بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم طبیعی

گروه علوم زمین

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی زمین شناسی گرایش پترولوژی

عنوان

مطالعه سنگ‌های کالک- سیلیکات در هاله دگرگونی الوند

استاد راهنما

پروفسور محسن موذن

استاد مشاور

دکتر عادل ساکی

پژوهشگر

هاله قربانی

شهریور۱۳۹۳

تقدیم به

ساحت مقدس حضرت علی بن موسی

الرضا (ع)

تقدیم به روح پاک شهدا

تقدیم به استاد گرامی و ارجمند

جناب آقای دکتر موذن به پاس زحمات

فراوانشان

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم به آنان که مهر آسمانی شان آرام بخش آلام زمینی ام است

به استوارترین تکیه گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین دریچه زندگیم، چشمان مادرم

که هرچه آموختم در مکتب عشق شما آموختم و هرچه بکوشم قطره ای از دریای بی کران مهربانیتان را سپاس

نتوانم بگویم.

امروز هستی ام به امید شماست و فردا کلید باغ بهشتم رضای شماست

گران سنگ تر از این ارزان نداشتم تا به خاک پایتان نثار کنم، باشد که حاصل تلاشم نسیم گونه غبار

خستگیتان را بزداید.

بوسه بر دستان پر مهرتان

تقدیر و تشکر

سپاس خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را

و بعد از مدت ها، پس از پیمودن راه های فراوان که با حضور جناب آقای دکتر مودن، پدر و مادرم، و حضور پر از زیبایی عمه و برادرانم در کنارم، که خستگی های این راه را به امید و روشنی راه تبدیل کردند. امیدوارم بتوانم در آینده ای نزدیک جوابگوی این همه محبت آنها باشم...

از استاد گرامی جناب آقای دکتر ساکی بسیار سپاسگزارم چرا که بدون راهنمایی های ایشان انجام این پایان نامه بسیار مشکل می نمود.

با امتنان بیکران از مساعدت های بی شائبه ی جناب آقای دکتر جهانگیری، جناب آقای دکتر عالم، جناب آقای دکتر موید و سرکار خانم دکتر حاجی علی اوغلی که در این مدت از وجودشان بهره گرفته ام.

از ریاست محترم دانشکده علوم طبیعی جناب آقای دکتر اصغری مقدم و مدیریت محترم گروه علوم زمین جناب آقای دکتر واعظی به جهت مساعدت هایی که در طول انجام پروژه داشته اند بسیار سپاسگزارم. از کلیه کارمندان محترم گروه علوم زمین دانشکده علوم طبیعی جهت همکاری بی دریغ ایشان جهت پیشبرد این پایان نامه سپاسگزارم.

با سپاس بی دریغ از دوستان گران مایه ام خانم ها ساعد، لکی محله، کیانی، زروش، نوروزی، لطفی، رضایی، شاکری، عزیزی، بهرامی، رشیدی، انصاری، قادری، بصیرت، بازرگانی، ترابی، اسماعیل نژاد که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند. با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

نام خانوادگی: قربانی **نام: هاله**

عنوان پایان‌نامه: مطالعه سنگ‌های کالک - سیلیکات در هاله دگرگونی الوند

استاد راهنما: پروفسور محسن موذن **استاد مشاور: دکتر عادل ساکی**

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته: زمین‌شناسی** **گرایش:پترولوژی**

دانشکده: علوم طبیعی **تاریخ فارغ‌التحصیلی: شهریور ۱۳۹۳** **تعداد صفحه: ۱۰۸**

کلید واژه‌ها: کالک- سیلیکات، هورنفلس، دما- فشار، ترکیب سیال، الوند، همدان

چکیده

هاله دگرگونی در بر دارنده سنگ‌های هورنفلسی کالک- سیلیکات مطالعه شده در این تحقیق بخشی از زون سنندج- سیرجان می‌باشد که در شرق باتولیت الوند و اطراف روستای چشین همدان واقع شده است. سنگ‌های دگرگونی مجاورتی حاصل حرارت توده نفوذی الوند بر روی سنگ‌های با ترکیبات مختلف هستند که خود قبلا دگرگونی ناحیه‌ای را تحمل کرده‌اند. این سنگ‌ها شامل انواع شیست‌های بازیک و شیست‌های رسی و همچنین هورنفلس‌های رسی، آهکی و مرمر می‌باشند. مهمترین انواع هورنفلس‌های کالک- سیلیکات تشکیل شده شامل هورنفلس‌های دارای اپیدوت، گارنت، آمفیبول، کلینوپیروکسن و وزویانیت است. تجزیه شیمیایی کانی‌ها در هورنفلس‌های کالک- سیلیکات با میکرپروب نشان می‌دهد که گارنت عمدتا از نوع گروسولار و کلینوپیروکسن از نوع دیوپسید است. ترکیب کانی‌های کربناتی در سنگ-های درجه بالا کلسیت خالص می‌باشد. دگرگونی برگشتی و هوازدگی‌های بعدی موجب تغییر کانی‌های وزوویانیت، گارنت و کلینوپیروکسن به کانی‌های درجه پایین مانند کلریت و اپیدوت شده است. با استفاده از مجموعه کانی‌های در حال تعادل در این سنگها دما، فشار و ترکیب سیال برای سنگ‌های مختلف با فاصله متفاوت از توده نفوذی محاسبه شدند. دمای محاسبه شده برای تعادل کانی‌های کوارتز، دیوپسید، گارنت و فاز سیال C° ۵۵۰ است در حالیکه احتمالا سنگ‌های دارای وزوویانیت در دمای بالاتر (نزدیک‌تر به توده) تشکیل شده اند. فشار محاسبه شده برای هاله دگرگونی با استفاده از تعادلات کانی شناسی و برنامه ترموکالک حدود ۳/۵ کیلوبار است که معادل عمق تقریبی ۱۱ کیلومتری پوسته زمین می‌باشد. این فشار هاله دگرگونی نسبتا عمیقی را مشخص می‌کند. ترکیب سیال برای سنگ‌های با درجه بالا و در بر دارنده وزوویانیت ۰/۲ =X_{CO2} را بدست می‌دهد. این ترکیب سیال مشخص می‌سازد که پیوسته در طول واکنش‌های دگرگونی تشکیل دهنده سنگ‌های کالک- سیلیکات هاله دگرگونی الوند، کانی‌های کربناتی واکنش داده و مقدار آنها در سنگ‌های دما بالا کاهش یافته است در نتیجه مقدار CO_2 آزاد شده در شرایط دما بالا و نزدیک توده بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است.

فصل اول: بررسی منابع (پایه‌های نظری)

۱-۱ پایه‌های نظری ۱

۱-۱-۱ تعریف دگرگونی ۱

۱-۱-۲ معرفی دگرگونی مجاورتی ۲

۱-۱-۳ محیط تشکیل دگرگونی مجاورتی ۴

۱-۱-۴ هاله‌های مجاورتی ۶

۱-۱-۵ دگرگونی انواع اصلی سنگ‌ها در هاله‌های دگرگونی مجاورتی ۷

۱-۱-۵-۱ دگرگونی سنگ‌های کالک - سیلیکات و مرمر ۸

۱-۱-۶ رخداد شناسی دگرگونی مجاورتی ۱۲

۱-۱-۶-۱ تغییرات ایزوشیمیایی ۱۲

۱-۱-۶-۲ تغییرات بافتی ۱۲

۱-۱-۶-۳ تغییرات آلوشیمیایی ۱۳

۱-۱-۷ هدف از مطالعه هاله‌های مجاورتی ۱۳

۱-۱-۸ تاریخچه دگرگونی مجاورتی در جهان ۱۴

۱-۱-۸-۱ دوره اول ۱۴

۱-۱-۸-۲ دوره دوم ۱۴

۱-۱-۸-۳ دوره سوم ۱۴

۱-۱-۹ مباحث با اهمیت در دگرگونی مجاورتی که نیاز به پژوهش بیشتری دارند ۱۶

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲ مقدمه ۱۸

۲-۱ موقعیت جغرافیایی ۲۰

۲-۲ آب و هوای منطقه ۲۱
۲-۳ راه‌های ارتباطی منطقه ۲۲
۲-۴ تاریخچه مطالعات زمین شناسی قبلی در منطقه ۲۴
۲-۵ مقدمه‌ای بر زمین شناسی منطقه ۲۹
۲-۶ زمین شناسی منطقه ۳۳
۲-۶-۱ مجموعه پلوتونیک الوند ۳۳
۲-۶-۲ گرانیت الوند ۳۴
۲-۶-۳ دگرگونی ناحیه ای ۳۵
۲-۶-۴ دگرگونی‌های مجاورتی ۳۵
۲-۷ روش مطالعه ۳۶
۲-۷-۱ مطالعات صحرایی ۳۶
۲-۷-۲ مطالعات آزمایشگاهی ۳۷

فصل سوم: بحث و نتیجه‌گیری

۳ مشاهدات صحرایی ۳۷
۳-۱ مطالعات پتروگرافی ۴۱
۳-۱-۱ پتروگرافی سنگ‌های دگرگونی ۴۲
۳-۱-۱-۱ پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات ۴۳
۳-۱-۱-۱-۱ زوئیزیت - گارنت - کلینوپیروکسن کالک- سیلیکات ۴۵
۳-۱-۱-۱-۲ گارنت کالک – سیلیکات ۴۵
۳-۱-۱-۱-۳ وزوویانیت - کلینوپیروکسن - گارنت کالک – سیلیکات ۴۶
۳-۱-۱-۱-۴ گارنت - کلینوپیروکسن کالک- سیلیکات ۴۶
۳-۱-۱-۱-۵ زوئیزیت - اپیدوت کالک – سیلیکات ۴۷

۳-۱-۱-۶ اپیدوت- ترمولیت/ اکتینولیت- زوئیزیت کالک - سیلیکات..... ۴۷
۳-۱-۱-۷ ترمولیت/ اکتینولیت- کلینوپیروکسن- گارنت کالک سیلیکات..... ۴۸
۳-۱-۱-۲ تقسیمات دیگر مجموعه کانی‌ها در سنگ‌های کالک- سیلیکات..... ۵۶
۳-۱-۱-۲-۱ پاراژنزهای دارای Ep, Tr/ Act..... ۵۶
۳-۱-۱-۲-۲ پاراژنزهای دارای Grt, Cpx , Ep..... ۵۶
۳-۱-۱-۲-۳ پاراژنزهای دارای Ves, Cpx..... ۵۷
۳-۱-۱-۳ تقسیم بندی مجموعه کانی‌ها بر اساس آمفیبول و کلینوپیروکسن..... ۵۷
۳-۱-۱-۳-۱ مجموعه کانی‌های بدون ترمولیت/اکتینولیت..... ۵۷
۳-۱-۱-۳-۲ مجموعه کانی‌های دارای ترمولیت/اکتینولیت..... ۵۸
۳-۱-۱-۳-۳ مجموعه کانی‌های دارای هورنبلند..... ۵۸
۳-۱-۱-۳-۴ مجموعه کانی‌های دارای کلینوپیروکسن..... ۵۸
۳-۱-۱-۴پتروگرافی شیست‌ها..... ۵۹
۳-۱-۱-۴-۱ پتروگرافی اپیدوسیت‌ها..... ۵۹
۳-۱-۱-۴-۲ پتروگرافی ترمولیت/ اکتینولیت شیست..... ۶۰
۳-۲ معرفی سیستم مناسب برای مطالعه سنگ‌های کالک - سیلیکات..... ۶۵
۳-۲-۱ واکنش‌های دگرگونی در کالک- سیلیکات‌ها..... ۶۶
۳-۲-۱-۱ ظهور اپیدوت و ترمولیت..... ۶۷
۳-۲-۱-۲ ظهور کلینوپیروکسن..... ۶۷
۳-۲-۱-۳ ظهور گارنت..... ۶۸
۳-۲-۱-۴ ظهور وزوویانیت..... ۶۸
۳-۲-۲ واکنش‌های شیمیایی در اپیدوسیت‌ها..... ۷۲
۳-۲-۳ واکنش‌های شیمیایی در ترمولیت/ اکتینولیت شیست‌ها..... ۷۲

۳-۳ مینرال شیمی..... ۷۴
۳-۳-۱ مینرال شیمی سنگ‌های کالک – سیلیکات..... ۷۵
۳-۳-۱-۱ مینرال شیمی گارنت‌ها..... ۷۵
۳-۳-۱-۲ مینرال شیمی کلسیت‌ها..... ۷۹
۳-۳-۱-۳ مینرال شیمی کلینوپیروکسن‌ها..... ۸۰
۳-۴ ژئوترموبارومتری (حرارت سنجی و فشارسنجی)..... ۸۴
۳-۴-۱ ترموکالک..... ۸۶
۳-۴-۲ ترموبارومتری و تعیین مقدار CO_2 در سنگ‌های کالک – سیلیکات..... ۸۷
۳-۴-۲-۱ ترمومتری سنگ‌های کالک – سیلیکات..... ۸۷
۳-۵ نتیجه گیری..... ۹۰
۳-۶ پیشنهادات..... ۹۱
منابع..... ۹۵
ضمیمه..... ۱۰۸

فهرست تصاویر

شکل ۱-۱ تعیین ترکیب سیال در زمان دگرگونی..... ۱۰
شکل ۲-۱ تصویر ماهواره‌ای از باتولیت الوند ودگرگونی‌های اطراف آن..... ۱۹
شکل۲-۲ تشکیل هورنفلس در هاله دگرگونی الوند..... ۱۹
شکل۲-۳ منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن نسبت به توده..... ۲۰
شکل ۲-۴ دورنمایی از ارتفاعات و پوشش گیاهی منطقه ۲۲
شکل ۲-۵ نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی منطقه..... ۲۳
شکل ۲-۶ (a, b, c) موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی در تقسیم بندی‌های مهم زمین شناسی ۲۹
شکل ۲-۷ (a, b) موقعیت زمین ساختی زون‌ها و نقشه زمین شناسی..... ۳۱
شکل ۲-۸ (a, b, c) نمایش انواع هورنفلس‌ها در منطقه همدان..... ۳۲
شکل ۲-۹ موقعیت منطقه مورد مطالعه در زون سنندج – سیرجان و نقشه زمین شناسی ۳۴
شکل ۲-۱۰ قطعات مختلف هورنفلس..... ۳۶
شکل ۳-۱ (a, b, c, d) نمایش کانی‌ها در هورنفلس‌های کالک – سیلیکات..... ۳۸
شکل ۳-۲ (a, b) نمایش کانی‌های فلزی در نمونه دستی..... ۳۹
شکل ۳-۳ رخنمون اپیدوسیت‌ها در منطقه مطالعاتی..... ۳۹
شکل ۳-۴ نمایش چین خوردگی در ترمولیت/ اکتینولیت شیست..... ۴۰
شکل ۳-۵ (a, b, c, d) پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۵۱
شکل ۳-۶ (a, b, c, d) پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۵۲
شکل ۳-۷ (a, b, c, d) پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۵۳
شکل ۳-۸ (a, b, c, d) پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۵۴
شکل ۳-۹ (a, b, c, d) پتروگرافی هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۵۵
شکل ۳-۱۰ (a, b, c, d) پتروگرافی اپیدوسیت‌ها..... ۶۳

شکل ۳-۱۱ (a, b, c, d) پتروگرافی ترمولیت/ اکتینولیت شیست.....۶۴

شکل ۳-۱۲ ترکیب شیمیایی و روابط فازی کانی‌های دگرگونی کالک- سیلیکات.....۶۹

شکل ۳-۱۳ توالی مجموعه کانی‌ها و روابط فازی در سنگ‌های کالک- سیلیکات..... ۷۰

شکل ۳-۱۴ نمایش کانی‌ها و روابط فازی بین آن‌ها در سنگ‌های کالک- سیلیکات.....۷۱

شکل ۳-۱۵ روابط فازی کانی‌های دگرگونی در سنگ‌های کالک- سیلیکات.....۷۲

شکل ۳-۱۶ روابط فازی کانی‌های دگرگونی در اپیدوسیت‌ها.....۷۴

شکل ۳-۱۷ روابط فازی در ترمولیت/ اکتینولیت شیست‌ها.....۷۴

شکل ۳-۱۸ نمودار تغییرات درصد وزنی اکسیدها در بلور گارنت.....۷۸

شکل ۳-۱۹ (a, b) نمایش تغییرات ترکیبی گارنت در نمودارهای مثلثی.....۷۸

شکل ۳-۲۰ ترکیب کلینوپیروکسن‌ها در نمودار En-Wo-Fs ۸۲

شکل ۳-۲۱ تقسیم بندی کلینوپیروکسن‌ها در نمودار Q-J.....۸۲

شکل ۳-۲۲ (a, b) نمودار تغییرات اکسیدهای مختلف در کلینوپیروکسن‌ها.....۸۳

شکل ۳-۲۳ تخمین P-T هاله دگرگونی با استفاده از پترو ژنتیک گرید.....۸۸

شکل ۳-۲۴ تخمین XCO_2-T برای واکنش‌های دگرگونی در هاله دگرگونی.....۸۹

فهرست جداول

جدول ۱-۳ علائم اختصاری کانی‌ها..... ۴۱
جدول ۲-۳ مجموعه کانی‌های دگرگونی در سنگ‌های کالک- سیلیکات..... ۴۹
جدول ۲-۳ مجموعه کانی‌های دگرگونی در سنگ‌های کالک – سیلیکات (ادامه جدول)..... ۵۰
جدول ۳-۳ مجموعه کانی‌های دگرگونی در سنگ‌های کالک- سیلیکات..... ۵۹
جدول ۴-۳ مجموعه کانی‌های دگرگونی در شیست‌ها..... ۶۲
جدول ۵-۳ ترکیب شیمیایی گارنت در هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۷۷
جدول ۶-۳ ترکیب شیمیایی کلسیت در هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۷۹
جدول ۷-۳ ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن در هورنفلس‌های کالک- سیلیکات..... ۸۱

مقدمه

هاله‌های دگرگونی مجاورتی به عنوان آزمایشگاه طبیعی برای مطالعات پترولوژی دگرگونی به حساب می‌آیند. مطالعه دگرگونی مجاورتی در مقایسه با دگرگونی ناحیه‌ای مزایایی دارد که برخی از آن‌ها عبارتند از (حاجی علی اوغلی، ۱۳۸۰):

۱) مقیاس دگرگونی مجاورتی کوچک است و می‌توان دگرگونی پیشرونده در واحدهای سنگ شناسی آن را به طور آسان و دقیق بررسی کرد.

۲) در دگرگونی مجاورتی فشار ثابت بوده و تنها حرارت متغیر است و با ثابت بودن فشار بررسی واکنش‌های دگرگونی در حرارت‌های مختلف به راحتی امکان پذیر است.

۳) کمربندهای دگرگونی ناحیه‌ای تاریخچه حوادث تکتونوترمال پیچیده یا چندین دوره دگرگونی و دگرشکلی را نشان می‌دهند لذا بررسی ارتباطات فازی و واکنش‌های دگرگونی در آن-ها مشکل است در صورتی که هاله‌های دگرگونی مجاورتی سرگذشت تکتونوترمال بسیار ساده‌ای تحمل می‌کنند.

۴) در دگرگونی مجاورتی می‌توان با توجه به پاراژنزهایی با بالاترین درجه دگرگونی، حرارت نفوذ توده در زمان نفوذ را به دست آورد.

فرایندهای دگرگونی بر تمام سنگ‌های پوسته زمین اثر گذار است. از آنجایی که مشاهده‌ی مستقیم این فرایندها به ندرت امکان پذیر است، بنابراین مطالعات بر مبنای پتروگرافی و نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه استوار بوده است. در این پایان نامه سعی شده که با توصیف مجموعه کانی‌های موجود در مقاطع تهیه شده از سنگ‌های دگرگونی آهکی مورد مطالعه و بررسی نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه‌های کالک – سیلیکات، فرایندهای دگرگونی موثر و ارتباط پترولوژیکی کانی‌ها با هم و هم چنین الگوی مناسب برای تکوین این سنگ‌ها در شرایط خاص مورد بحث قرار گیرد.

فصل اول

بررسی منابع

(پایه‌های نظری)

۱-۱ پایه‌های نظری

۱-۱-۱ تعریف دگرگونی

پترولوژی دگرگونی علمی است که به تشکیل این سنگ‌ها و فرایندهای مسئول برای تکامل آن‌ها مرتبط می‌شود (Kerrick, 1991). مفهوم دگرگونی برای اولین بار در سال 1795 میلادی توسط James Hutton زمین شناس اسکاتلندی در کتاب Theory of The Earth مطرح شده است.

توسط کمیسیون جانبی IUGS [1]در مورد سنگ‌های دگرگونی تعریف زیر بیان گردیده است: دگرگونی فرایندی است که به بروز تغییراتی در کانی شناسی، ساختار یا ترکیب شیمیایی یک سنگ منجر می‌شود. این تغییرات به علت حاکم شدن شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت با شرایط طبیعی تشکیل سنگ‌ها در طی هوازدگی[2]، سیمانی شدن[3] صورت می‌گیرد را شامل نمی‌شود. تا زمانی که سنگ کل در حال جامد باقی بماند، ذوب بخشی را نیز می‌توان جز این فرایندها محسوب نمود و اگر تغییر ترکیب سنگ کل حاصل از فرایند دگرگونی تغییری اساسی یابد باید از اصطلاح متاسوماتیسم استفاده نمود. از طرف دیگر می-توان گفت که سنگ‌های دگرگونی سنگ‌هایی هستند که مجموعه کانیایی و بافت آن‌ها به وسیله فرایندهای حالت جامد تغییر یافته است و در دمای بالاتری از دمای سطحی زمین و کمتر از تشکیل مذاب سیلیکاته بوجود می‌آیند (Mason, 1990).

دلایل بسیاری برای مطالعه فرایند دگرگونی وجود دارد اما سرانجام همه اهداف تنها به یک هدف منتهی می‌شوند که آن هم درک تکامل پوسته زمین می‌باشد. پترولوژیست‌های دگرگونی تنها با تعادلات فازی در سنگ‌های دگرگونی سروکار ندارد، بلکه به منظور شناخت سنگ‌های دگرگونی بایستی درک صحیحی از شیمی بلور کانی‌ها، تعادل فازی تجربی، پترولوژی نظری، شیمی فیزیک و تجزیه بافتی داشته باشند. برای تفسیر دقیق پاراژنز کانی‌ها از لحاظ تکامل تکتونیکی کمربندهای کوهزایی، پترولوژیست‌های دگرگونی بایستی به خوبی از

[1] International union of Geological science
[2] Weathering
[3] Cementation

زمین شناسی منطقه، زمین شناسی ساختاری (ساختارهایی با مقیاس میکرو، مزو و مگا)، جریان حرارتی ژئوفیزیکی و ژئوکرونولوژی مطلع باشند. از این پترولوژیست دگرگونی بایستی تفاسیر همه جانبه به منظور درک تکامل پوسته‌ای داشته باشد (Kerrick, 1991).

۲-۱-۱ معرفی دگرگونی مجاورتی

دگرگونی مجاورتی[1] یا دگرگونی حرارتی[2] نوعی از دگرگونی است که در سنگ‌های مجاور توده‌های نفوذی قرار دارند رخ می‌دهد. قسمت دگرگون شده سنگ‌های اطراف توده را هاله دگرگونی[3] نامیده می‌شود (Ernest, 1976). درحالت کلاسیک دگرگونی مجاورتی عبارت است از نفوذ یک توده آذرین داخل توالی رسوبی یا آذرین و یا دگرگونی (Spear, 1993) و تشکیل هاله دگرگونی. می‌توان گفت که سنگ‌هایی که در غیاب استرس‌های برشی واضح و به دلیل گرما دگرگون می‌شوند به نام سنگ‌های دگرگونی مجاورتی خوانده می‌شوند (Moorhouse, 1985). دگرگونی مجاورتی در نتیجه گرادیان ژئوترمال بالا و به صورت منطقه‌ای در اطراف ماگماهای نفوذی به وجود می‌آید. دگرگونی مجاورتی محدود به اعماق نسبتا کم عمق در زمین می‌باشد. توده‌های نفوذی اغلب دارای ابعاد محدودی می‌باشند و در میان قسمت‌های نسبتا کم عمق و سرد پوسته زمین نفوذ می‌کنند. بیشتر توده‌های نفوذی دارای ترکیب گرانیتی هستند و بیشتر این توده های نفوذی گرانیتی چنانکه به وسیله Schneider et al. (1986) تخمین زده شده در اعماق ۳ تا ۸ کیلومتری نفوذ کرده‌اند.

توده‌های نفوذی استرس‌های خیلی شدیدی را به وجود نمی‌آورند و سنگ‌های دگرگونی که در نتیجه تماس توده با سنگ‌های مجاور به وجود می‌آیند فولیاسیون از خودشان نمی‌دهند و سنگ‌های تولید شده بیشتر به صورت ریزدانه، ایدیوبلاست یا هیپ ایدیوبلاست هستند که هورنفلس نامیده می‌شود (Hyndman, 1985).

توده‌های نفوذی مقداری گرما همراه دارند که به داخل سنگ درونگیر سردتر منتشر می‌کنند و این گرما یک هاله دگرگونی[3] را به وجود می‌آورد، این هاله معمولا نسبت به ابعاد توده نفوذی نازک‌تر است زیرا ضریب هدایت گرمایی سنگ‌ها بسیار کم است بنابراین روش انتشار، یک روش

[1] Contact metamorphism
[2] Thermal metamorphism
[3] Aureole

بسیار کم اثر در انتقال گرما است. قسمت دگرگون شده سنگ‌های در بر گیرنده توده را هاله دگرگونی[۳] می‌نامند. بسیاری از هاله‌های دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های در برگیرنده غیر دگرگون یافت می‌شود ولی برخی دیگر از هاله‌های دگرگونی در سنگ‌هایی که قبلا به صورت ناحیه‌ای دگرگون شده‌اند دیده می‌شود (Ernest, 1976). به طور کلی دگرگونی مجاورتی یک پدیده حرارتی است، هر چند فشار جهت‌دار همراه نفوذ توده وجود دارد و به طور قابل ملاحظه‌ای با انتقال جرم همراه است و در طی آن جریان سیال ایجاد می‌شود.

گاه دگرگونی مجاورتی تحت شرایط آتشفشانی یا تقریبا آتشفشانی صورت می‌گیرد و در سطح تماس سنگ با گدازه یا ماگما، تاثیرات ناشی از دماهای فوق العاده زیاد قابل مشاهده می‌باشد در این دگرگونی ذوب بخشی پدیده‌ای رایج است و از این لحاظ ممکن است بتوان آن را حد واسط بین فرایندهای دگرگونی و آذرین در نظر گرفت و در اصطلاح این دگرگونی پیرومتامورفیسم[۱] نام دارد.

دمای یک توده نفوذی به ماهیت آن بستگی دارد برای مثال ماگماهای بازالتی درجه حرارت بسیار بیشتری از مذاب گرانیتی دارند در نتیجه هاله‌های تشکیل شده در اطراف توده‌های فلسیک بزرگتر بوده ولی توده‌های بازیک دگرگونی مجاورتی با درجات بالای دگرگونی را ایجاد می‌نماید (Kerrick, 1991).

فشار در دگرگونی مجاورتی تابعی از عمق جایگیری توده نفوذی در زمان نفوذ به پوسته زمین می‌باشد. توده‌های نفوذی کم عمق هاله‌های دگرگونی وسیعی را درسنگ‌های اطراف ایجاد می‌کنند در حالی که توده‌های نفوذی عمیق که به داخل سنگ‌های در برگیرنده با دگرگونی ناحیه‌ای درجه‌ی بالا نفوذ می‌کنند اغلب هاله‌های قابل تشخیص را ایجاد نمی‌کنند به همین علت اکثر مطالعات و کارهای تحقیقی صورت گرفته روی توده‌های نفوذی کم عمق و هاله‌های اطراف آن‌ها است (Kerrick, 1991). دگرگونی مجاورتی از نوع دگرگونی فشار پایین - حرارت بالا[۲] می‌باشد. هاله‌های دگرگونی مجاورتی در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای با رخساره شیست سبز و آمفیبولیت مشاهده می‌شوند ولی در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای با رخساره شیست آبی و

[1] Pyrometamorphism
[2] Low pressure/High temperature or LP-HP

پرهنیت – پومپله‌ایت کمیاب هستند (Ernest, 1976). میزان تاثیر حرارت در سنگ‌های اطراف توده و ضخامت هاله تشکیل شده به اندازه توده، تفاوت دمای بین توده و سنگ‌های در برگیرنده وابسته است (Kerrick, 1991). یک توده‌ی کوچک خیلی سریع و در عرض ده‌ها هزار سال سرد شده و هاله‌ی دگرگونی وسیعی را تشکیل می‌دهد. شکل هاله‌ی دگرگونی و توزیع ایزوگرادها در آن به شکل توده وابسته است. معمولا ایزوگرادها با مرز توده انطباق دارند (موازی مرز توده می-باشند) البته استثنائاتی هم وجود دارد، برای مثال ممکن است در اعماق زیاد ایزوگرادها با مرز توده انطباق نداشته باشند و یا به علت بی‌نظمی شکل توده‌ی زیر سطح زمین ممکن است توزیع ایزوگرادها منظم نباشد. انتقال حرارت توسط سیالات و تفاوت در نفوذپذیری سنگ‌های مختلف هاله سبب توزیع نامنظم ایزوگرادها در اطراف توده نفوذی می‌شود (Kerrick, 1991). جریان همرفتی در سیالات به علت وجود منبع گرمایی ماگما در هاله‌ها و سنگ‌های مجاورتی اطراف به وجود می‌آید که این جریانات در رابطه با نفوذپذیری سنگ‌ها می‌باشد و بر فاصله‌ی ایزوگرادها از یکدیگر تاثیر می‌گذارد. هرچه نفوذپذیری سنگ‌ها بیشتر باشد، فواصل ایزوگرادها از هم نیز بیشتر می‌شود (Kerrick, 1991). دگرگونی مجاورتی یک پدیده حرارتی است (هر چند اغلب فشار جهت‌دار همراه نفوذ توده نیز دیده می‌شود) و به طور قابل ملاحظه‌ای با انتقال جرم[1] همراه است و در طی آن جریان سیال ایجاد می‌شود. تبلور ماگما سبب تمرکز گازهای فرار در فاز نهایی تبلور شده و احتمال دارد در طول شکستگی‌های سنگ در برگیرنده جایگیری شوند و یا در طول مرز دانه‌ها در سنگ‌های در برگیرنده نفوذ کنند. در این صورت اگر سنگ در برگیرنده آهکی باشد تراوش و متاسوماتیسم به داخل سنگ در برگیرنده باعث تشکیل اسکارن می‌شود. اسکارن‌ها کانی شناسی کالک - سیلیکات داشته و از ورود ترکیباتی نظیر SiO_2، Al_2O_3 و H_2O از توده نفوذی به داخل سنگ همبری آهکی تشکیل می‌شوند. سیالاتی که از توده نفوذی حاصل می‌شوند بعضا حامل فلزاتی هستند که به صورت کانسار ته نشست می‌کنند. این سیالات هم چنین عامل بالقوه برای تغییرات ترکیبات ایزوتوپی سنگ در برگیرنده و تغییرات ترکیب شیمیایی توده نفوذی می-باشند (Spear, 1993).

۱-۱-۳ محیط تشکیل دگرگونی مجاورتی

دگرگونی مجاورتی در تمام محیط‌های ماگمایی یافت می‌شود، تفاوت بین محیط‌های

[1] Mass