

# مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی در مناطق دگرگون شده با سنگ مادر آذرین همراه با مثالی از

## سنگ‌های دگرگونه منطقه گلپایگان

محمود رحمتی ایلخچی<sup>\*</sup>، صفر علی اشراقی<sup>۱</sup>، شاه ولی فریاد<sup>۲</sup>، محسن مؤذن<sup>۳</sup>، زینب فیاضی<sup>۴</sup>، سید نوید سید مردانی

اسگندانی<sup>۳</sup>، یوسف وصالی خضریو

۳

<sup>۱</sup> سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

<sup>۲</sup> دانشگاه چارلز، پراگ - جمهوری چک

<sup>۳</sup> دانشگاه تبریز، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی، تبریز، ایران

<sup>۴</sup> دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده زمین‌شناسی، تهران، ایران

### چکیده

مطالعات روی زمین به عنوان یک روش علمی است. زیرا زمین‌شناس در روی زمین دائماً روابط را مشاهده و آن‌ها را تفسیر می‌کند. بنابراین مطالعات روی زمین نخستین وسایل کسب معلومات زمین‌شناسی است. زمین‌شناسی روی زمین شامل روش‌های است که برای بررسی و تفسیر ساختمان‌ها در محل رخنمون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علاوه بسیاری از بستگی‌های ژنتیکی را فقط پس از بررسی دقیق بیرونزدگی‌ها می‌توان دریافت. زمین‌شناسی در مناطق دگرگون شده عموماً دارای پیچیدگی مهم می‌باشد، علت آن تأثیر پشت سر هم دو یا چند رویداد زمین‌شناسی است. مطالعه سنگ‌های دگرگونی دانش ما را راجع به جریان‌ها و سرگذشت زمین گسترش می‌دهد. در بررسی سنگ‌های دگرگونی به درجه دگرگونی، تغییرات کانی‌شناسی، تغییرات بافت و همچنین تفسیر پترولوژی و ساختمان‌های روی زمین پرداخته می‌شود.

Email : Ma-ilakhchi@yahoo.com

\*نویسنده مسئول: محمود رحمتی ایلخچی

### ۱- مقدمه

سنگ‌های دگرگونی با منشأ مختلف (آذرین، رسوبی و سنگ‌های دگرگونی) نشانه‌ای از سیر تحول و چگونگی فرآیندهایی هستند که در درون زمین رخ می‌دهند.

دگرگونی منتسب به تغییرات بافتی یا کانی‌شناسی در سنگ است و متاسوما تیسیم تغییر ترکیب سنگ در نتیجه انتشار یا نفوذ سیال می‌باشد. دگرگونی در حد بین دو حوزه دیاژنز و ذوب در شرایط مختلف حرارت و فشار اتفاق می‌افتد. پترولوژی دگرگونی مطالعه چگونگی کار کرد تقریباً تمامی قشر جامد زمین و استفاده از شیمی و فیزیک برای تفسیر بافت و ترکیب کانی‌شناسی است. پترولوژیست‌ها برای رسیدن به این هدف از تئوری، آزمایش‌ها، مطالعات آزمایشگاهی و مطالعات روی زمین استفاده می‌کنند.

در زمین‌شناسی مناطق دگرگون شده به منشأ سنگ‌های دگرگونی (لیتولوژی پروتولیت اولیه)، توالی چینه‌ای و ساختمان‌های قبل از عمل دگرگونی و بعد از آن و همچنین نوع دگرگونی، عوامل دگرگونی (دما- فشار)، گسترش سنگ‌های دگرگونی و ارتباط آن با مناطق همجوار، سن سنگ‌های دگرگون شده (پروتولیت اولیه) و سن دگرگونی یا دگرگونی‌های بعدی پرداخته می‌شود.

در سنگ‌های دگرگونی درجه دگرگونی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و آن حرارتی است که سنگ تحمل کرده است. تعیین درجه دگرگونی با استفاده از اجتماع کانی‌ها، ترکیب کانی‌ها یا اندازه دانه صورت می‌گیرد.

بررسی تغییرات کانی‌شناسی در دگرگونی شامل مواردی مهمی است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱- کانی جدید یا تبلور جدید: تشکیل کانی‌های جدید (به طور مثال پیدایش گارنت در سنگی که فاقد آن بوده است).

۲- تبلور مجدد: ترتیب مجدد توده بلوری یا نقص بلوری (شامل مرز دانه‌ها). اگر این تبلور مجدد توأم با دگرشکلی باشد، جهت‌یابی ترجیحی بلورها، خطوارگی، برگوارگی و پورفیرو کلاست‌ها را می‌تواند تولید کند. اگر طی تبلور مجدد فازی ظاهر یا ناپدید نشود، فقط رشد دانه‌ها اتفاق می‌افتد. این درشت‌شدگی به وسیله انرژی آزاد مرزدانه‌ها صورت می‌گیرد. این انرژی نتیجه تماس دو بلوری است که در امتداد یک مرز ناتمام می‌باشد.

۳- پورفیرو بلاست: یک دانه که رشد بزرگتری از دیگر دانه‌ها دارد.

۴- پویکیوبلاست: یک دانه با ادخال‌های از کانی‌های دیگر، به آن‌ها بافت سیو نیز گفته می‌شود.

۵- پورفیرو کلاست: باقیمانده یک دانه که از دانه‌های اطرافش در یک سنگ دگرشکل شده بزرگ‌تر است. اختلاف بزرگ بین پورفیرو بلاست و پورفیرو کلاست این است که پورفیرو بلاست به دلیل رشد از دانه‌های اطرافش بزرگ‌تر است درحالی‌که پورفیرو کلاست‌ها به دلیل اینکه دانه‌های اطراف در طی دگرشکلی کاهش اندازه پیدا می‌کنند، دانه‌های بزرگ‌تری- اند.

تغییرات بافت سنگ مادر، با ازدیاد دگرگونی دستخوش ازدیاد تبلور مجدد و تغییرات فابریک می‌شود.

در زمین‌شناسی مناطق دگرگونی به خصوص مناطق آذرین، کوچک‌ترین علائم (مانند دگرریختی سنگ‌های آذرین، دایک‌های دگرگون شده موجود در

هم‌آهنگ می‌باشد. ارتباط همبری با سنگ‌های درون‌گیر به شکل نادرگیشب یا دگرگیشب است. در کل بیشترین رده‌بندی مورد استفاده، بر مبنای شکل و اندازه و بستگی ساختمانی بین توده تزریق و دیواره سنگ‌های میزبان است.

جاگیری توده نفوذی ممکن است در اثر فشار اتفاق بیفتد، به طوری که ماگما ضمن حرکت از داخل شکاف سنگ‌ها به اطراف فشار وارد کرده و جای خود را باز می‌کند یا اینکه جاگیری به وسیله هضم سنگ‌های اطراف اتفاق افتاده است.

توده‌های نفوذی ممکن است از سنگ‌های درون‌گیر خود جوان‌تر یا پیرتر باشند و در هر حال بایستی از استفاده از شواهد و نشانه‌های موجود، وضعیت نسبی آن‌ها را مشخص کرد. اگر توده نفوذی قدیم‌تر از سنگ‌های مجاور خود باشد، سنگ‌های مزبور بایستی به حالت دگرگیشب روی این توده‌ها قرار گرفته باشند و ممکن است قطعاتی از سنگ‌های آذرین در داخل این طبقات مشاهده شود. در حالتی که توده نفوذی جوان‌تر از سنگ‌های اطراف بوده و در حقیقت به داخل آن‌ها نفوذ کرده باشد، غالباً زوایدی از این توده به داخل سنگ‌های مجاور نفوذ می‌کند. همچنین ممکن است قطعاتی از سنگ‌های درون‌گیر، داخل توده مشاهده نمود. وجود دایک‌های سنگ‌های جوان‌تر در سنگ‌های قدیم‌تر (که غالباً در نتیجه تزریق ماگما در داخل شکستگی سنگ‌ها است)، دگرسانی سنگ‌های قدیمی به وسیله سنگ جوان‌تر و سنگ جدیدتر رگه‌ها یا محتوی‌های موجود در سنگ قدیم را قطع کنند از پدیده‌هایی است که بسیار در سنگ‌های آذرین مشاهده می‌شود. برای تشخیص دگرشیبی سنگ‌ها، اگر سنگ‌های زیرین آذرین باشد و سنگ‌های رسوبی رویی آن‌ها هیچ‌گونه دگرگونی مجاورتی نشان ندهد یا اینکه در قاعده سری رویی قله سنگ‌هایی از مواد آذرین زیرین وجود داشته باشد، در این صورت یک هیاتوس مهم مشخص می‌شود. اگر سنگ‌های رسوبی در روی سنگ‌های دگرگونی قرار گیرد ارتباط آن‌ها هیاتوس عمده‌ای را نشان می‌دهد. در نقاطی که تشکیلات مقاوم مانند کوارتزیت یا آهک توده‌ای در روی طبقات کم مقاومت قرار گرفته و هر دو تحت تأثیر دگرگونی واقع شده باشد، سنگ‌های کم مقاومت ممکن است تغییر شکل زیادتری پیدا کند و به نظر می‌رسد که فقط سنگ‌های کم مقاومت تحت تأثیر عمل دگرگونی قرار گرفته است. تغییرات شدید دگرگونی ممکن است دلایل مربوط به دگرشیبی را حتی در نقاطی که دگرشیبی زاویه‌دار وجود دارد از بین ببرد. هاله دگرگونی مجاورتی را می‌توان با توجه به کانی‌های خاص دگرگونی مجاورتی و تبدیل قسمتی از هورنفلس به شیبست تشخیص داد.

دگرگونی از انواع مختلف تشکیل شده است (دگرگونی حرکتی، مجاورتی، ناحیه‌ای، قهقرائی و ...) و ساخت و بافت‌های مختلف در آن‌ها دیده می‌شود. فرم‌های بافت و ساختمان اولیه ضمن تشکیل سنگ‌ها و همزمان با آن‌ها به وجود می‌آیند. توده‌های نفوذی کوچک و بزرگ حتی پس از دگرگونی شدید بافت پورفیری خود را حفظ می‌کنند. بافت و ساخت این گونه سنگ‌ها می‌بایست در فرم‌های ساختمان ثانویه تحت مطالعه قرار گیرد.

همان‌طور که مشخص است سنگ‌ها تا حدی شکننده‌اند و از خود خاصیت شکل‌پذیری نشان نمی‌دهند یا خاصیت شکل‌پذیری آن‌ها کم است، در این صورت در اثر نیروی شرایط شکننده شکستگی حاصل می‌نمایند. در اعماق ۸ تا ۱۶ کیلومتری قشر جامد زمین اکثر سنگ‌ها نسبتاً شکل‌پذیر است. اگر سنگ‌ها به اندازه کافی شکل‌پذیر باشد (در محیط داکتایل)، در هنگام تغییر شکل هرگز شکستگی پیدا نخواهند کرد و مدام به صورت جریان جامد تغییر شکل پیدا می‌کنند (ایران پناه ۱۳۵۷). این عمق واجد حرارت و فشار است که عوامل تعیین‌کننده دگرگونی

آن‌ها، برگوارگی، خطوارگی، درشت بلور شدن کانی‌ها و ... (نشانه‌های از دگرگونی حرکتی، دگرگونی مطلق یا دگرگونی متاسوماتیسم است).

در دگرگونی حرکتی یا دینامیک، عامل عمده فشار متوجه است و افزایش درجه حرارت در آن اهمیت چندانی ندارد. این دگرگونی در عمق کم اتفاق می‌افتد که فشار لیتواستاتیک کم و آثار دگرگونی بر جای مانده، در حد مکانیکی است و به هیچ‌وجه با تبلور مجدد همراه نیست. آثار حاصل از دگرگونی‌های مطلق با پدیده تبلور مجدد همراه می‌باشد. در دگرگونی متاسوماتیسم تکامل دگرگونی در سیستم باز انجام می‌شود و تبدلات شیمیایی موجب تغییر ترکیب شیمیایی سنگ اولیه می‌گردد.

فعل و انفعالات در طی مراحل تبلور ماگمایی توأم با کاهش درجه حرارت است در صورتی که در عمل دگرگونی افزایش شدت دگرگونی در نتیجه بالا رفتن دما است. با افزایش شدت دگرگونی یعنی افزایش درجه حرارت کانی‌ها بدون اینکه کانی‌های جدیدی به وجود آورند با یکدیگر وارد فعل و انفعال شده و در نتیجه جانمایی یون‌های مختلف تغییراتی در ترکیب شیمیایی آن‌ها به وجود می‌آید. کلریت در دگرگونی با شدت کم از نوع پراهن است و در افزایش دگرگونی کم کم تبدیل به کلریت‌های پرمنیزیم می‌شود، افزایش مقدار آنورتیت پلاژیوکلازها با افزایش شدت دگرگونی حاصل می‌شود.

شناخت سنگ‌ها دگرگون شده با منشأ رسوبی به نظر آسان‌تر از سنگ‌های دیگر با منشأ مختلف (آذرین و دگرگونی) است. سنگ‌های آذرین دگرگون شده به دلیل بررسی شرایط تشکیل آن‌ها، روابط حاکم با سنگ‌های درونگیر و برونگیر، شکل هندسی ساختمان‌ها، عوامل و نیروهای مؤثر در ایجاد آن‌ها قبل و بعد از دگرگونی و همچنین سنگ‌های دگرگونی به دلیل فازهای مختلف دگرگونی (در مواردی ذوب سنگ‌های قبلی)، از پیچیدگی بیشتری برخوردار است.

پرزشترین وسیله برای روشن ساختن تاریخچه دگرگونی شناخت توالی چینه‌شناسی قبل از دگرگونی است. مطمئن‌ترین راه برای تعیین توالی دنبال کردن واحدهای چینه‌شناسی در زمین‌هایی است که دگرگونی با شدت کمتری در آن تأثیر کرده باشد. اگر این کار امکان نداشت در سنگ‌های که تغییر شکل در آن‌ها به شدت انجام گرفته است از برگوارگی، خطوارگی، محور چین و سطح محوری چین برای تعیین توالی چینه‌ای کمک گرفت.

در سرزمین‌های دگرگونه با پروتولیت آذرین می‌بایستی در وهله اول به توالی رویدادهای پلوتونیک پرداخت. توالی رویدادهای پلوتونیک بصورت یک سری ساختمان‌ها و بافت‌ها در یکدیگر تداخل می‌کند و مواردی که آخرین رویداد پلوتونیک اثر رویدادهای قبلی را از بین می‌برد بسیار فراوان است. در تفسیر سنگ‌های پلوتونیک باید با بازگشت به عقب در زمان، جوان‌ترین با واضح‌ترین رویدادها را به ترتیب از بازمانده‌های رویدادهای قبلی غربال کرد.

گروه‌های مختلف توده‌های آذرین درونی بر اثر تزریق ماگما در سنگ‌های رویی حاصل شده است. اگر تزریق تا سطح زمین ادامه یابد، گونه‌های توده‌های آذرین بیرونی حاصل می‌شود؛ اما چنانچه تزریق ماگما به سطح زمین نرسد و در زیر سنگ‌های پوسته جامد سطح زمین آرام گیرد، توده‌های آذرین درونی به وجود می‌آید. تقسیم‌بندی‌های مختلف برای تمیز گونه‌های تزریقات درونی بر مبنای شکل (محدب، مقعر، شاخه شاخه، نامنظم، پیچیده و...) اندازه (بزرگ، میانه و کوچک اندازه)، زمان مربوط به تکنونیک عمومی آن‌ها است. ارتباط همبری توده آذرین با سنگ‌های برونگیر به صورت همبری هم‌آهنگ، همبری موافق و همبری نا

سینیت و گرانیت‌های آتاکسی نسبت داده‌اند. سن میکاشیست‌ها پالئوزویک، سینیت‌ها پالئوسن پایین و گرانیت آتاکسی را پالئوسن میانی در نظر گرفته شده است (شیخ‌الاسلامی و همکاران ۲۰۰۸، تصویر شماره ۱-۵). در این بررسی گرانیت آتاکسی غرقاب همبری مجاورتی با سنگ‌های دگرگون شده پالئوزویک دارد ولی سینیت دارای همبری مجاورتی با این سنگ‌ها نیستند. سینیت دارای همبری مجاورتی با سنگ‌های مربوط به کرتاسه می‌باشد (شیخ‌الاسلامی و همکاران ۲۰۰۸). توده حسن رباط آلکالی گرانیت پورفیری به رنگ قهوه‌ای کمرنگ تا صورتی با رگه‌های آپلیتی و سن احتمالی بعد از کرتاسه زیرین و قبل از ائوسن ذکر شده است. سنگ‌های رسوبی دگرگون شده اطراف توده دارای لیتولوژی آهک‌های کریستالیزه و آهک دولومیتی دگرگون شده کریئوئیددار به سن پرمین است (موسوی و همکاران ۲۰۰۸، تصویر شماره ۱-۵). در بررسی‌های جدید سن مطلق این توده پرمین در نظر گرفته شده است (علیرضائی، ۲۰۱۰).

در بررسی‌های جدید زمین‌شناسی جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی دو برگه سعید آباد امام و مرغ بالا با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و مطالعات سنگ‌های دگرگونی این محدوده شواهدی از پلی فاز بودن دگرگونی وجود دارد و حضور کانی‌های جدید و دگرشکلی‌های مختلف تأییدی بر آن است. در بررسی سنگ‌های دگرگونی با منشأ رسوبی ما شاهد افزایش درجه دگرگونی از باختر دره غرقاب به سمت خاور می‌باشیم به طوری که سنگ‌های فیلیتی با دگرگونی درجه پایین تبدیل به میکاشیست‌های واجد کانی‌های استرولیت، گارنت، سیلیمانیت و... می‌گردند. از موارد قابل تأمل و مهم در این منطقه وجود سنگ‌های آذرینی است که دستخوش تحولات عظیمی شده‌اند. و همراهی آن‌ها با سنگ‌های رسوبی دگرگون شده و وجود دگرشکلی‌های مختلف در آن‌ها کمک به بازسازی تحولات زمین‌شناسی این مناطق کرده است.

برای باز سازی تحولات زمین‌شناسی و روشن ساختن تاریخچه دگرگونی در وهله اول رویدادهای پلوتونیک باید مدد نظر قرار گیرد. وجود سنگ‌های بازیک‌تر از سینیت کوارتزار مانند مونزونیت، گابرو (به صورت گزینولیت) و دایک‌های ریز دانه‌ای از کوارتز سینیت نشان از تزریق ماگما در چندین مرحله دارد و ممکن است رابطه ژئیتیکی آن‌ها در بررسی‌های دقیق‌تر مشخص گردد (تصویر شماره ۲-۵). بیشترین گسترش سنگ‌های موجود در منطقه را سینیت‌های کوارتزار تشکیل می‌دهد. توده کوچکی از جنس گرانیت تورمالین در دره غرقاب برونزد دارد. از نکات مهم باتوجه به جوان‌تر بودن توده‌های آذرین نسبت به سنگ‌های درونگیر اطراف کنتاکت متامورفیس مشخص در سنگ‌های قدیم‌تر دیده نمی‌شود. در بررسی‌های به عمل آمده در توده حسن رباط نیز این توده آذرین هیچ کنتاکت متامورفیس مشخصی با سنگ‌های میزبان دگرگون شده خود ندارد. حال این سؤال مطرح است که این توده‌های آذرین از سنگ‌های اطراف خود جوان‌تر هستند یا پیرتر؟ با مطالعات صحرایی به دلیل گسله بودن کنتاکت سنگ‌های سینیت کوارتزار با آهک‌های کرتاسه کنتاکت متامورفیس دیده نشد ولی امکان وجود کنتاکت متامورفیس بسیار کم است. با بررسی تغییر شکل‌های موجود در سنگ‌های کرتاسه زیرین و قبل از آن آثار تغییر شکل‌های جدیدتر در سنگ‌های قدیم دیده می‌شود هرچند که ممکن است رویداد جدید اثر رویدادهای قبلی را از بین ببرد بسیار فراوان است (تصویر شماره ۲-۵). بودین شدگی در مرمر، ۲-۵ در گرانیت تورمالین دار و ۲-۵ در سینیت غرقاب). بهترین مکان برای یافتن سؤال‌های مربوط به جوان‌تر یا پیرتر بودن توده‌های فوق با سنگ‌های اطراف، کنتاکت یا نزدیک‌ترین

می‌باشند، لذا دگرگونی تقریباً همیشه موجب تغییر شکل می‌شود. مطالعات دگرگونی باید ماهیت تغییر شکل، جهت و بزرگی و سن آن را نسبت به تبلور مجدد معین کند. این مطالعات اغلب باید شامل تعداد زیادی از جزئیات ساختمانی نیز بشوند یعنی روابط برگوارگی، خطوارگی، چین‌ها و ریز چین‌ها نسبت به ساختمان‌های اصلی و فرعی باید در نظر گرفته شود. برگوارگی و خطوارگی در سنگ‌های توده‌ای کم‌تر مشخص‌اند ولی به علت همگن بودن این سنگ‌ها روابط استرس-استرین را مطمئن‌تر نشان می‌دهند.

سن نسبی در سنگ‌های آذرین و دگرگونی با توجه به چگونگی تغییر عوارض قدیمی نسبت به عوارض جدیدتر تعیین می‌شود. مناطق دگرگون شده اطراف شهرستان گلپایگان که یکی از مناطق مهم دگرگونی در ایران است. اولین نقشه زمین‌شناسی ایران با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در سال ۱۹۶۷ میلادی (نقشه گلپایگان) از آن نواحی تهیه شده است. جایگاه ویژه زمین‌شناسی این منطقه در زمین‌شناسی ایران، دسترسی آسان، وجود معدن طلای موته، تهیه نقشه‌های دقیق‌تر و اقبال اساتید دانشگاه، سبب مطالعات گسترده در زمینه دگرگونی، زمین‌شناسی اقتصادی و در سال‌های اخیر مطالعات ساختاری (استراکچر و میکرواستراکچر) در این منطقه شده است. گستردگی مطالعات در زمینه‌های مختلف و اختلاف نظر فراوان و سؤال‌های بی‌جواب و تهیه نقشه‌های کاربری ۱:۲۵۰۰۰ سبب شده که مطالعات جدیدی توسط سازمان زمین‌شناسی در این مناطق شروع شود.

## ۲- محدوده مورد مطالعه

شامل سنگ‌های رسوبی و توده‌های آذرین دگرگون شده است که در محدوده نقشه ۱:۲۵۰۰۰ گلپایگان با مختصات جغرافیایی بین طول‌های ۳۰°، ۴۹' تا ۳۰°، ۵۱'، ۰۰' طول و عرض‌های ۳۳°، ۰۰'، ۰۰' تا ۳۴°، ۰۰'، ۰۰' می‌باشد. این محدوده در بردارنده نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات (بین طول‌های ۵۰° تا ۵۰°، ۳۰' و عرض‌های ۳۳°، ۳۰' تا ۳۴° شامل نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سعیدآباد امام و مرغ بالا) و نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه دهق (بین طول‌های ۵۰°، ۳۰' تا ۵۱°، ۵۱' و عرض‌های ۳۳°، ۳۰' شامل ۱:۲۵۰۰۰ لوشاب و لاچنار) است. توده‌های مورد نظر در شمال شهر گلپایگان در دره غرقاب (سینیت و گرانیت غرقاب) و جنوب خاوری گلپایگان (گرانیت حسن رباط) قرار دارد.

اصلی‌ترین راه دسترسی به منطقه، جاده آسفالت موته- گلپایگان، در حدود ۳۵ کیلومتری جنوب دلیجان می‌باشد که کمی جلوتر از روستای رباط‌ترک، در محل پمپ بنزین ورکان، از محور سراسری تهران- اصفهان، جدا می‌شود. روستای موته به فاصله ۱۴ کیلومتری از سه راهی دلیجان- اصفهان- گلپایگان قرار گرفته است (تصویر شماره ۱-۵).

منطقه مورد مطالعه، در قسمت مرکزی پهنه سندج- سیرجان قرار گرفته است (تصویر شماره ۱-۵). در مطالعات و نقشه‌های ابتدایی لیتولوژی توده‌های مورد نظر گرانیت، گرانودیوریت (توده حسن رباط)، دیوریت و دیوریت گابرو (سینیت‌های غرقاب) و سنگ‌های رسوبی دگرگون شده به فیلیت، کوارتزیت و پارا گنیس (اطراف غرقاب) نسبت داده شده و سن آن را پراکامبرین دانسته‌اند و از دگرگونی مجاورتی در آن‌ها بحثی نشده است (تبله و همکاران ۱۹۶۸، تصویر شماره ۱-۵). ولی مطالعات بعدی لیتولوژی سنگ‌های رسوبی دگرگون شده اطراف غرقاب به میکاشیست گارنت، استرولیت و کلریت‌دار و توده‌های موجود در دره غرقاب به

شکلی سبب ایجاد تبلور جدید نمی‌شود مگر اینکه در شرایط فشار و حرارت (عوامل مهم دگرگونی) مناسب قرار گیرد و این امر در شرایط شکل‌پذیر محیط امکان‌پذیر است. جهت‌دار بودن کانی‌ها که در مراحل پیشرفته بافت میلونیتی مشخص در آن‌ها دیده می‌شود در متاگرانیتهای تورمالین‌دار غرقاب فلدسپارهای اتومورف درشتی به شکل مستطیل دیده می‌شود که به رخساره دندان اسبی نیز موسوم است. این فلدسپارهای اتومورف مشخص ساختمان مسطح می‌باشد که جهت یافتگی کانی‌ها به صورت لایه‌ای امتداد نیست بلکه توده سنگ به طور نامشخص جهت‌دار است (تصویر شماره ۴-۵). وجود کانی‌های ظاهر شده جدید در میکاشیست‌ها، مرمر و گرانیتهای نیز شاهدی بر دگرگونی و فازهای جدید آن است. کانی‌های دگرگونی موجود در میکاشیست‌ها که با چشم غیر مسلح دیده می‌شود عبارت است گارنت و استرولیت که آثار باقیمانده از دگرگونی عمومی قبلی است که تحت تأثیر دگرشکلی بعضی از کانی‌ها چین خورده و سایه فشاری نیز در آن‌ها در روی زمین با چشم غیر مسلح دیده می‌شود (تصویر شماره ۴-۶). این سنگ‌های رسوبی دگرگون شده توسط گرانیتهای و سینیت‌های غرقاب قطع شده‌اند و آثار بسیار محدودی از کنتاکت متامورفیسم در آن‌ها دیده می‌شود (در چند سانتیمتر) ولی کانی‌زایی جدید که محصول کنتاکت متامورفیسم باشد ظاهراً دیده نمی‌شود. پس از چین خوردگی این گرانیتهای با میکاشیست‌ها، شاهد ظهور کانی‌های فراوان از گارنت و استرولیت در مرز میکاشیست‌ها با توده و گارنت‌های فراوان در توده گرانیتهای می‌باشیم (تصویر شماره ۵-۵، e)، که شاهدی است بر فاز جدید دگرگونی که علاوه بر کانی‌زایی جدید سبب حذف کانی‌ها و کنتاکت متامورفیسم در مرز دو واحد شده است. در گرانیتهای شاهد رشد بلورهای پورفیروبلاست هستیم این بلورها که در زمینه دانه ریز سنگ رشد و نمو می‌کنند موادی را که جهت نمو خود احتیاج دارد از فضای اطراف خود می‌گیرد و موادی را که احتیاج ندارد از ساختمان خود خارج می‌کند. نمو بلورها و تشکیل پورفیروبلاست‌ها نشانه تخریب مواد در محیط دگرگونی است (تصویر شماره ۵-۶). رشد پورفیروبلاست گارنت را در دو مرحله را در گرانیتهای نشان می‌دهد؛ بخش روشن به خوبی از بخش تیره قابل تشخیص است. این بخش احتمالاً به دلیل استفاده بلور گارنت از عناصر آهن و منیزیم جهت رشد مجدد خود از بخش تیره قابل تشخیص است.

با توجه به پلی فاز بودن دگرگونی برای تعیین سن نسبی آن‌ها از دگرشکلی‌های که در سنگ‌های جوان‌تر اتفاق افتاده است کمک گرفته شد. سنگ آهک‌های کرتاسه که در کرتاسه پایین شرایط شکل‌پذیر را تجربه کرده‌اند دارای سه دگرشکلی عمده هستند که نشان دهنده رژیم فشاری در منطقه می‌باشد (تصویر شماره ۶-۶، f, d). این آثار در ساختمان‌های ایجاد شده در میکاشیست‌ها، مرمرها، گرانیتهای و سینیت غرقاب نیز مشاهده می‌شود (تصویر شماره ۶-۶، b, a). اما این حالت به نظر می‌رسد که بخشی از تاریخچه زمین‌شناسی که توسط دگرشکلی حفظ می‌شده است با دگرگونی‌های متعدد حذف شده باشد در ضمن سؤالی که می‌تواند بر پیچیده بودن نواحی مورد مطالعه بیفزاید این است که با توجه به سه دگرشکلی که در سنگ‌های ژوراسیک هم می‌بینیم (تصویر شماره ۶-۶ c) که می‌تواند مطابقت با بعضی از دگرشکلی‌های میکاشیست‌ها داشته باشد چرا درجه دگرگونی در سنگ‌های ژوراسیک کمتر به نظر می‌رسد.

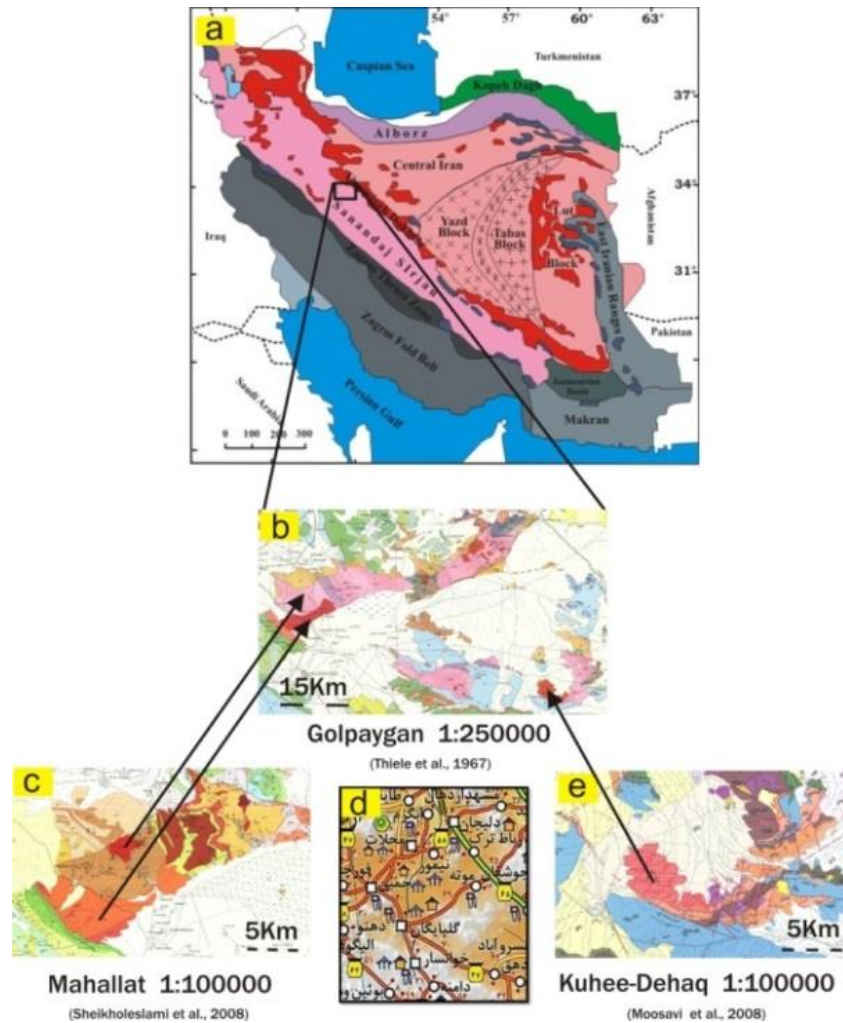
محل به کنتاکت است. مطالعات روی زمین اثبات نمود که سنگ‌های کوارتزسینیت و گرانیتهای غرقاب جوان‌تر از سنگ‌های رسوبی دگرگون شده و قدیم‌تر از سنگ‌های کرتاسه هستند و دلیل آن قطع سنگ‌های قدیم‌تر است که در کنتاکت‌ها به خوبی مشخص است. و دلیل این که از سنگ‌های کرتاسه جوان‌تر نیستند مربوط می‌شود به اینکه با فاز تغییر شکل بعدی با سنگ‌های میکاشیست چین می‌خورند (تصویر شماره ۲-۵ e سینیت‌های غرقاب و ۲-۶ f گرانیتهای تورمالین‌دار غرقاب). پس این توده نمی‌تواند به طور همزمان سنگ‌های پالئوزویک و کرتاسه را قطع کند و در فاز بعدی با سنگ‌های دگرگونه پالئوزویک چین بخورند (عدم وجود آثار در سنگ‌های کرتاسه) و سن آن جوان‌تر از کرتاسه باشد. حال با توجه به جوان‌تر بودن توده‌های آذرین چرا کنتاکت متامورفیسم مشخصی را با سنگ‌های میزبان نشان نمی‌دهند (تصویر شماره ۳-۵)؟ در پاسخ به این سؤال کنتاکت متامورفیسم وجود داشته ولی با توجه به فرآیندهای بعدی از بین رفته است. اما دلیل بر این ادعا چیست؟ شواهد موجود در سنگ‌های میکاشیست‌ها و مرمرهای همراه با آن‌ها (در بخش خاوری دره غرقاب) و توده‌های آذرین (سینیت کوارتز، گرانیتهای غرقاب و حسن رباط) و بخشی از آهک‌های کرتاسه زیرین نشان دهنده تغییر شکل‌های مهمی در این سنگ‌ها در شرایط شکل‌پذیر می‌باشد. حال این شرایط شکل‌پذیر چه عواملی را بر سنگ‌های فوق تحمیل کرده و چه تغییراتی در سنگ‌ها اتفاق افتاده است به آن می‌پردازیم.

همان‌طور که مشخص است وجود حرارت و فشار (عوامل مهم دگرگونی) و فشار جهت‌دار (عوامل تکتونیکی) سبب ایجاد بافت و ساختمان‌های مشخصی در سنگ‌ها نموده است که از مهم‌ترین آن‌ها درشت بلور شدن کانی‌ها، به وجود آمدن کانی‌های جدید، پورفیروبلاست‌ها، پورفیروکلاست‌ها، چین‌ها و ریزچین‌ها (تصویر شماره ۳-۶ b)، میلونیتی شدن سنگ‌ها (تصویر شماره ۳-۶ c)، برگوارگی، خطوارگی (تصویر شماره ۳-۶ d)، ساختمان‌های فشاری (تصویر شماره ۳-۶ f و e) و کششی است. با توجه به تغییر شکل‌های متعدد و پلی فاز بودن دگرگونی این ساخت و بافت‌ها در بعضی از سنگ‌ها به صورت مشترک دیده می‌شوند و در بعضی موارد به دلیل مهیا نبودن شرایط فیزیکی و شیمیایی در برخی مشاهده نمی‌شود. یکی از مهم‌ترین شواهدی که در تعبیر و تفسیر و بازسازی روند تکاملی زمین‌شناسی کمک کرد وجود دایک‌های بازیک قطع‌کننده سنگ‌های دگرگونه رسوبی (میکاشیست و مرمر)، سینیت‌های کوارتزدار و توده حسن رباط می‌باشد. وجود گارنت در گرانیتهای پدید آورنده این سؤال است که آیا این گارنت ماگمایی و مربوط به خود توده می‌باشد یا شاهدی از دگرگونی است؟ حال اگر دایک‌های بازیک جوان قطع‌کننده این گونه سنگ‌ها، خود دگرگون شده باشند به جواب نزدیک شده‌ایم که گارنت‌ها می‌تواند شاهدی از دگرگونی باشد. در تمامی سنگ‌های موجود ذکر شده ما شاهد قطع آن‌ها توسط دایک‌های بازیک هستیم که دگرگونی را تحمل و کانی‌های جدید از جمله گارنت در برخی از آن‌ها ایجاد شده است در ضمن علاوه بر تحمل دگرگونی در تغییر شکل‌های بعدی شرکت داشته است به طوری که علاوه بر قطع سنگ‌های قدیم‌تر در فازهای بعدی با همدیگر چین خورده‌اند (تصویر شماره ۴-۶ a دایک دگرگون شده موجود در مرمر، c, ۴-۶ b دایک دگرگون شده در توده سینیتی غرقاب و ۴-۶ d دایک تزریق شده و دگرگون شده در توده حسن رباط). حال اگر قبول کنیم که توده‌های آذرین همراه با دایک‌های قطع‌کننده خود دگرگون و در تغییر شکل‌های بعدی شرکت کرده‌اند شواهد دیگر برای تأیید آن چیست؟ درشت بلور شدن کانی‌ها یا تبلور مجدد، همان‌طور که می‌دانیم هیچ تغییر

### ۳- نتیجه گیری

وجود کانی‌های استرولیت و گارنت اولیه در میکاشیست‌ها و سنگ‌های رسوبی دگرگون شده در حسن رباط حاکی از دگرگونی عمومی قبل از نفوذ سنگ‌های آذرین بوده است. با توجه به وجود سنگ‌های بازیک‌تر از قبیل گابرو و مونزونیت گابرو کوارتز سینیت‌ها ممکن است نتیجه تفریق از سنگ بازیک‌تر باشند. با توجه به جوان‌تر بودن توده‌های آذرین از سنگ‌های میزبان می‌بایستی شاهد کنتاکت متامورفیزم مشخص باشیم اما دگرگونی قوی همراه با دگرشکلی در مرحله بعد

سبب دگرگونی دایک‌های بازیک (قطع کننده واحدهای مختلف)، تبلور مجدد، ایجاد ساختمان‌ها و بافت‌های جدید، تبلور کانی‌های جدید و از بین بردن آثار کنتاکت متامورفیزم در سنگ میزبان توده حسن رباط توده گرانیتی و سینیت کوارتزدار غرقاب شده است و توده‌های آذرین را همراه با دایک‌های بازیک دگرگون کرده است. به نظر می‌رسد که این رویدادها قبل از کرتاسه بالا اتفاق افتاده باشد.

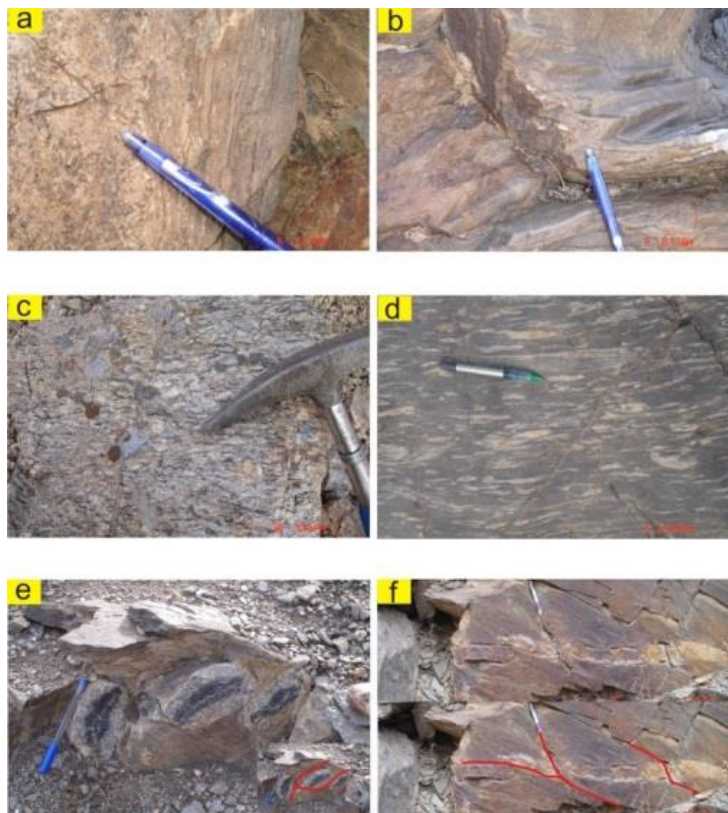


شکل ۱- تصویر شماره ۱- a- نقشه ساختاری ایران، b- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان، c- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات، d- راه‌های دسترسی، e- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه دهق





شکل ۲- تصویر شماره ۲- a- انواع مختلف ماگماهای بازیگ، b- بونین ایجاد شده در مرمر، c- بودین ایجاد شده در گرانیت (باند تورمالینی بودین شده)، d- بودین شدن سینیت در داخل میکاشیست‌ها، e- تزریق سینیت در میکاشیست و چین خوردگی و بودین شدن در فاز جدید، f- تزریق گرانیت در میکاشیست و چین خوردگی در فاز جدید



شکل ۳- a- عدم وجود کنتاكت متامورفیسم مشخص گرانیت و میکاشیست‌ها، b- چین خوردگی ریز گرانیت همراه با میکاشیست، c- میلونیتی شدن توده حسن رباط، d- خطوارگی کششی در آمک‌های کر ناسه پایین مخروط‌های فسیل‌های هیپوریت کشیدگی پیدا کرده است e، f- گرانیت تورمالین دار پس از چین خوردگی در اثر فشار گسل‌های راندگی در آن ایجاد شده است.

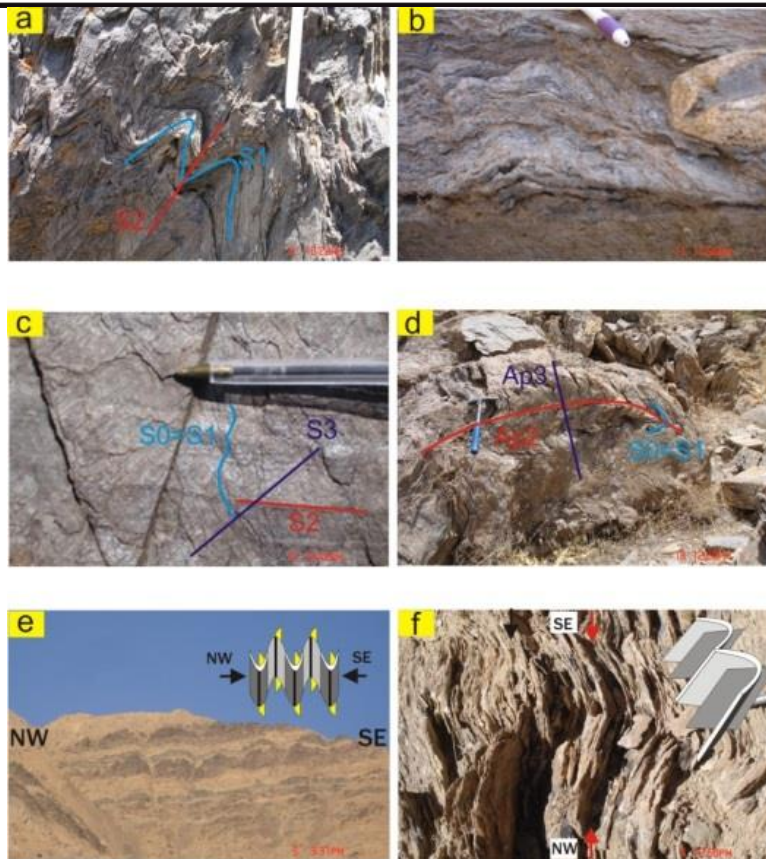


شکل ۴- a- دایک بازیک تزریق شده در مرم‌های و دگرگون شدن در مرحله بعدی دگرگونی ایجاد کانی گارنت و آمفیبول دگرگونی در آن b- نفوذ دایک‌های بازیک در سینیت غرقاب و دگرگون شدن آن در فاز دیگر دگرگونی، c- میلونیتی شدن دایک و سینیت غرقاب، d- تزریق دایک بازیک در توده حسن رباط و دگرگون شدن آن در فاز جدید، e- وجود فلدسپات‌های درشت و اتومورف در گرانیته تورمالین‌دار غرقاب، f- کانی‌های گارنت و استرولیت نسل اول در میکاشیست‌ها



شکل ۵- a- ظهور گارنت نسل دوم در مرم، b- استرولیت و گارنت‌های نسل دوم عمود بر بر گوارگی، c- خطواره پر از گارنت و استرولیت نسل اول توسط خطواره نسل دوم قطع شده است، d,e- ظهور گارنت در مرز بین میکاشیست و توده گرانیته تورمالین‌دار غرقاب، f- پورفیرو بلاست گارنت با رشد مجدد





شکل ۶- a- برگوارگی های نسل یک و دو در میکاشیست b- چین خوردگی گرانیت (قطع کننده S2 میکاشیست) چین خورده و دوباره میکاشیست چین خوردگی مجدد حاصل کرده c- سه نسل برگوارگی در سنگهای شمشک d- سه نسل چین خوردگی در آهکهای کرتاسه e- جدیدترین چین خوردگی در تناوب آهک و بازالت کرتاسه با محور چین با شیب زیاد f- نمای نزدیک از جدیدترین نسل چین خوردگی در آهکهای کرتاسه

### کتابنگاری

- اصول چینه شناسی، اسد ایران پناه، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۶۱
- زمین شناسی روی زمین، رابرت کامپتون- ترجمه بیژن اسفندیاری، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۶۹
- زمین شناسی ساختمانی، اسد ایران پناه، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۵۷
- زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک، حسن مدنی، جهاد دانشگاهی ۱۳۶۴
- سنگ شناسی، فریدون سرابی، اسد ایران پناه و سیروس زرعیان، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۶۲
- مبانی زمین شناسی، پ. بلر- ش. پومرول ترجمه فرامرز پورمعتمد، علی درویش زاده و احمد معتمد، انتشارات دانشگاه تهران ۱۳۶۴
- نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ گلیپایگان تپه ۱۹۶۷
- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات شیخ الاسلامی ۲۰۰۸
- نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کوه دهق موسوی ۲۰۰۸

### references

- Alirezaei S, Hassanzadeh.J, Geochemistry and geochronology of the Permian Hasan Robot granite, Sanandaj-Sirjan metamorphic plutonic belt, West Iran: implications for tectonic setting Finland, 2010