی شده برای سنگ-های دگرگونی آهکی

۵- تعیین زون‌بندی‌های دگرگونی احتمالی به منظور تعیین پیشرفت درجه دگرگونی در سنگ‌های دگرگونی آهکی

۶- تعیین الگوی مناسب برای تکوین انواع سنگ‌های دگرگونی متابازیک و آهکی در منطقه‌ی مورد مطالعه

عنوان **شماره صفحه**

فصل اول: بررسی منابع

۱-پایه‌های نظری ۲

۱-۱تعریف دگرگونی ۲

۱-۲ انواع پروتولیت سنگ‌های دگرگونی ۲

۱-۲-۱ سنگ‌های دگرگونی آهکی و کالک – سیلیکات ۳

۱-۲-۲ سنگ‌های دگرگونی حد واسط تا بازیک ۵

۱-۳ سیستم شیمیائی در سنگ‌های دگرگونی آهکی و کالک سیلیکات ۷

۱-۴ سیستم شیمیائی در سنگ‌های دگرگونی بازیک ۸

۱-۵ اهمیت مطالعه‌ی سنگ‌های دگرگونی آهکی و متابازیک ۱۰

۱-۶ پیشینه پژوهش ۱۰

۱-۷ اهداف پژوهش ۱۲

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ معرفی منطقه ۱۴

۲-۱-۱ موقعیت جغرافیائی منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۴

۲-۱-۲ راه‌های دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۹

۲-۱-۳ زمین‌شناسی عمومی شمال غرب ایران (منطقه ی آذربایجان) ۲۰

۲-۱-۴ زمین‌شناسی عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه ۲۳

۲-۲ روش تحقیق ۲۶

۲-۲-۱ برداشت‌های صحرائی ۲۶

۲-۲-۲ کارهای آزمایشگاهی ۲۶

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱ پتروگرافی سنگ‌های مورد مطالعه ۲۸
۳-۱-۱ پتروگرافی آمفیبولیت‌ها ۲۹
۳-۱-۱-۱آمفیبولیت‌های‌معمولی ۳۰
۳-۱-۱-۲ بیوتیت آمفیبولیت‌ها ۳۰
۳-۱-۲ پتروگرافی مرمرها و سنگ‌های کالک سیلیکات ۳۵
۳-۲ شیمی سنگ کل ۴۰
۳-۲-۱ بررسی پروتولیت آمفیبولیت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۴۶
۳-۲-۲ طبقه‌بندی شیمیائی و تعیین نوع سنگ مادر آذرین ۴۷
۳-۲-۳ تعیین سری ماگمائی سنگ‌های آذرین اولیه بر اساس داده‌های ژئوشیمیائی ۴۹
۳-۲-۴ روند تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر MgO ۵۲
۳-۲-۵ روند تغییرات عناصر فرعی در برابر MgO ۵۶
۳-۲-۶ بررسی محیط تکتونیکی تشکیل آمفیبولیت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۶۱
۳-۲-۷ نمودارهای چند عنصری نرمالیزه (نمودارهای عنکبوتی) ۶۵
۳-۳ مرمرهای دولومیتی و سنگ‌های کالک سیلیکاته مطالعه شده ۷۱
۳-۳-۱ واکنش‌های تولیدکننده فورستریت در سنگ‌های کالک سیلیکاته ۷۴
۳-۳-۲ واکنش‌های دگرگونی در سنگ‌های کالک سیلیکاته مطالعه شده ۷۷
۳-۳-۳ الگوی مناسب برای تکوین سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۸۱
منابع ۸۴

فهرست اشکال

شکل۱-۱ مثالی از تعیین ترکیب سیال در زمان دگرگونی به نقل از (Moazzen et al,2009) ۴

شکل۲-۱ دورنمائی از منطقه ی مورد مطالعه ۱۴

شکل۲-۲ واحدهای زمین ساختی - رسوبی مهم ایران(Berberian&King,1981) ۱۵

شکل۳-۲ پهنه‌های رسوبی – ساختاری عمده ایران (آقانباتی، ۱۳۸۵) ۱۶

شکل۴-۲ تقسیم‌بندی ساختمانی – رسوبی ایران (Stöcklin,1968) ۱۷

شکل۵-۲ نمائی از سنگهای آهکی، رسی و بازیک دگرگون شده و کنگلومرای آهکی در منطقه‌ی مورد مطالعه ۱۸

شکل۶-۲ نقشه راههای دسترسی به منطقه‌ی مورد مطالعه برگرفته از عکس ماهواره‌ای ۱۹

شکل۷-۲ موقعیت تکتونیکی ایران با کشورهای آسیای مرکزی ۲۰

شکل۸-۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و موقعیت نمونه‌برداری سنگ‌ها ۲۵

شکل۱-۳ تصاویر میکروسکوپی آمفیبولیت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۳

شکل۲-۳ ادامه‌ی تصاویر میکروسکوپی آمفیبولیت‌های منطقه‌ی مورد مطالعه ۳۴

شکل۳-۳ تصاویر میکروسکوپی سنگهای آهکی دگرگون شده ی مطالعه شده ۳۸

شکل۴-۳ ادامه ی تصاویر میکروسکوپی سنگهای آهکی دگرگون شده ی مطالعه شده ۳۹

شکل۵-۳ بررسی پروتولیت نمونه های آنالیز شده ی آمفیبولیت های مطالعه شده در نمودار (Leake,1964). ۴۶

شکل۶-۳ بررسی پروتولیت آمفیبولیت های مطالعه شده در نمودار (Le Bas et al, 1986). ۴۸

شکل۷-۳ بررسی پروتولیت آمفیبولیت های مطالعه شده در نمودار (Cox et al.,1979). ۴۸

شکل۸-۳ نمودار تعیین سری ماگمائی بر اساس عناصر کمیاب (Pearce,1983). ۴۹

شکل۹-۳ تعیین سری ماگمائی بر اساس اکسیدهای اصلی (Middlemost,1977). ۵۰

شکل۱۰-۳ تفکیک سری ماگمائی آلکالن از ماگمای شوشونیتی(Peccerillo et al,.1976). ۵۱
شکل۱۱-۳ نمودار تغییرات عناصر اصلی در برابر MgO ۵۳
شکل۱۲-۳ ادامه ی نمودار تغییرات عناصر اصلی در برابر MgO ۵۵
شکل۱۳-۳ نمودار تغییرات عناصر کمیاب در برابر MgO ۵۹
شکل۱۴-۳ ادامه ی نمودار تغییرات عناصر کمیاب در برابر MgO ۶۰
شکل۱۵-۳ نمودار مثلثی تفکیک محیط تکتونیکی(Pearce&Cann,1973). ۶۲
شکل۱۶-۳ نمودار تفکیک محیط تکتونیکی(Pearce&Norry,1979). ۶۲
شکل۱۷-۳ نمودار تفکیک محیط تکتونیکی(Meschede,1986). ۶۳
شکل۱۸-۳ نمودار تفکیک محیط تکتونیکی(Schandl&Gorton,2002). ۶۴
شکل۱۹a-۳ نمودار نرمالیز MORB(Pearce,1983) در محیط تکتونیکی درون صفحه‌ای قاره ای و اقیانوسی ۶۶
شکل۱۹b-۳ الگوی مقایسه ای تغییرات عناصر کمیاب در محیط تکتونیکی درون صفحه ای اقیانوسی ۶۷
شکل۱۹c-۳ الگوی مقایسه ای تغییرات عناصر کمیاب در زونهای ریفت قاره ای ۶۸
شکل۱۹d-۳ الگوی مقایسه ای تغییرات عناصر کمیاب در زونهای ریفت قاره ای ۶۹
شکل۱۹e-۳ الگوی مقایسه ای تغییرات عناصر کمیاب در محیط تکتونیکی درون صفحه ای قاره ای ۷۰
شکل۲۰-۳ نمودار فازهای واکنشی در سیستم CMS-(H-C) . ۷۳
شکل۲۱-۳ نمودار دما و ترکیب کاتیونی نشان دهنده ی منحنی شماتیک واکنشهای پیوسته ۷۳
شکل۲۲-۳ منحنی های فازهای واکنشی در مرمرها و سنگهای کالک سیلیکاته مطالعه شده ۷۵
شکل۲۳-۳ محل نمونه برداری نمونه های مورد مطالعه و بررسی زون بندی کانی شناسی دگرگونی آنها. ۷۹
شکل۲۴-۳ الگوی احتمالی تکوین سنگهای مناطق نی باغی و سیاه منصور ۸۳

فهرست جداول

جدول ۳-۱ علائم اختصاری کانی‌ها، (Kretz,1983). ۲۹

جدول ۳-۲ مجموعه کانی‌های دگرگونی در آمفیبولیت‌های مورد مطالعه ۳۲

جدول ۳-۳ مجموعه کانی‌های دگرگونی در مرمرها و سنگ‌های کالک سیلیکاته مورد مطالعه ۳۷

جدول ۴-۳ داده‌های تجزیه شیمیائی اکسیدهای اصلی آمفیبولیت‌های مورد مطالعه به روش ICP-MS ۴۱

جدول ۵-۳ ترکیب کانی‌شناسی نورماتیو(CIPW) آمفیبولیت‌های مورد مطالعه ۴۲

جدول ۶-۳ داده‌های تجزیه شیمیائی عناصر نادر خاکی و کمیاب (بر حسب ppm) آمفیبولیت‌های مورد مطالعه به روش ICP-MS ۴۳

فصل اول

بررسی منابع

۱ – پایه‌های نظری

۱-۱- تعریف دگرگونی

دگرگونی شامل تغییرات فیزیکوشیمیائی رخ داده در سنگ‌ها در حالت جامد می‌باشد. در این شرایط مجموعه کانی‌ها در انواع سنگ‌ها (رسوبی، آذرین و دگرگونی) تحت تأثیر حرارت و فشار متغیر، از لحاظ ترمودینامیکی ناپایدار شده واین امر منجر به تغییر ترکیب کانی‌شناسی یا بافت سنگ تحت شرایط جدید می‌شود. گاهی با افزایش دما، تغییرات کانی‌شناسی رخ نمی‌دهند، اما تبلور دوباره کان ها صورت می-پذیرد، مانند تبدیل سنگ آهک به مرمر یا ماسه سنگ به کوارتزیت. چنین تغییراتی در طیف گسترده‌ی دمائی صورت می‌گیرند. فشار و دما دو متغیر اصلی و مهم در دگرگونی سنگ‌ها می‌باشند. در دگرگونی مجاورتی فشار ثابت بوده و تنها حرارت متغیر است و ثابت بودن فشار، بررسی واکنش‌های دگرگونی در حرارت‌های مختلف را بسیار ساده می‌کند. در دگرگونی ناحیه‌ای فشار و حرارت هر دو متغیرند و باعث پیچیده شدن بررسی ارتباطات فازی و واکنش‌های دگرگونی ناحیه‌ای می‌شوند.

۱- ۲- انواع پروتولیت‌های سنگ‌های دگرگونی

۱- سنگ‌های رسی و نیمه‌رسی [1]

۲- سنگ‌های آهکی، دولومیتی و کالک-سیلیکات [2]

۳- سنگ‌های بازیک [3]

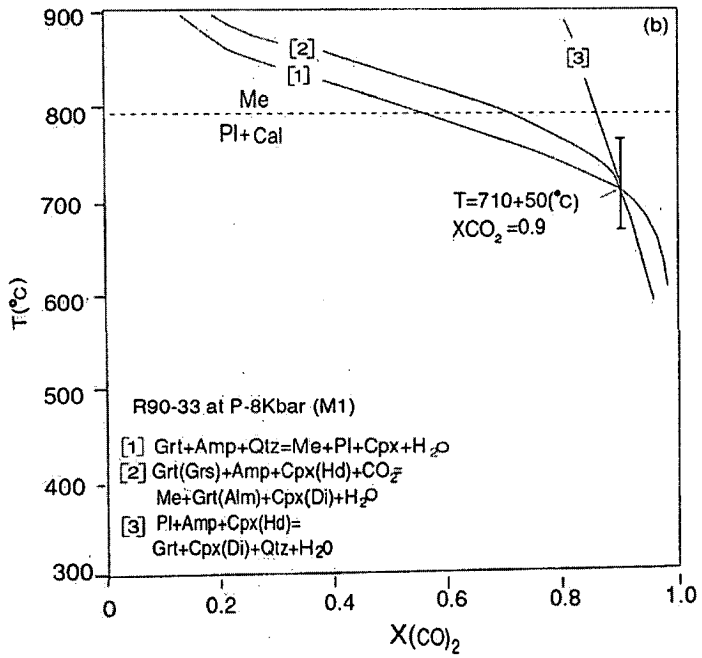
[1] pelitic and semi-pelitic rocks
[2] calcareous and calc-silicate rocks
[3] basic rocks

دگرگونی مجاورتی می‌تواند بر روی ماسه سنگ‌ها، گری وک‌ها و سنگ‌های غنی از آهن و بوکسیت‌ها نیز تأثیر بگذارد، اما به دلیل موضوع پژوهش فقط به دگرگونی سنگ‌های آهکی و کالک-سیلیکات و بازیک اشاره می‌شود.

۱-۲-۱- سنگ‌های دگرگونی آهکی و کالک -سیلیکات

سنگ‌های کالک- سیلیکات دارای فازهای سیال CO_2, H_2O حاصل از فرآیندهای دگرگونی پیشرونده بوده که این ویژگی آنها متفاوت از دگرگونی سنگ‌های رسی و متابازیک با تنها فاز سیال H_2O است . مجموعه کانی‌ها در سنگ‌های کالک-سیلیکات، به مقدار H_2O و CO_2 در سیالات دگرگونی بسیار حساس هستند و این نشان دهنده‌ی اهمیت ترکیب سیالات در طول دگرگونی این سنگ‌ها است (برای مثال Moazzen et al., 2009 شکل ۱).

سنگ‌های کالک- سیلیکات یا در لایه‌های نازک، یا به صورت توده‌ای و یا به صورت نودول‌هائی درمتاپلیت‌ها، متاسامیت‌ها، آمفیبولیت‌ها، مرمرها و یا اسکارن‌ها وجود دارند. کانی‌های آبدار اغلب در سنگ-های کربناته رسوبی حضور ندارند ولی در معادل‌های دگرگونی آنها حضور دارند، بنابراین سیال در درجات پائین بصورت آب منفذی در سنگ‌ها یافت می‌شود، یا اینکه تحت شرایط دگرگونی در تشکیل مرمرها شرکت می‌کند (Bucher and Frey,1994).



شکل ۱-۱ مثالی از تعیین ترکیب سیال در زمان دگرگونی (به نقل از Moazzen et al., 2009)

می‌توان بر اساس واکنش‌های بدون حضورسیال بین کانی‌ها، شرایط دماو فشار تشکیل سنگ‌های دگرگونی بدون نیاز به اطلاع از ترکیب سیال را پیدا کرد. بعنوان مثال، بین کانی‌های گارنت، پلاژیوکلاز، ولاستونیت، کوارتز واکنش زیر رخ می‌دهد.

$$Ca_3Al_2Si_3O_{12} + SiO_2 = CaAl_2Si_2O_8 + 2CaSiO_3$$
Grt Qtz Plg Wol

این واکنش بدون حضور سیال در فشار ۲/۵ کیلوبار و در دمای $^{\circ c}$۷۰۰ اتفاق می‌افتد . کوارتز و ولاستونیت فازهای خالص هستند اما گارنت و پلاژیوکلاز به صورت انحلال جامد می‌باشند (Droop & Treloar, 1981).

سنگ آهک‌های حاوی دولومیت نیز شاخص مفیدی برای تعیین درجه دگرگونی هستند. زیرا در آنها مجموعه‌ای از سیلیکات‌های کلسیم-منیزیم دار ،از قبیل تالک، ترمولیت و دیوپسید می‌توانند در شرایط فشار و حرارت معمول در دگرگونی تشکیل شوند(Yardley, 1988).

۱-۲-۲- سنگ‌های دگرگونی حدواسط تا بازیک

این سنگ‌ها از جمله اصلی‌ترین سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی کمربندهای کوهزائی می‌باشند. این سنگ‌ها در صفحات فرورانش قدیمی یا منشورهای برافزایشی، اطلاعات مفیدی را در مورد ویژگی‌های ژئوشیمیائی سنگ‌های شکل گرفته در طول فرآیندهای آب زدائی در شرایط فشار و دمای بالای دگرگونی به دست می‌دهند.

مطالعه سنگ‌های بازیک درتعیین تحولات P-T مناطق دگرگونی ناحیه‌ای مهم است. با مطالعه دقیق سنگ‌های دگرگونی بازیک در محل کوهزائی‌ها می‌توان، ویژگی‌های ژئوشیمیائی پروتولیت، نحوه دگرگونی و تکامل ساختاری آنها را بررسی کرد. بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیائی این سنگ‌ها و سن پروتولیت، می‌توان تاریخچه قبل از برخورد صفحات، جائیکه در ابتدا این سنگ‌ها تشکیل شده‌اند، را بررسی کرد. همچنین مجموعه‌های باقیمانده افیولیتی نیز در این بخش بسیار مهم است. این مجموعه‌ها در حواشی پوسته‌های اقیانوسی ضخیم یا نازک، حوضه‌های پشت قوس اقیانوسی[1]، ریفت‌های قاره‌ای[2] و مناطق فرورانشی تشکیل می‌شوند. سنگ‌های بازیک همچنین میتوانند در محیط‌های قاره‌ای و در محل ریفت‌های قاره‌ای تشکیل شوند. این سنگ‌ها اطلاعات با ارزشی را در مورد ماهیت پترولوژیکی گوشته بالایی در زیر قاره‌ها در

[1] Back Arc Basin
[2] Continental Rift Zone

اختیار می‌گذارند. به دلیل انحلال جامد گسترده در کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها، به ویژه پلاژیوکلاز و آمفیبول که دو کانی اصلی در سنگ‌های متابازیک هستند، مطالعه روابط فازی در آنها بدون استفاده از ابزار پیشرفته مشکل است (Spear, 1993).

به علت انحلال جامد در کانی‌های سنگ‌های متابازیک، ظهور کانی‌های جدید نسبت به تغییرات حرارت و فشار زیاد حساس نبوده و کانی‌های یکسانی در محدوده ی وسیعی از حرارت و فشار دیده می شود. همچنین موانع کینیتیکی در انجام واکنش‌ها مانند باقی ماندن فنوکریست‌های آذرین در سنگ‌های متابازیک که طی واکنشهای دگرگونی از بین نرفته‌اند، از عوامل دیگر محدودیت مطالعه این سنگ‌ها در دگرگونی است. مدل‌های شبکه پتروژنتیکی نیز برای این سنگ‌ها به سادگی در دسترس نیست. بسیاری از واکنش‌ها در آمفیبولیت‌ها به‌صورت پیوسته رخ داده و تغییرات کوچکی در مجموعه کانی‌ها یک گستره‌ی وسیعی را در P-T نشان می‌دهند (Thompson et al., 1982).

سنگ های متابازیک در طیف گسترده‌ای از شرایط دگرگونی دارای آمفیبول هستند و از این رو به این سنگ‌ها آمفیبولیت می‌گویند (Yardley, 1988). البته آمفیبولت‌ها می‌توانند در اثر دگرگونی رسوبات مارنی که حاوی مخلوطی از مواد رسی و کربناته می‌باشد و یا در اثر تأثیرات متقابل متاسوماتیکی بین لایه‌های رسوبی مختلف در طی دگرگونی نیز تشکیل گردند (Bucher and Frey,1994) .

۱-۳- سیستم شیمیائی در سنگ‌های دگرگونی آهکی و کالک - سیلیکات

سیستم مطالعاتی سنگ‌های آهکی مشابه سیستم مطالعاتی سنگ‌های بازیک در سیستم CAM-CH است با این تفاوت که در سنگ‌های آهکی نسبت Mg/Fe در کانی‌های فرومنیزین بالاست و فاز CO_2 در مقادیر فراوان تشکیل دهنده‌ی اصلی ترکیب فاز سیال در سنگ‌های آهکی می‌باشد.

K_2O در فلدسپار پتاسیم حضور دارد واین کانی نقش تعیین کننده ای در تغییر و تحولات دگرگونی سنگ‌های آهکی ندارد. TiO_2 فقط در فازهای تیتانیوم دار اصلی مانند ایلمنیت و تیتانیت ذخیره شده است. بنابراین می‌توان طبق قانون فازها K_2O و TiO_2 را از سیستم مطالعاتی سنگ‌های آهکی حذف کرد.

Fe_2O_3 معمولاً در فاز اپیدوت جمع می‌شود و مقدار آن در فازهای فرومنیزین مانند آمفیبول و گارنت کمتر است. بنابراین با در نظر گرفتن محلول جامد بین Fe_2O_3 و Al_2O_3 می توان این دو تشکیل دهنده را در نمودار سازگاری سنگ‌های آهکی با نماد (A) در نظر گرفت. FeO تشکیل دهنده اصلی فازهای فرومنیزین در سنگ‌های آهکی است و نسبت Mg/Fe در این سنگ‌ها بالاتر از متابازیک‌ها ست. کوارتز و کلسیت در تمامی مجموعه کانی‌های دگرگونی سنگ‌های آهکی و کالک- سیلیکات یافت می شود. بنابراین به صورت فازهای اضافی در سیستم حضور دارند.

ترکیب شیمیائی ساده شده سنگ‌های آهکی و کالک سیلیکات را می توان به صورت CAF-(H_2O,CO_2) نشان داد.

$C = CaO$

$A = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - Na_2O$

$F = FeO + MgO + MnO$

مجموعه کانی‌های موجود در مرمرهای دولومیتی ناخالص را می توان در سیستم شیمیائی CMS-HC نمایش داد. در این سیستم H_2O, CO_2 به عنوان فازهای اضافی هستند.

$C = CaO$

$S = SiO_2$

$M = MgO$

مقادیر جزئی و اندک دیگر فازها اساساً نمی‌تواند تغییری در واکنش‌های دگرگونی در سیلیکات های کلسیم و منیزیم ایجاد کنند. در نتیجه با مطالعه دقیق واکنش‌ها و ترسیم آنها بر روی نمودارهای مربوطه، می‌توان اطلاعات مفیدی را در مورد شرایط دما و فشار و نوع سیال دخیل در واکنش‌ها بدست آورد.

۱-۴- سیستم شیمیائی در سنگ‌های دگرگونی بازیک

سنگ‌های بازیک دارای مجموعه کانی‌های محدود با محدوده‌ی وسیعی از تغییرات ترکیب شیمیائی می‌باشند. نمایش ترکیب مجموعه کانی‌های سنگ‌های بازیک در نمودار سازگاری متشکل از اجزاء $MgO, CaO, H_2O, TiO_2, K_2O, SiO_2, MnO, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, Na_2O$ پیچیده است. برای ساده‌تر شدن سیستم می‌توان بر اساس قانون فازها، تشکیل دهنده‌هائی راکه فقط در تعداد معدودی از فازها حضور دارند و همچنین تشکیل دهنده‌هائی که مقادیر آنها در فازهای دگرگونی بسیار کم است را از سیستم حذف کرد بدون اینکه هیچ گونه تغییری در روابط فازی فازهای باقیمانده ایجاد شود. K_2O در اغلب سنگ‌ها فقط در فلدسپار پتاسیم و بیوتیت است. با توجه به مقادیر فرعی این فازها در مجموعه کانی‌های سنگ‌های بازیک، بر اساس قانون فاز می‌توان از تشکیل دهنده‌ی K_2O صرف‌نظر کرد. همچنین سنگ‌های بازیک دارای مقادیر