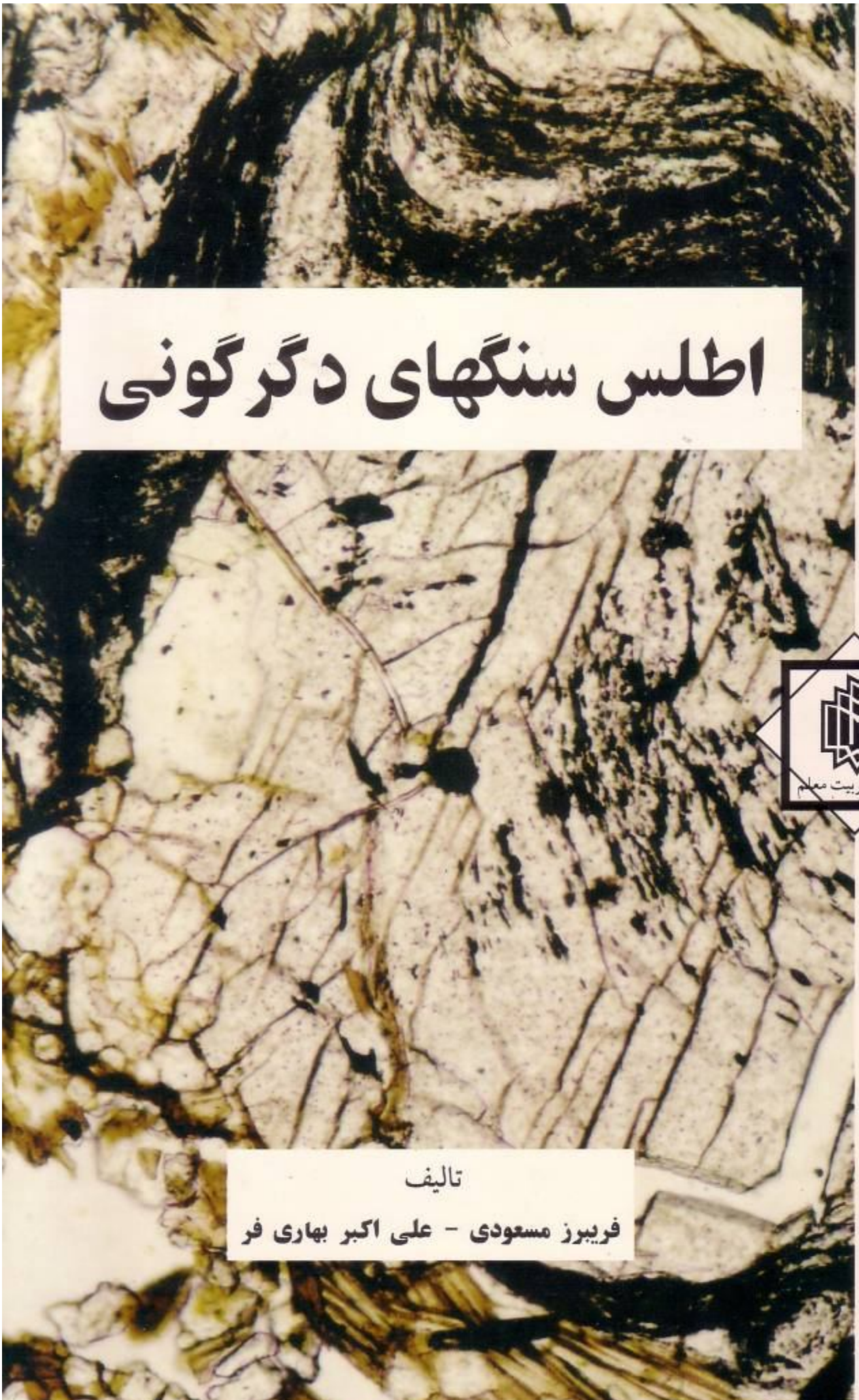


اطلس سنگهای دگرگونی

تالیف

فریبرز مسعودی - علی اکبر بهاری فر

دانشگاه تربیت معلم

بسم الله
الرحمن الرحیم

اطلس سنگ های دگرگونی

تالیف

فریبرز مسعودی
علی اکبر بهاری فر

دانشگاه تربیت معلم

۱۳۸۱

معسودی، فریبرز
اطلس سنگهای دگرگونی/ تالیف فریبرز مسعودی، علی‌اکبر بهاری فر.— تهران: دانشگاه تربیت معلم، ۱۳۸۲.
هفت، ۱۱۱ ص.: مصور (رنگی).
ISBN 964-6706-44-4
فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا.
۱.سنگهای دگرگونه -- اطلسها. ۲.سنگ شناسی ساختاری -- اطلسها. الف.بهاری‌فر، علی‌اکبر. ب.دانشگاه تربیت معلم. ج.عنوان.
QE۴۷۵/۲۲م۵ ۵۵۲/۴۰۲۲۳
کتابخانه‌ملی‌ایران ۸۲-۶۷۷۷م

شناسنامه کتاب

نام کتاب: اطلس سنگ‌شناسی
تألیف: فریبرز مسعودی، علی‌اکبر بهاری‌فر
چاپ و انتشار: دانشگاه تربیت معلم
حروفچینی: معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت‌معلم
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
نوبت چاپ اول: ۱۳۸۲
قیمت: ۵۰۰۰۰ ریال
شابک: ۴-۴۴-۶۷۰۶-۹۶۴ ISBN: 964-6706-44-4

حق چاپ برای دانشگاه تربیت معلم محفوظ است.
آدرس: خیابان دکتر مفتح، شماره ۴۹، کد پستی: ۱۵۶۱۴ ـ تلفن: ۸۱۰۲۱

پیشگفتار

علی رغم افزایش روز افزون کاربرد روش های گوناگون در شناسایی و مطالعه کانی ها و سنگ ها، هنوز مطالعه مقاطع نازک تهیه شده از سنگ ها به عنوان مقدمه ای بر روش های دیگر به طور گسترده کاربرد دارد. در این میان، بررسی میکروسکپی سنگ های آذرین، رسوبی و دگرگونی، اطلاعات جامع و کاملی از تکامل سنگ را ارائه می کند. تشکیل سنگ های دگرگونی در بین فرایندهای آذرین و رسوبی قرار داشته و مطالعه این گروه از سنگ ها کلید درک تحولات زمین شناسی در سرزمین های دگرگون شده است. این در حالی است که مرجع مناسبی به زبان فارسی که الگوی مطالعه این سنگ ها باشد، وجود ندارد. این کتاب می تواند مطالعه کنندگان سنگ های دگرگونی را با مطالب مربوط به این سنگ ها آشنا و مفاهیم اولیه را تبیین کند.

در انتخاب سنگ ها، حتی در مواردی که نمونه های مطالعه شده در دیگر نقاط دنیا گویاتر بوده اند، سعی بر استفاده از نمونه سنگ های مطالعه شده در نقاط مختلف ایران بوده است. تا بدین وسیله استفاده کنندگان اطلس با سنگ های دگرگونی ایران نیز آشنا شوند. به منظور کاستن حجم اطلس، کانی ها در حد تمایز آنها در تصاویر توضیح داده شده اند و فرض بر آن بوده است که خواننده با کانی های متداول سنگ های دگرگونی آشناست.

در استفاده از اسامی و لغات، سعی بر استفاده از معادل های فارسی آنها بوده است، ولی در مواردی که معادل فارسی مناسبی برای آنها متداول نیست، لغات لاتین به صورت فارسی و اغلب با تلفظ فرانسوی نوشته شده اند، زیرا بسیاری از لغات زمین شناسی در ایران با تلفظ فرانسه ادا می شوند.

واضح است که نمی توان تمام مفاهیم سنگ شناسی دگرگونی را در یک کتاب جای داد، بنابر این مطالب این کتاب بر حسب ضرورت و بر اساس برنامه درسی دوره های کارشناسی زمین شناسی و معدن تنظیم شده است، اما در موارد لزوم، نکات کاربردی نیز آورده شده تا برای دانشجویان تحقیقات عالی نیز تازگی داشته باشد. لذا این کتاب در چهار بخش تدوین شده است.

در بخش اول کلیات و تعاریف لازم، دربخش دوم فابریک های متداول سنگ های دگرگونی، در بخش سوم، سنگ های با ترکیب های شیمیایی متفاوت در شرایط دگرگونی مختلف (رخساره های دگرگونی) مورد توجه قرارگرفته و در بخش چهارم، برخی از مواردی که در تفسیر سنگ های دگرگونی (بر اساس مطالعه مقاطع نازک آنها) به کار می روند، بررسی شده اند.

در تمام بخش ها سعی شده است که مطالب توسط عکس، گویا شوند. عکس ها شماره گذاری شده و ارقام مورد استفاده در متن، ارجاع به عکس با همان شماره است. در مواردی که منظور، شماره صفحه ای خاص بوده، توضیح لازم داده شده است.

علی رغم تلاشی که نویسندگان، در تهیه اطلس انجام داده اند، نقص هایی در آن دیده می شود. امید است استفاده کنندگان، کاستی ها و نقص ها را به نویسندگان یادآوری کنند.

تشکر و قدر دانی

در تهیه این اطلس، با توجه به تاکیدی که بر انتخاب نمونه های شاخص از جای جای ایران داشته ایم در مواردی از اساتید و دوستان زمین شناس یاری جسته و از مجموعه نمونه های آنها استفاده شده، که لازم است از این عزیزان، تشکر کنیم.

راهنمائی ها و عکس های دکتر حسین معین وزیری استاد دانشگاه تربیت معلم تهران، کمک بسزایی در تهیه اطلس بوده که قدردانی و سپاس خود را از ایشان اعلام می کنیم.

اساتید و دوستان، دکتر محمد محجل، مهندس علیرضا شیرزادی، مهندس حاج حسین عزیزی، دکتر رضا زارعی سهامیه، مهندس علیرضا داوودیان دهکردی، مهندس علیرضا نجف زاده، مهندس عباس قاسمی، دکتر محمد حسین رضوی، مهندس علی کنعانیان، مهندس مرتضی محمودی و مهندس جمشید احمدیان نیز مجموعه مقاطع خود را در اختیار ما قرار داده اند که از ایشان نیز تشکر می کنیم.

ویرایش ادبی این نوشته را آقای جمشید اثنی عشری تقبل کرده اند که ضمن قدر دانی از ایشان صمیمانه سپاسگذاریم. خانم شهره شمس و خانم اقدس ملکیان با پشتکار و حوصله زحمت حروفچینی این نوشته را به‌عهده داشته اند، که بدینوسیله از ایشان نیز تشکر می کنیم.

مسعودی ـ بهاری فر

فهرست

بخش اول : کلیات

مقدمه ۱

تعریف ۱

عوامل کنترل کننده دگرگونی ۳

ترکیب شیمیایی سنگ اولیه ۳

نمونه (۱) دگرگونی یک سنگ رس دار ٤

نمونه (۲) دگرگونی یک سنگ آهک دولومیتی ناخالص ٥

فشار ٦

نمونه (۳) دگرگونی سنگ مافیک در فشار پایین ۷

نمونه (٤) دگرگونی سنگ مافیک در فشار بالا ۸

حرارت ۹

نمونه (٥) سنگ کربناته دگرگون شده دردمای پایین ۱۰

نمونه (٦) سنگ کربناته دگرگون شده در دمای متوسط ۱۱

نمونه (۷) سنگ کربناته دگرگون شده در دمای بالا ۱۲

سیال های دگرگونی ۱۳

نمونه (۸) دگرگونی سنگ اولترامافیک در حضور سیال ۱٤

نامگذاری سنگ های دگرگونی ۱٥

انواع دگرگونی ۱۷

فشار و حرارت حاکم بر دگرگونی ۲۱

بخش دوم: فابریک سنگ های دگرگونی

مقدمه ۲۳

فابریک های دانه ای ۲٤

نمونه (۹) فابریک گرانوبلاستیک ۲٥

فابریک های وابسته به آرایش سازنده های سنگ ۲٦

نمونه (۱۰) فابریک لپیدوبلاستیک ۲۷

نمونه (۱۱) فابریک نماتوبلاستیک ۲۸

نمونه (۱۲) فابریک پورفیروبلاستیک ۲۹

نمونه (۱۳) فابریک دسته علفی ۳۰

نمونه (۱۴) فابریک متقاطع ۳۱

فابریک های مرکب ۳۲

نمونه (۱٥) فابریک گرانولپیدوبلاستیک ۳۲

نمونه (۱٦) فابریک گرانونماتوبلاستیک ۳۳

نمونه (۱۷) فابریک پورفیروگرانوبلاستیک ۳٤

فابریک های حاصل از دگرگونی دینامیک ۳٥

نمونه (۱۸) فابریک پروتومیلونیتی ۳٦

نمونه (۱۹) فابریک میلونیتی ۳۷

نمونه (۲۰) فابریک اولترامیلونیتی/ چشمی ۳۸

فابریک های وابسته به شکل و محتوای دانه های منفرد ۳۹

نمونه (۲۱) فابریک نودولار ٤۰

نمونه (۲۲) فابریک پوئی کیلویلاستیک ۴۱
نمونه (۲۳) فابریک زونینگ ۴۲

بخش سوم: انواع سنگ های دگرگونی

مقدمه ۴۳

دگرگونی گلسنگ ها (پلیت ها) ۴۵

گلسنگ ها در رخساره پرهنیت - پومپله ایت ۴۶
نمونه (۲۴) اسلیت ۴۶
گلسنگ ها در رخساره شیست سبز ۴۷
نمونه (۲۵) فیلیت ۴۷
نمونه (۲۶) پیونیت ـ مسکویت شیست ۴۸
نمونه (۲۷) کلریتوئید ـ گارنت شیست ۴۹
نمونه (۲۸) آندالوزیت شیست ۵۰
گلسنگ ها در رخساره آمفیبولیت ۵۱
نمونه (۲۹) سیلیمانیت شیست ۵۱
نمونه (۳۰) کیانیت شیست ۵۲
نمونه (۳۱) استرولیت شیست ۵۳
نمونه (۳۲) گارنت ـ بیوتیت ـ مسکویت گنیس ۵۴
گلسنگ ها در رخساره هورنبلند هورنفلس ۵۵
نمونه (۳۳) شیست لکه دار ۵۵
نمونه (۳۴) آندالوزیت ـ کردیریت ـ هورنفلس ۵۶
گلسنگ ها در رخساره پیروکسن هورنفلس ۵۷
نمونه (۳۵) کردیریت ـ آلکالی فلدسپات هورنفلس ۵۷
نمونه (۳۶) سیلیمانیت ـ کردیریت هورنفلس ۵۸
نمونه (۳۷) سیلیمانیت ـ کردیریت ـ ارتوز گنیس ۵۹

دگرگونی ماسه سنگ ها ۶۰

ماسه سنگ ها در رخساره شیست سبز ۶۰
نمونه (۳۸) کوارتزیت ۶۰
نمونه (۳۹) مسکویت ـ کلریت ـ متاآرکوز ۶۱
نمونه (۴۰) بیوتیت ـ متاآرکوزوک (شیست) ۶۲
نمونه (۴۱) اپیدوت ـ آمفیبول ـ بیوتیت شیست ۶۳
ماسه سنگ ها در رخساره آمفیبولیت ۶۴
نمونه (۴۲) آمفیبول گنیس ۶۴

دگرگونی سنگ های کربناته ۶۵

سنگ های کربناته در رخساره شیست سبز ۶۶
نمونه (۴۳) تالک مرمر ۶۶
نمونه (۴۴) بروسیت ـ فلوگوپیت مرمر ۶۷
نمونه (۴۵) کالک شیست ۶۸
سنگ های کربناته در رخساره آمفیبولیت ۶۹
نمونه (۴۶) ترمولیت مرمر ۶۹
نمونه (۴۷) ترمولیت ـ دیوپسید کالک سیلیکات ۷۰
نمونه (۴۸) ترمولیت ـ دیوپسید ـ گارنت کالک سیلیکات ۷۱
سنگ های کربناته در رخساره هورنبلند هورنفلس ۷۲
نمونه (۴۹) فورستریت ـ مرمر ۷۲
سنگ های کربناته در رخساره پیروکسن هورنفلس ۷۳
نمونه (۵۰) ولاستونیت ـ دیوپسید ـ فورستریت مرمر ۷۳
سنگ های کربناته در رخساره سانیدینیت ۷۴
نمونه (۵۱) مونتی سلیت ـ فورستریت ـ اسپینل مرمر ۷۴

دگرگونی سنگ های مافیک ۷۵

سنگ های مافیک در رخساره زئولیتی ۷۶
نمونه (۵۲) متا آندزیت (متابازالت) ۷۶
سنگ های مافیک در رخساره پرهنیت-پومپله ایت ۷۷
نمونه (۵۳) پرهنیت متابازیت ۷۷
نمونه (۵۴) اپیدوت ـ کلریت متاآندزیت ۷۸
سنگ های مافیک در رخساره شیست سبز ۷۹
نمونه (۵۵) مگنتیت ـ کلریت شیست ۷۹
نمونه (۵۶) اکتینولیت ـ اپیدوت گرانوفلس ۸۰
سنگ های مافیک در رخساره آمفیبولیت ۸۱
نمونه (۵۷) اپیدوت ـ آمفیبولیت ۸۱
نمونه (۵۸) آمفیبولیت ۸۲
نمونه (۵۹) گارنت آمفیبولیت ۸۳
سنگ های مافیک در رخساره شیست آبی ۸۴
نمونه (۶۰) گلوکوفان شیست ۸۴
سنگ های مافیک در رخساره اکلوژیت ۸۵
نمونه (۶۱) اکلوژیت ۸۵

سنگ های مافیک در رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس ۸۶
نمونه (۶۲) کلریت ـ آلبیت ـ اپیدوت هورنفلس ۸۶
سنگ های مافیک در رخساره هورنبلند هورنفلس ۸۷
نمونه (۶۳) هورنبلند هورنفلس ۸۷
سنگ های مافیک در رخساره پیروکسن هورنفلس ۸۸
نمونه (۶۴) پیروکسن هورنفلس ۸۸
دگرگونی سنگ های اولترامافیک ۸۹
سنگ های اولترامافیک دررخساره پرهنیت
پومپله ایت/ شیست سبز ۸۹
نمونه (۶۵) تالک ـ کلریت سرپانتینیت ۸۹
سنگ های اولترامافیک در رخساره شیست سبز ۹۰
نمونه (۶۶) ترمولیت سرپانتینیت ۹۰

بخش چهارم: تفسیر سنگ های دگرگونی

مقدمه ۹۱
تقدم و تاخر ظهور کانی ها نسبت به فازهای دگرشکلی ۹۳
کانی های پره تکتونیک ۹۴
نمونه (۶۷) کوارتز پره تکتونیک ۹۴
نمونه (۶۸) فلدسپات پره تکتونیک ۹۵
نمونه (۶۹) گارنت پره تکتونیک ۹۶
کانی های سین تکتونیک ۹۷
نمونه (۷۰) بیوتیت سین تکتونیک ۹۷
نمونه (۷۱) استرولیت سین تکتونیک ۹۸
کانی های پست تکتونیک ۹۹
نمونه (۷۲) کلریت پست تکتونیک ۹۹
نمونه (۷۳) بیوتیت پست تکتونیک ۱۰۰
رشد پیچیده ۱۰۱
نمونه (۷۴) رشد پیچیده پورفیروبلاست ۱۰۱
نمودارهای شیمیایی و واکنش های دگرگونی ۱۰۲
نمونه (۷۵) کردیریت هورنفلس ۱۰۲
نمودارهای پایداری و تعیین محدوده حرارت و فشار ۱۰۳
نمونه (۷۶) آندالوزیت ـ سیلیمانیت ـ کردیریت هورنفلس ۱۰۳
دگرگونی برگشتی ۱۰۴
نمونه (۷۷) دگرگونی برگشتی در آندالوزیت شیست ۱۰۴
نمونه (۷۸) دگرگونی برگشتی در گارنت شیست ۱۰۵
نمونه (۷۹) دگرگونی برگشتی در استرولیت شیست ۱۰۶
تغییرات حرارت و فشار ۱۰۷
نمونه (۸۰) تغییر رخساره اکلوژیت به رخساره آمفیبولیت ۱۰۷
نمونه (۸۱) تغییر ازدگرگونی مجاورتی به ناحیه ای ۱۰۸
نمونه (۸۲) تغییر دگرگونی حرارت بالا به فشار بالا ۱۰۹
منابع ۱۱۱
راهنمای موضوعی ۱۱۲

بخش اول: کلیات

مقدمه

مطالعه سنگ های دگرگونی مستلزم دانستن مفاهیم اولیه، مانند تعریف دگرگونی، عوامل موثر بر دگرگونی، انواع دگرگونی و رخساره دگرگونی است که این موارد به طور مختصر در جدول الف مورد توجه قرار گرفته اند. با دانستن این مفاهیم است که می توان سنگ های دگرگونی را از جنبه های مختلف فیزیکی و شیمیایی مورد مطالعه قرار داد (بخش چهارم). لذا اطلاع از این بخش لازمه مطالعه قسمت های دیگر اطلس است.

تعریف

هنگامی که دما و یا فشار حاکم بر سنگ به طور محسوسی تغییر کند، محیط جدیدی به وجود می‌آید که سنگ در آن پایدار نبوده و با ایجاد تغییراتی، خود را با شرایط جدید تطبیق می دهد تا دوباره با محیط تازه به تعادل برسد. این فرایند را دگرگونی و سنگ تغییر یافته را سنگ دگرگونی می نامند.

دگرگونی یعنی تغییر و این تغییر در حالت جامد و معمولا در حضور مقدار کمی سیال و در محدوده حرارت و فشار بین تشکیل سنگ های رسوبی و آذرین صورت می گیرد. تغییرات به صورت تغییر کانی‌شناسی و یا تغییر شکل ، ظاهر می شوند. یعنی کانی های سنگ در شرایط جدید پایدار نیستند و با زمینه و یا یکدیگر واکنش می دهند تا مجموعه کانی های جدیدی را به وجود آورند که بتوانند در فشار و حرارت جدید پایدار باشند.

به عنوان مثال کانی های رسی در یک سنگ رسی هنگامی که تحت تاثیر حرارت و یا فشار بالا قرار می گیرند، طی واکنش هایی با آزاد سازی مقداری آب به کانی های دیگری تبدیل می شوند. در اغلب موارد بدون آنکه موادی به سنگ اضافه و یا از آن کم شود، کانی شناسی سنگ با توجه به ترکیب اولیه سنگ تغییر می کند. تشکیل کانی های جدید و یا رشد کانی های قبلی در اثر نیروهای وارده بر سنگ، آرایش سنگ را بر هم زده و باعث می شود که ساختار جدیدی در سنگ شکل گیرد.

در ساختار جدید، اندازه دانه ها تغییر کرده واغلب به صورت موازی آرایش یافته و یا حداقل جهت‌یافتگی ترجیحی در اکثر موارد دیده می شود. در شرایطی که دگرگونی شدید باشد، ساختار قبلی به طور کلی از بین می رود. با تغییر آرایش اجزا سنگ و ترکیب کانی شناسی جدید، سیستم حاکم بر سنگ به حالت تعادل و پایداری می رسد.

جدول الف ـ مفاهیم اولیه در سنگ شناسی دگرگونی

دگرگونی	هنگامی که دما و یا فشار حاکم بر سنگ به طور محسوسی تغییر کند، محیط جدیدی به وجود می‌آید که سنگ دیگر به همان شکل سابق ، در محیط جدید پایدار نیست و باید با ایجاد تغییراتی، خود را با شرایط جدید تطبیق دهد و دوباره با محیط تازه به تعادل برسد. این فرایند را دگرگونی و سنگ تغییر یافته را سنگ دگرگونی نامند.
عوامل موثر بر دگرگونی	دگرگونی می تواند بر انواع سنگ ها اثر کند، اما نوع و میزان تغییرات، بسته به ترکیب شیمیایی سنگ اولیه، فشار و حرارت تحمیل شده بر سنگ و همچنین ماهیت سیال های موجود، متفاوت خواهد بود.
نامگذاری سنگ های دگرگونی	نام های سنگ های دگرگونی اغلب توصیف کننده سنگ بوده و اصطلاحات به کار برده شده محدود هستند. توصیف سنگ بر حسب کانی شناسی، فابریک و یا سنگ مادر آن است و در نامگذاری سنگ‌های دگرگونی سعی بر آن است که تمام موارد یاد شده در نظر گرفته شوند. نام‌های به کار رفته، معمولا از یک نام اصلی و گروهی از پیشوند ها و پسوند ها تشکیل می‌شود. نام اصلی اغلب بر اساس فابریک یا کانی شناسی سنگ که منعکس کننده ترکیب شیمیایی سنگ اولیه است، انتخاب می‌شود. از نظر فابریک، سنگ های دگرگونی به طور کلی می توانند به سه گروه سنگ های دارای فولیاسیون شدید، سنگ های با فولیاسیون ضعیف و سنگ های فاقد فولیاسیون مشخص تقسیم شوند. از نظر ماهیت سنگ مادر، گروه های مختلف سنگ های کربناته، رسی (پلیتی)، اولترامافیک ومافیک قابل تمایز هستند.
انواع دگرگونی	دگرگونی در شرایط زمین شناسی متنوعی روی می دهد وگروه های عمده دگرگونی های بزرگ مقیاس (دگرگونی ناحیه ای، دگرگونی بستر اقیانوس ها و دگرگونی تدفینی) و دگرگونی های محلی (مجاورتی، گرمابی، کاتاکلاستیک و ضربه ای) قابل تفکیک هستند.
فشار و حرارت حاکم بر دگرگونی (رخساره دگرگونی)	حضور کانی ها در یک سنگ دگرگونی تابع دو عامل ترکیب شیمیایی سنگ و فشار و حرارتی که هنگام تشکیل سنگ بر آن حاکم بوده، می باشد. لذا با توجه به مجموعه کانی های موجود در سنگ های دگرگونی می توان فشار و حرارت حاکم بر آن را تخمین زد. به منظور پرهیز از به‌کارگیری نام کانی ها به عنوان تنها شاخص حرارت و فشار حاکم بر سنگ در هنگام تشکیل، اسکولا مفهوم رخساره دگرگونی را مطرح نمود. بنا به تعریف رخساره دگرگونی محدوده ای از فشار و حرارت است که با توجه به ترکیب شیمیایی سنگ، مجموعه کانی های خاصی در آن ظاهر می شوند.

عوامل کنترل کننده دگرگونی

دگرگونی می تواند بر انواع سنگ ها اثر کند، نوع و میزان تغییرات به نسبت ترکیب شیمیایی سنگ اولیه، فشار و حرارت تحمیل شده بر سنگ و همچنین ماهیت سیال های موجود، متفاوت خواهد بود. تاثیر هر یک از عوامل یاد شده، به دنبال این مقدمه مورد توجه قرار گرفته است.

ترکیب شیمیایی سنگ اولیه

در طبیعت سنگ های آذرین و رسوبی متفاوت با تنوع زیاد وجود دارند که ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی و به طور کلی محیط تشکیل آنها با هم متفاوت است و تاثیر دگرگونی بر سنگ های متفاوت یکسان نیست. یک سنگ رس دار، یک سنگ رسوبی است که از اجزای مختلفی که به طور عمده کانی‌های رسی و کوارتز هستند، تشکیل شده است و این کانی ها کم و بیش در شرایط رسوبی پایدارند. اما هنگامی که فشار و حرارت بالایی بر سنگ تحمیل شود چه اتفاقی رخ می دهد؟

کانی های رسی در دما و فشار بالا پایدار نبوده و به کانی های کم آب تری(مانند کلریت و میکا) تبدیل می‌شوند، و یا با کوارتز واکنش داده و کانی های دگرگونی جدیدی را به وجود می آورند. به طور مثال، یک شیل که غنی از رس است در شرایط فشار و حرارت خاص تبدیل به آندالوزیت - کردیریت هورنفلس می شود (نمونه ۱). یک سنگ آهک ناخالص ترکیب شیمیایی متفاوتی نسبت به شیل دارد و اگر در همان شرایط فشار و حرارت سنگ قبلی قرار گیرد به یک مرمردیوپسیددار (نمونه۲) تبدیل خواهد شد.

تفاوت کانی شناسی این دو سنگ با فرض ثابت بودن فشار و حرارت، ناشی ازتفاوت ترکیب اولیه این سنگ هاست. با توجه به ترکیب شیمیایی هر سنگ، کانی هایی که در اثر دگرگونی در آن رشد می کند و تغییراتی که سنگ متحمل می شود، متفاوت از یکدیگر است.

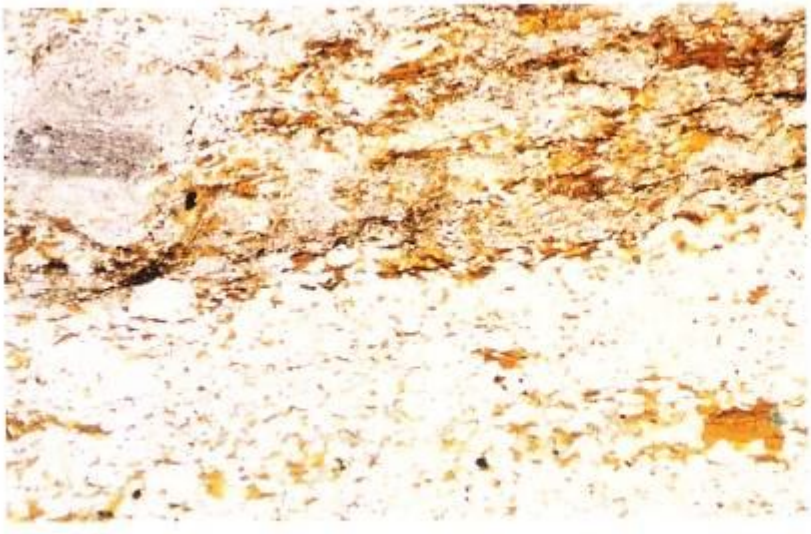
نمونه (۱)

دگرگونی یک سنگ رس دار

آندالوزیت-کردیریت هورنفلس

در نمونه، یک بخش غنی از میکا در پایین و یک بخش غنی از کوارتز در بالا دیده می شود. در بخش غنی از میکا، بلور درشت آندالوزیت به‌شکل مربع در سمت چپ و بلورهای ریز و بی شکل کردیریت در داخل متن سنگ قرار دارند که بلورهای کردیریت به صورت لکه هایی کمرنگ در حالت نیکول های موازی و لکه های خاکستری تیره در حالت نیکول های عمود مشخص هستند.

در بخش غنی از کوارتز اثری از کردیریت و آندالوزیت دیده نمی شود و تنها کانی بیوتیت و یک بلور کوچک تورمالین در گوشه بالای سمت راست وجود دارد که به بیوتیت بزرگ چسبیده و مرکز آن سبز کمرنگ و حاشیه آن زرد است. این اختلاف در دو بخش، ناشی از تفاوت ترکیب اولیه سنگ است، به نحوی که در طی دگرگونی در بخش غنی از رس ، مقادیر فراوانی بیوتیت، به‌همراه کردیریت و آندالوزیت متبلور شده، ولی بخش غنی از کوارتز که ماهیت سیلتستونی داشته، در اثر فقدان ترکیبات لازم، موفق به تبلور این کانی ها نشده است.

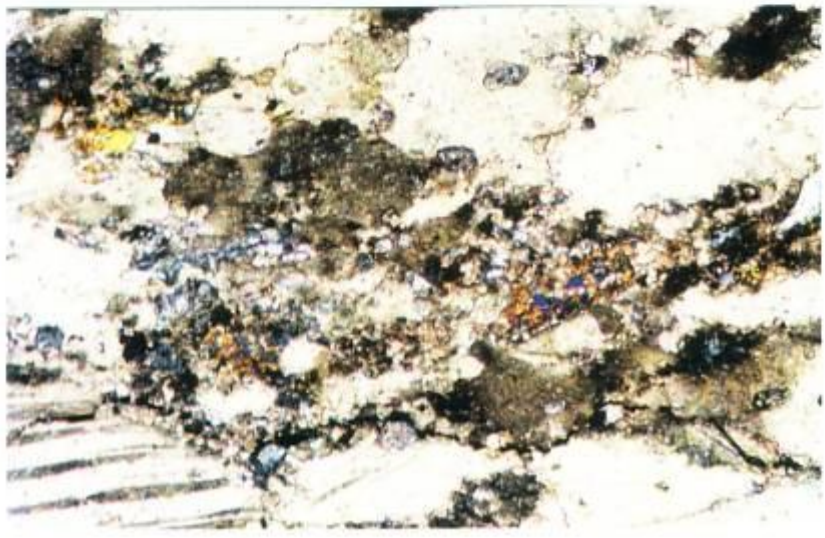


بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

نمونه (۲)

دگرگونی یک سنگ آهک دولومیتی ناخالص

مرمر دیوپسید دار



بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه نیریز

سنگ یک مرمر است که در شرایطی شبیه بـه شرایط فشار و حرارت نمونه رس سنگ (نمونـه ۱) دگرگون شده، اما به علت اختلاف در ترکیـب اولیه، کانی های کاملا متفاوتی در آن ساخته شده است. این سنگ که ابتدا یک سـنگ کربناتـه بـا مقدار کمی ناخالصی (از جمله کوارتـز) بـوده، توانسته است بلورهـای دیـوپسید را در کنـار بلورهای کلسیت، (که بخش عمـده ای از سـنگ را شـامل مـی شـوند)، متبلـور کنـد. بلورهـای دیوپسید در حالت نیکول های موازی برجسـتگی بالا داشـته و در حـالت نیکـول هـای عمـود بیرفرنژانس زرد، قرمز تا بنفش دارند و تجمعی از آنها در مرکز عکس دیده می شود.

بقایای بلورهای کوارتز نیز با برجستگی پایین و بیرفرنژانس خاکستری در تصویر دیده می شود. چند بلور ریز نیز که با شکل منظم و برجسـتگی بالا در حالت نیکول های موازی به خصوص در بالای عکس دیده می شوند، بلورهای گروسولر هستند که در حال شکل گرفتن هستند.

فشار

میزان و نوع فشاری که بر سنگ اعمال می شود، متفاوت است. به عنوان مثال، سنگی که در عمق حدود ۳ کیلومتری و سنگی که در عمق ۱۰ کیلومتری قرار دارد، فشارهای مختلفی را تحمل می کنند. نوع فشار نیز متفاوت است. گاه فقط فشار ، ناشی از وزن طبقات بالایی است و گاه در اثر نیروهای تکتونیکی فشار جهت دار به سنگ وارد می شود. فشارهای ناشی از وزن طبقات و فشارهای جهت دار نقش متفاوتی در دگرگونی دارند. به طور کلی، تغییر فشار موجب تغییر کانی ها می شود و با بالا رفتن فشار، کانی هایی ظاهر می شوند که وزن مخصوص بیشتری داشته و در فشار جدید پایدارترند.

به عنوان مثال یک سنگ مافیک در حرارت و فشار پایین، تبدیل به متادیوریتی می شود که کانی پرهنیت در آن پایدار است (نمونه ۳)، سنگ مافیک دیگری که در همان حرارت ولی فشارهای بسیار بالاتر قرار گرفته، تبدیل به گلوکوفان شیست شده (نمونه٤) و کانی گلوکوفان که در فشارهای بالا پایدار است، در آن ظاهر خواهد شد. به فرض ثابت بودن حرارت، تفاوت نهایی در نوع کانی ها، در اثر تفاوت در فشار حاصل شده است.

نمونه (۳)

دگرگونی سنگ مافیک در فشار پایین

متا دیوریت

بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه شمال سبزوار

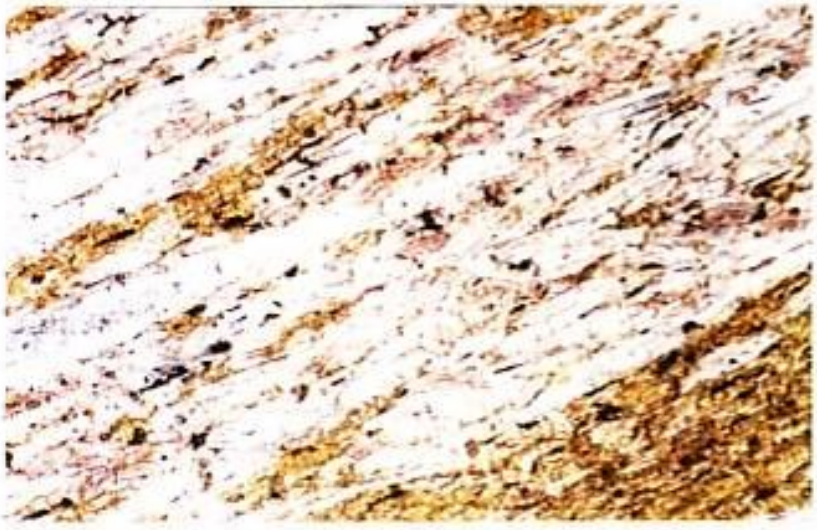
سنگ، یک دیوریت دگرگون شده را نشان می دهد که کانی های هورنبلند و پلاژیوکلاز در آن هنوز قابل تشخیص هستند و تفاوت آن با سنگ دگرگون نشده، وجود کانی پرهنیت است که با رنگ سفید در حالت نیکول های موازی و با بیرفرنژانس زرد پررنگ، نارنجی و بنفش در حالت نیکول های عمود، در سمت چپ تصویر به‌صورت لکه ای بزرگ دیده می‌شود.

پلاژیوکلازها با بیرفرنژانس خاکستری تا سیاه در حال تجزیه بوده و در برخی از آنها، تجزیه به‌حدی پیش رفته که ماکل پلی سنتتیک اولیه قابل تشخیص نیست (گوشه بالای سمت راست). بلورهای هورنبلند با رنگ سبز و بیرفرنژانس زرد- سبز بیشتر در سمت راست تصویر قرار گرفته اند. لکه های سیاهی که در نور عادی در سمت راست دیده می شوند، اکسیدهای آهن هستند.

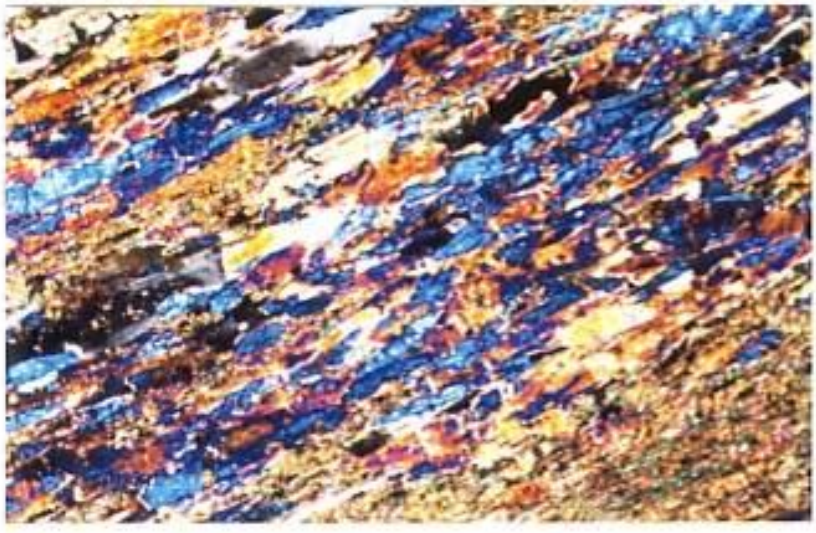
نمونه (٤)

دگرگونی سنگ مافیک در فشار بالا

گلوکوفان شیست



نمونه سنگ مافیکی است که در حرارتی معادل سنگ قبلی (نمونه ۳)، ولی فشاری بسیار بالاتر، دگرگون شده و کانی های گلوکوفان و زوئیزیت در آن ظاهر شده اند. بلورهای کشیده گلوکوفان بخش عمده تصویر را اشغال کرده و بیرفرنژانس زرد، نارنجی و عمدتا آبی را از خود نشان می دهند. این کانی به آسانی با پلئوکروئیسم آبی در حالت نیکول های موازی قابل تشخیص است.



بلورهای کوچکتر زوئیزیت با برجستگی بالا و رنگ زردتر نسبت به گلوکوفان در حالت نیکول های موازی، در بین بلورهای گلوکوفان و به خصوص در حاشیه پایین سمت راست دیده می شوند. بلورهای سوزنی شکلی که در بین زوئیزیت ها به رنگ سفید در حالت نیکول های موازی و با بیرفرنژانس سبز، آبی و بنفش در حالت نیکول های عمود دیده می شوند، پاراگونیت هستند. لکه های تیره رنگ در حالت نیکول های موازی کانی های فلزی می باشند.

بزرگنمایی ۳۵ ×، منطقه نیریز؟

حرارت

حرارت مهم ترین عامل تغییرات دگرگونی است. اهمیت حرارت به حدی زیاد است که اکثر تقسیم‌بندی های دگرگونی، بر مبنای تغییرات حرارت بنیان گذاری شده و درجه دگرگونی نیز بر مبنای آن تعریف می شود.

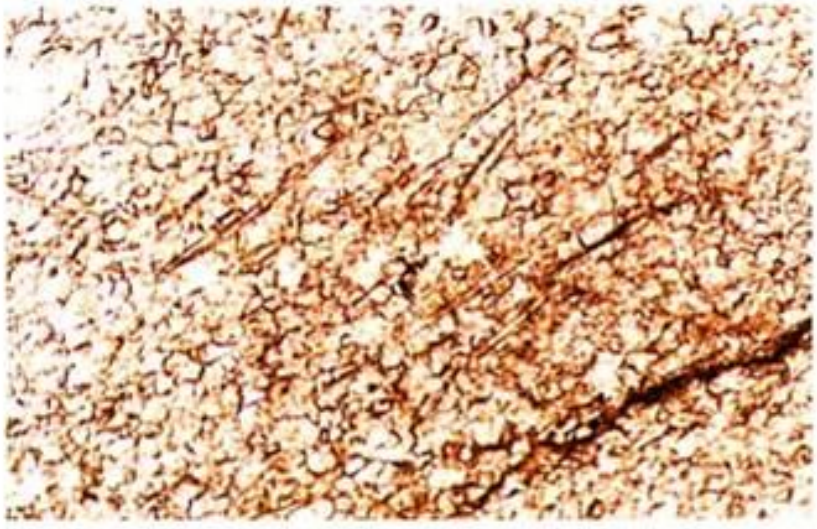
همانند فشار، تغییر در حرارت می تواند سنگ های با ترکیب شیمیایی متفاوت را ناپایدار سازد و کانی‌هایی که در شرایط قبلی پایدار بوده اند، در شرایط جدید ناپایدار شده و پس از واکنش های متفاوت، کانی هایی در سنگ ظاهر می شوند که در دمای جدید پایدارند. بر حسب شدت تغییر حرارت، ترکیب کانی شناسی نیز متفاوت خواهد بود. فرض کنید یک دایک گابرویی یا دیوریتی به داخل سنگ های آهکی نفوذ کند. واضح است که سنگ های نزدیک به دایک، حرارت بیشتری نسبت به سنگ های دورتر از آن دریافت خواهند کرد. بنابر این هر چند فشار و ترکیب شیمیایی محیط ثابت است، اما با توجه به تغییر حرارت در فواصل مختلف دایک، تغییرات مختلفی در سنگ بروز خواهد کرد. در فواصل نسبتا دورتر از دایک که سنگ ها حرارت کمی دریافت می کنند، یک تالک مرمر تشکیل می‌شود (نمونه ۵). در بخش‌های نزدیک به دایک، کانی ترمولیت متبلور شده و یک ترمولیت مرمر تشکیل می شود (نمونه ۶). در مجاورت بلافصل دایک که حرارت بسیار بالاست، ترمولیت نیز ناپایدار شده و کانی های جدیدی که در حرارت بالا پایدارند، به وجود خواهند آمد و بدین ترتیب یک مونتی‌سیلیت ـ اسپینل مرمر شکل می گیرد (نمونه ۷).

تغییرات حرارت هم در مجاورت توده های نفوذی و در هم مقیاس ناحیه ای رخ داده و باعث تغییر کانی شناسی سنگ دگرگونی می شود.

نمونه (۵)

سنگ کربناته دگرگون شده در دمای پایین

تالک مرمر



بخش عمده سنگ را کانی های کلسیت و دولومیت تشکیل می دهند. این دو کانی هر دو دارای بیرفرنژانس بالا هستند و تفکیک آنها از یکدیگر با روش های شیمیایی میسر است.

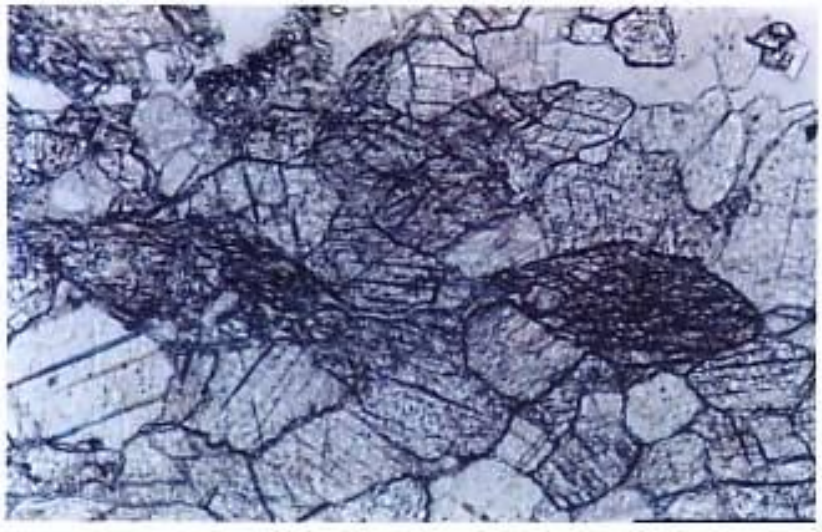
تالک کانی دیگر سنگ است که به صورت کشیده و با بیرفرنژانس زرد، آبی و بنفش درحالت نیکول های عمود مشخص است. از آنجا که تالک در درجه حرارت های پایین پایدار است، وجود این کانی گویای آن است که سنگ تحت تاثیر حرارت زیادی قرار نگرفته است. یک بلور کوارتز نیز با بیرفرنژانس خاکستری در گوشه بالای سمت چپ دیده می‌شود.

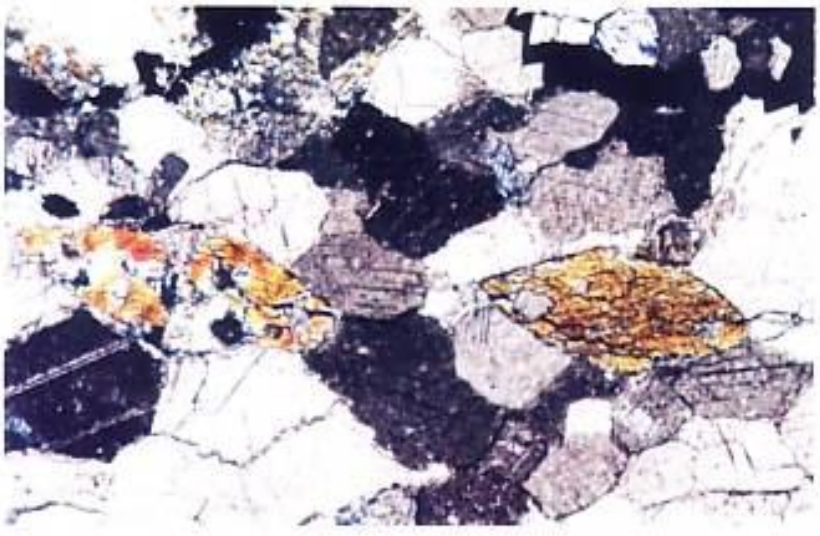
بزرگنمایی ۱۰۰ ×. منطقه شمال شهرکرد

نمونه (٦)

سنگ کربناته دگرگون شده در دمای متوسط

ترمولیت مرمر





بزرگنمایی ۵۰×، منطقه تکاب

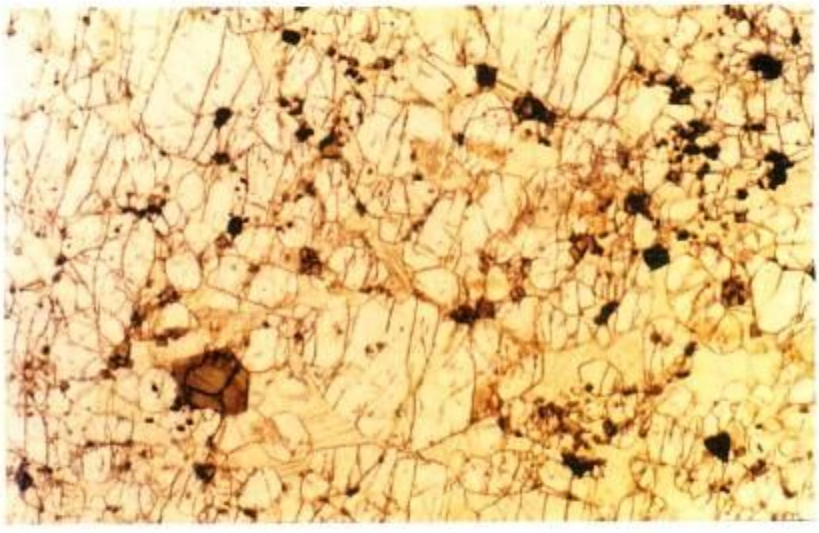
سنگ عمدتا از بلورهای کلسیت و دولومیت تشکیل شده است که بلورهای درشت شکل دار آمفیبول از نوع ترمولیت با بیرفرنژانس زرد و رخ لوزی در بین آنها دیده می شود.

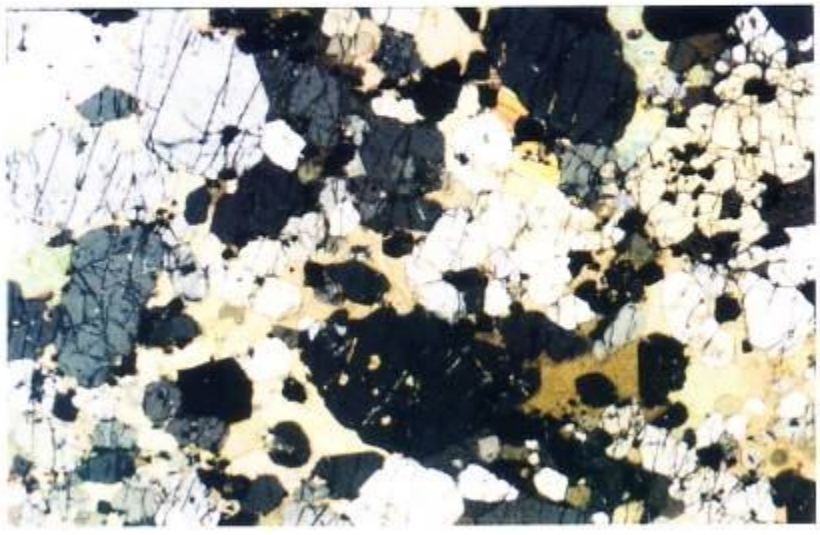
این سنگ در حرارت بیشتری نسبت به سنگ تالک مرمر قبلی (نمونه ۵) دگرگون شده است، زیرا کانی ترمولیت که در حرارت بالاتری نسبت به تالک تشکیل می شود، در آن دیده می شود.

نمونه (۷)

سنگ کربناته دگرگون شده در دمای بالا

مونتی سیلیت ـ اسپینل مرمر





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه یزد

سنگ از مجاورت بلافصل یک توده گابرویی برداشته شده است ویک مونتی سیلیت ـ اسپینل مرمر است. در دمای بسیار بالا کانی های جدیدی که در حرارت بالا پایدارند، در سنگ ظاهر شده اند.

کانی مونتی سیلیت در حالت نیکول های موازی بی رنگ بوده و در حالت نیکول های عمود، بیرفرنژانس سفید، خاکستری و سیاه نشان می دهد وبلورهای بی شکل آن در اندازه های متفاوت و فراوان در سنگ دیده می شوند. بلورهای اسپینل با رنگ قهوه ای کمرنگ در سنگ پراکنده هستند و نمونه درشتی از آن در سمت چپ عکس به صورت نیمه شکل دار دیده می‌شود. کانی هایی که به رنگ سیاه در حالت نیکول‌های موازی دیده می شوند و مربعی یا مثلثی (گوشه پایین سمت راست) هستند، پروسکیت هستند. پروسکیت و اسپینل در حالت نیکول های عمود ، ایزوتروپ بوده و سیاه دیده می شوند. بین کانی های نامبرده فوق را کلسیت پر کرده است که با بیرفرنژانس بالا قابل شناسایی است.

سیال های دگرگونی

سیال ها طی دگرگونی نقش عمده ای ایفا می کنند. وجود کانی های آبدار در سنگ های دگرگونی نشانه حضور سیال ها در فرایند دگرگونی است. طی واکنش های دگرگونی پیشرونده، آب و مواد فرار از کانی های آبدار، مانند رس ها، میکاها و آمفیبول ها آزاد و حداقل تا زمانی که از محیط خارج شوند، تاثیرگذار هستند. از طرفی مطالعه سنگ های دگرگونی گویای وجود سیال ها به صورت ادخال در اینگونه سنگ ها ست. ادخال‌ها در رگه های کوارتز و کانی های درشت فراوان تر هستند.

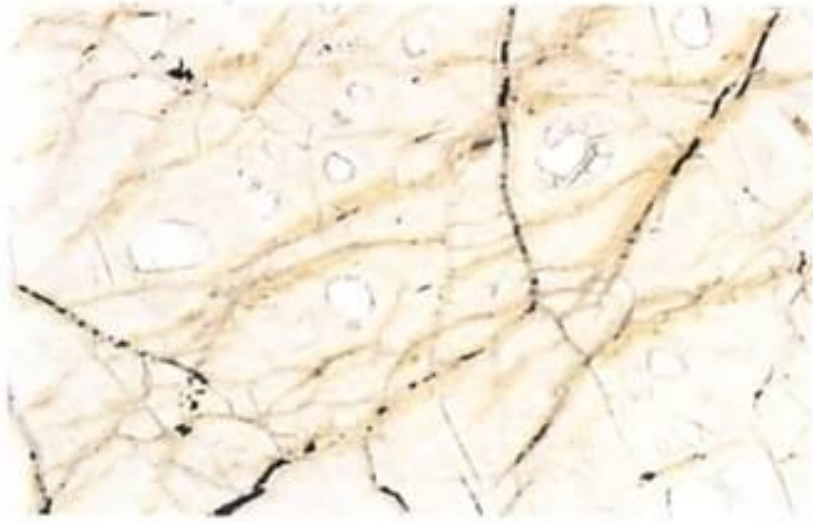
همیشه تغییر حرارت به صورت افزایش حرارت نیست. بلکه در مواردی مانند دگرگون شدن سنگ‌های آذرین، سنگ های دگرگون شده در شرایط دمایی کمتر از دمای تشکیل سنگ اولیه قرار می گیرند و دگرگونی در اثر کم شدن حرارت صورت می گیرد.

در این شرایط سیال ها نقش بسزایی دارند. به عنوان مثال اگر بازالت های تشکیل شده در ریفت‌های اقیانوسی را در نظر بگیریم، کانی های این بازالت در محیط خشک در دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد در حالت تعادل هستند. اگر این سنگ ها در محیط کاملا خشک ولی در دمای بسیار پایین قرار گیرند، اتفاق عمده ای در کانی های سازنده آن رخ نخواهد داد ولی در حضور آب واکنش های درجه حرارت پایین، مانند آنچه در کف اقیانوس ها روی می دهد، به وجود می آیند و کانی های دگرگونی آبدار که در شرایط جدید پایدار هستند ،تشکیل می شوند

مثال دیگر، تبدیل کانی های تشکیل شده در حرارت بالا به کانی های آبدار پایدار در حرارت پایین، تبدیل سنگ های اولترامافیک مانند دونیت به سرپانتینیت است (نمونه ۸).

نمونه (۸)

دگرگونی سنگ اولترامافیک در حضور سیال سرپانتینیت



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه سبزوار

در این سنگ الیوین با آب واکنش داده و سرپانتین به وجود آمده است. سرپانتین کانی اصلی تشکیل دهنده این سنگ است و بقایای الیوین های سرپانتینیتی نشده نیز در لابلای آنها دیده می شود.

سرپانتین با برجستگی پایین در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس پایین (خاکستری روشن تا تیره) مشخص است. بلورهای دانه ای الیوین نیز با برجستگی بالا و بیرفرنژانس زرد، آبی تا نارنجی قابل تفکیک است. رگچه های حاوی کلریت و کانی های کدر نیز در سنگ دیده می شوند.

نامگذاری سنگ های دگرگونی

نامگذاری سنگ های دگرگونی ساده و اصطلاحات به کار برده شده محدود می باشند. نام های به‌کار رفته در سنگ شناسی دگرگونی، اغلب توصیف کننده سنگ هستند. توصیف سنگ بر حسب کانی‌شناسی، فابریک و یا سنگ مادراست .

در نامگذاری سنگ های دگرگونی، سعی بر آن است که تمام موارد یاد شده در نظر گرفته شوند. ازاین رو نام های به کار رفته، اغلب از یک نام اصلی و گروهی از پیشوند ها و پسوند ها تشکیل می‌شود. نام اصلی اغلب بر اساس فابریک یا کانی شناسی سنگ (که منعکس کننده ترکیب شیمیایی سنگ اولیه است) انتخاب می شود. نام اصلی ممکن است یک نام خاص(مانند آمفیبولیت) و یا توصیف کننده یک فابریک خاص باشد (مانند گنیس). نام های اصلی معمولا بر کانی های فراوان سنگ نیز اشاره می کنند. به عنوان مثال ،گنیس به طور عمده از فلدسپات و کوارتز تشکیل شده است.

از نظر فابریک، سنگ های دگرگونی به طور کلی می توانند به سه گروه سنگ های دارای فولیاسیون شدید، با فولیاسیون ضعیف و فاقد فولیاسیون مشخص تقسیم شوند. از نظر ماهیت سنگ مادر، گروه‌های مختلف سنگ های کربناته، رسی (پلیتی)، اولترامافیک و مافیک قابل تمایز هستند. بر اساس فابریک و سنگ مادر، نام های متداول در جدول ب آورده شده اند. پیشوند ها و پسوند ها برای تکمیل نام اصلی وبا استفاده از اصول زیر به کار می رود:

? ممکن است بیانگر یک شکل فابریکی ویژه باشد، مانند گارنت ـ آمفیبولیت نواری.

? می توانند گویای منشا سنگ دگرگونی باشند مانند پیشوند ارتو برای سنگ های با منشا آذرین، پارا برای سنگ های با منشا رسوبی و متا برای هنگامی که هنوز خصوصیات اولیه سنگ به طور مشخص حفظ شده است (مانند متابازالت).

? می توانند نوع و درصد کانی های سنگ را بیان کند. نام کانی های سازنده سنگ های دگرگونی بدین ترتیب مورد استفاده قرار می گیرند که کانی های با فراوانی بیشتر از ۵ درصد به صورت پیشوند در جلوی نام اصلی قرار می گیرد (مانند اپیدوت ـ آمفیبولیت) ،کانی های با فراوانی کمتر از ۵ درصد به‌صورت پسوند در نامگذاری دخالت داده می شوند (مانند اپیدوت ـ آمفیبولیت روتیل دار) و کانی های شاخص که وجود یا عدم وجود آنها بر شرایط خاصی از نظر فشار و حرارت دلالت می کند و ممکن است جزو کانی های اصلی یا فرعی سنگ باشند، به صورت پیشوند به کار می روند (مانند سیلیمانیت هورنفلس).

جدول ب ـ گروههای اصلی سنگ های دگرگونی

	سنگ دگرگونی		سنگ مادر
سنگ های دارای فولیاسیون شدید	*اسلیت*: سنگ ریز دانه و متورق که در درجات بسیار پایین دگرگونی تشکیل می شود. در این سنگ در نمونه دستی با ذره بین با بزرگنمایی ده هیچ کانی دگرگونی قابل تشخیص نیست و سطح تورق برق نمی زند. در میکروسکوپ اندازه کانی های دگرگونی کوچکتر از ۰/۱ میلیمتر است.		پلیت
	فیلیت: سنگی است دانه متوسط و متورق با سطح تورق براق که در دگرگونی درجه پایین تشکیل می شود. تورق شدید این سنگ در اثر آرایش فیلوسیلیکات هاست. در این سنگ اندازه کانی های دگرگونی بین ۰/۱ تا ۱ میلیمتر بوده و می‌توان به کمک ذره بین با بزرگنمایی ۱۰، برخی از کانی های دگرگونی را مشاهده کرد.		پلیت
	شیست: سنگی متورق و درشت دانه که اندازه کانی های دگرگونی در آن بزرگتر از ۱ میلیمتر بوده و با چشم غیرمسلح دیده می شود. اصطلاح شیست، برای سنگ هایی که لیناسیون شدید نشان داده و فولیاسیون ندارند نیز به کار می رود. همچنین در موارد مشکوک، تمام سنگ های دگرگونی را می توان شیست نامید.		متفاوت
	شیست *آبی*: سنگ شیستوز با رنگ متمایل به آبی در اثر حضور آمفیبول سدیک است. این سنگ حقیقتا آبی نبوده و رنگ آبی آن کاملا محسوس نیست.		بازیک و اولترابازیک
	شیست سبز: سنگی سبز که رنگ آن در اثر حضور کانی هایی مانند کلریت، اکتینولیت، اپیدوت و پومپله ایت است.		بازیک و اولترابازیک
سنگ های دارای فولیاسیون ضعیف	*گنیس*: سنگی که دارای فولیاسیون است ولی مانند شیست تمایلی به شکسته شدن در امتداد سطوح فولیاسیون از خود نشان نمی دهد. این اصطلاح معمولا برای سنگ هایی که فلدسپات فراوان (±کوارتز) دارند به کار می رود.		متفاوت
	میگماتیت: سنگ دگرگونی متشکل از بخش های تیره و روشن.		متفاوت
	میلونیت: اصطلاح کلی توصیف کننده فابریک برای سنگ های به وجود آمده در طی دگرگونی دینامیک است.		متفاوت
سنگ های بدون فولیاسیون مشخص	*آمفیبولیت*: سنگ دگرگونی مافیک که از آمفیبول و پلاژیوکلاز با نسبت تقریباً مساوی، تشکیل شده است.		بازیک و اولترامافیک
	هورنفلس: سنگ دگرگونی غیر متورق (بدون حالت ورقه ای)، متشکل از کانی های سیلیکاته ± اکسیدها که تبلور مجدد ناشی از دگرگونی حرارتی را نشان می دهد.		متفاوت
	گرانوفلس: سنگ دگرگونی فاقد شیستوزیته و فاقد جهت یافتگی کانی ها.		متفاوت
	گرین استون: نام کلی برای توصیف صحرایی سنگ های آتشفشانی دگرگون شده در درجات پایین تا متوسط که دارای رنگ سبز بوده و رنگ آن در اثر حضور کانی هایی مانند کلریت، اکتینولیت، اپیدوت و پومپله ایت است.		بازیک و اولترامافیک
	سنگ هایی که عمدتا از یک کانی تشکیل شده اند	*سرپانتینیت*: سنگی اولترامافیک عمدتا متشکل از کانی های خانواده سرپانتین.	اولترا مافیک
		کوارتزیت: بیش از ۸۰ درصد سنگ از کوارتز ساخته شده است.	ماسه سنگ
		مرمر: سنگ عمدتا از کلسیت یا دولومیت تشکیل شده است.	آهکهای خالص
نام های خاص	*گرانولیت*: سنگ دگرگونی حاوی کانی های شاخص رخساره گرانولیت. کانی های بی آب فراوان و مسکویت وجود ندارد.		متفاوت
	اکلوژیت: سنگ دگرگونی فشار بالا که عمدتا از گارنت (پیروپ) و پیروکسن (امفاسیت) تشکیل شده است.		بازیک و اولترامافیک
	سنگ کالک-سیلیکاته: سنگ دگرگونی که عمدتا از کربنات (۰ تا ۵۰ درصد) و کانی های غنی از کلسیم مانند اپیدوت، زوئیزیت، وزووپانیت، دیوپسید، هدنبرژیت، گارنت کلسیم دار، ولاستونیت، آنورتیت، اسکاپولیت و آمفیبول کلسیم دار تشکیل شده است.		مارن و ماسه سنگ ناخالص

انواع دگرگونی

دگرگونی در شرایط زمین شناسی گسترده ای روی می دهد. بر مبنای این شرایط، می توان آن را بـه دو گروه عمده دگرگونی های بزرگ مقیاس و محلی تقسیم بندی کرد (شکل الف). به عبارت دیگر، انـواع دگرگونی، به انواع شرایط زمین شناسی حاکم بستگی دارد. عمده ترین فرایندهای زمین شناسی که باعث تخریب ویا بازسازی پوسته و گوشته بالایی می شوند، عبارتند از گسترش بستر اقیـانوس هـا و حرکـات صفحات لیتوسفر. این فرایندها با دگرگونی همراه هستند که با توجه به گستردگی و حجم ایـن دو فراینـد، گسترش دگرگونی مرتبط با آنها نیز وسیع است. بر این اساس، دو نوع دگرگونی که در مقیاس وسیع عمـل می کنند، قابل تشخیص است : دگرگونی مرتبط با حرکات کوهزایی و دگرگونی در بستر اقیانوس ها. نـوع دیگری از دگرگونی نیز وجود دارد که در مقیاس وسیع ظاهر شده، اما معمولا با حرکات کوهزایـی همـراه نیست. این نوع دگرگونی، تدفینی یا انباشتی نامیده می شود. انواع دیگر دگرگونـی معمـولا محلـی و بـا گسترش کم هستند و عبارتند از: دگرگونی مجاورتی یا حرارتی، دگـرگونـی هیدروترمـال، دگـرگونـی کاتاکلاستیک و دگرگونی شوک یا ضربه ای. در زیر شرح مختصری در مورد هر یک از انواع دگرگونـی آمده است.

الف) دگرگونی های بزرگ مقیاس

ـ دگرگونی ناحیه ای

مجموعه های دگرگونی بزرگ مقیاس که غالبا صدها یا هزاران کیلومتر مربع گسترش دارند، سنگ‌های دگرگونی ناحیه ای نامیده شده و دگرگونی آن، دگرگونی ناحیه ای نامیده می شود. در این نوع دگـرگونـی مقدار فشار و دما در مقیاس وسیع تغییر کرده و به صورت موضعی توسـط سـنگ هـای نفـوذی کنـترل نمی‌شود. بعبارت ساده تر، در این نوع دگرگونی، ارتباط مستقیم با توده نفوذی قابل مشاهده نیست. از آنجا که این نوع دگرگونی، بخشی از کوهزایی بوده و با حرکات کوهزایی همراه است، اصطـلاح دگـرگونـی کوهزایی (میاشیرو، ۱۹۹٤) و دگرگونی دینامو ترمال (وینکلر، ۱۹۷٦) نیز برای آن به کار می رود. امروزه بر مبنای نسبت فشار و حرارت، دگرگونی ناحیه ای را به انواع فشار بالا، فشار متوسط و فشـار پـایین تقسـیم می کنند.

این دگرگونی، یکی از گسترده ترین انواع دگرگونی در ایران است. سنگ هـای دگـرگونـی ناحیـه ای معمولا جهت یافته بوده و فازهای تغییر شکل متعددی را نشان می دهند (به عنوان مثال نمونه های ۲٤ تـا ۳۲). تجدید تبلور در سنگ وجود داشته و فرایند دگرگونی طولانی و در مقیاس چند میلیون سال است.

- دگرگونی بستر اقیانوس ها

سنگ های تشکیل شده در ریفت های اقیانوسی در اثر گرادیان گرمایی بالا و نیز گردش آب‌های داغ متحمل دگرگونی می شوند و توسعه بستر اقیانوس ها باعث می شود که سنگ های تشکیل شده سطح وسیعی از بستر اقیانوس را بپوشانند.

دگرگونی حاصله طی فرایند یاد شده، دگرگونی بستر اقیانوس ها نامیده می شود. سنگ های دگرگون شده معمولا از دگرگونی سنگ های بازالتی به وجود می آیند. این سنگ ها معمولا شیستوزیته نشان نمی دهند و دارای سیستم گسترده ای از رگچه ها و رگه هایی هستند که توسط آنها، سیال در سنگ گردش کرده است.

- دگرگونی تدفینی یا انباشتی

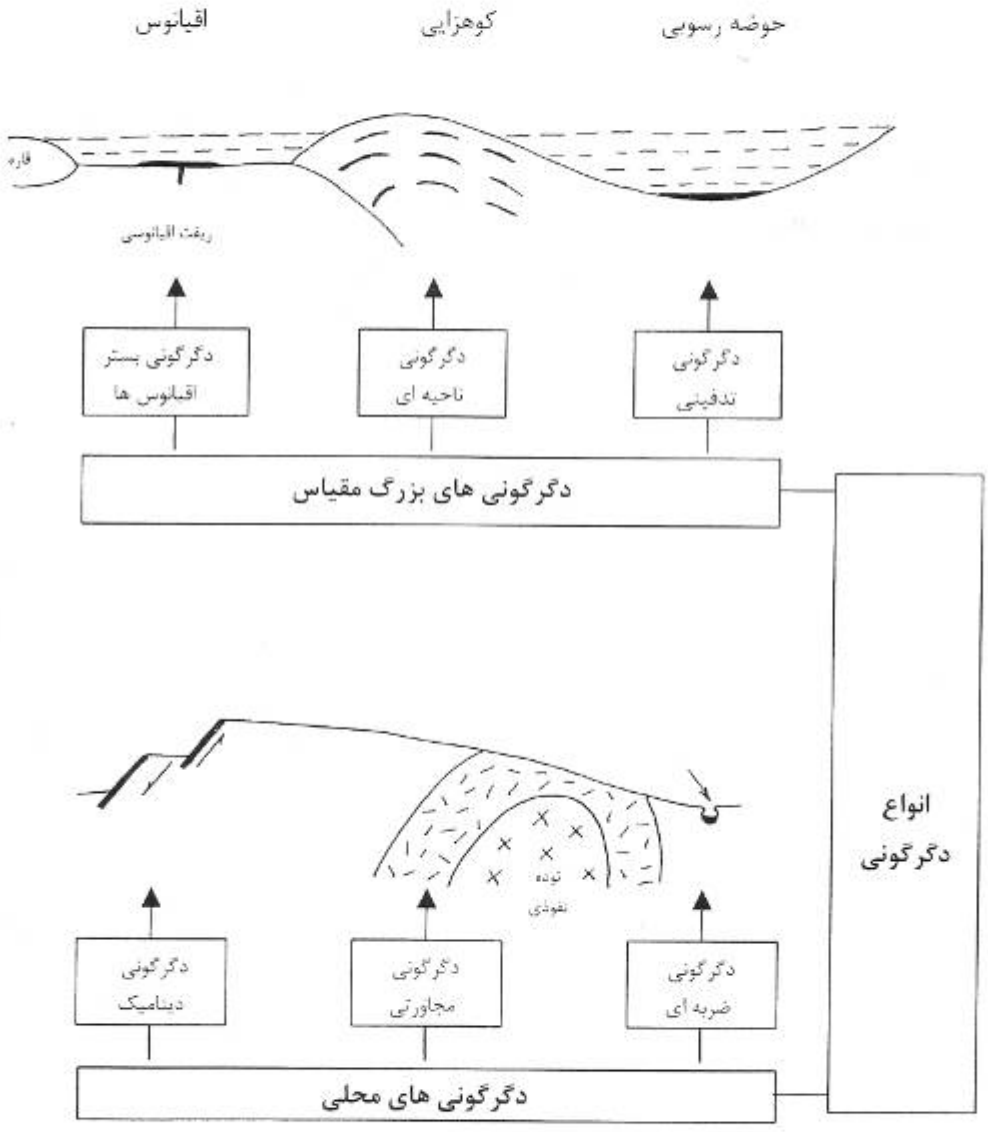
این دگرگونی ارتباط اساسی با کوهزایی یا توده های نفوذی ماگمایی ندارد و به علت فقدان حرکات تکتونیکی، سنگ های حاصل از آن معمولا فاقد جهت یافتگی هستند و فابریک اولیه سنگ حفظ شده است. تغییرات فاحشی در کانی شناسی سنگ رخ نداده و از این رو این نوع دگرگونی به سادگی از دیاژنز قابل تفکیک نیست.

فشار لازم برای این نوع دگرگونی از طبقات بالایی حاصل شده و حرارت لازم نیز گرادیان زمین گرمایی منطقه است که در اثر آن به ازای افزایش عمق، دما نیز بالا می رود. این نوع دگرگونی معمولا به‌حدی نیست که در نمونه دستی قابل تشخیص باشد.

ب) دگرگونیهای محدود و موضعی

- دگرگونی مجاورتی

دگرگونی مجاورتی عبارت از تبلور مجدد سنگ ها در هاله اطراف یک توده آذرین است که در اثر افزایش دما به وجود می آید و با رشد کانی های دگرگونی توام است، وسعت این هاله های مجاورتی متفاوت بوده و به نوع توده نفوذی، عمق جایگزینی و جنس سنگ های اطراف توده بستگی دارد.



شکل الف ـ انواع دگرگونی بزرگ مقیاس و محلی.

تشکیل هورنفلس ها که سنگ هایی فاقد جهت یافتگی خاص هستند، از ویژگی های این نوع دگرگونی است و سنگ ها بیشتر متعلق به رخساره های فشار پایین هستند (به عنوان مثال نمونه‌های ۳٤ تا ۳۷).

ـ دگرگونی گرمابی (هیدروترمال)

این نوع دگرگونی در اثر تاثیر محلولهای گرمابی ایجاد می شود و معمولاباعث تغییر ترکیب شیمیایی سنگ ها (متاسوماتیسم) شده و بر اثر گردش آب های داغ در امتداد ترک ها و شکاف های توده سنگی ایجاد می شود. این نوع دگرگونی معمولا در میدان های گرمابی (ژئوترمال) از اهمیت ویژه ای برخوردار است (به عنوان مثال نمونه ۸).

ـ دگرگونی کاتاکلاستیک (دینامیک)

نوعی دگرگونی موضعی است و معمولا در مناطق گسلی و برشی ایجاد می شود و علت آن، حرکات شدید در این نواحی است. دما در این نوع دگرگونی نقش چندانی ندارد و بدین دلیل تغییر کانی شناسی عمده ای در سنگ رخ نمی دهد و دگرگونی بیشتر به صورت خرد شدن فیزیکی اجزاء سنگ ظاهر می‌شود (به عنوان مثال نمونه های ۱۸ تا ۲۰).

ـ دگرگونی شوک یا ضربه ای

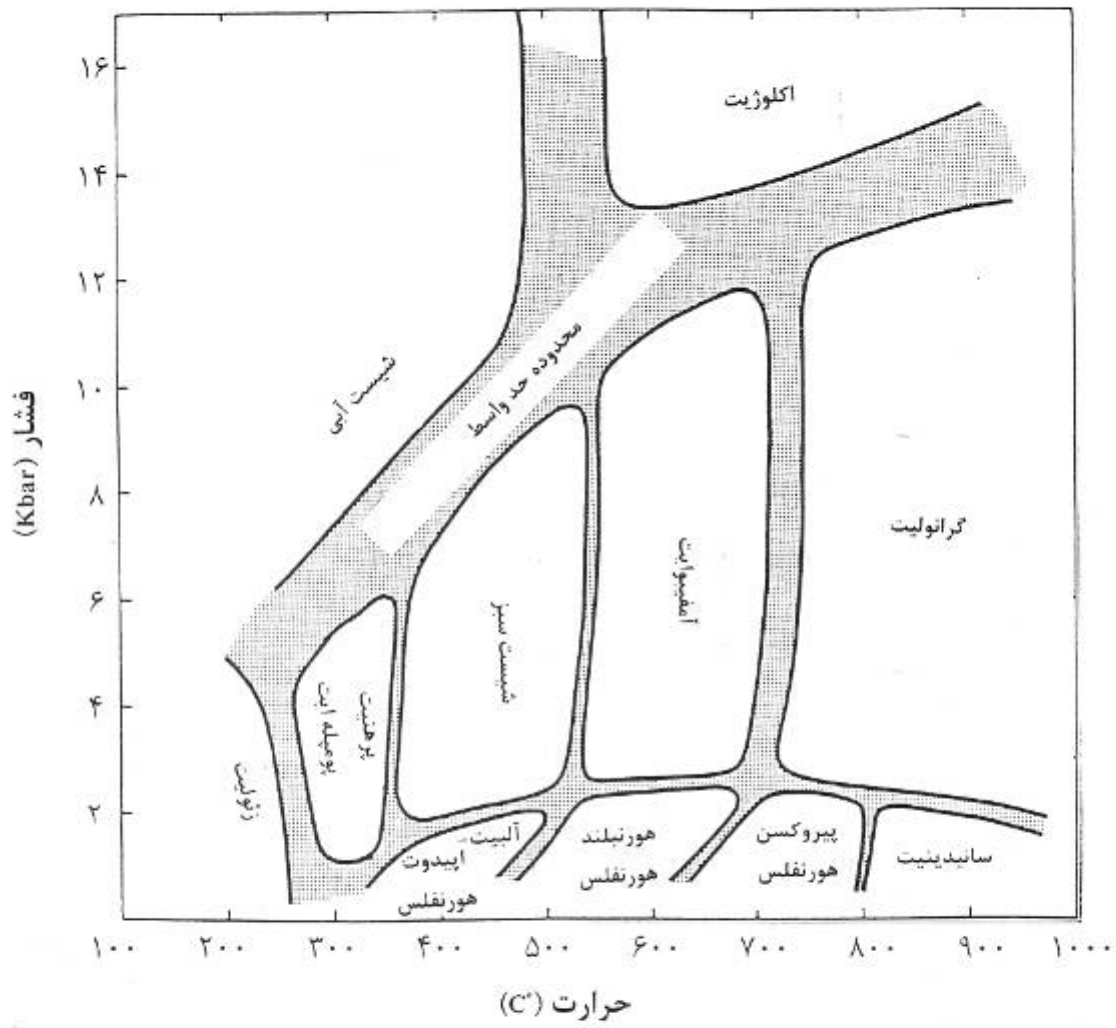
دگرگونی ضربه ای در اثر اصابت شخانه های بزرگ روی می دهد و در بعضی از سیارات حائز اهمیت است، اما در کره زمین گسترش چندانی نداشته و بخصوص در ایران گزارش نشده است. در این نوع دگرگونی امواج حاصل از ضربه در زمانی بسیار کوتاه بر سنگ ها اثر کرده و باعث از هم پاشیدن و وارفتگی شبکه کانی ها می شود .این مسئله خود باعث ازدیاد حرارت و ذوب و یا حتی تبخیر کانی ها می شود.

فشار و حرارت حاکم بر دگرگونی (رخساره های دگرگونی)

حضور کانی ها در یک سنگ دگرگونی تابع دو عامل است: ترکیب شیمیایی سنگ و فشار و حرارتی که هنگام تشکیل سنگ بر آن حاکم بوده است. با توجه به مجموعه کانی های موجود در سنگ های دگرگونی می توان فشار و حرارت حاکم بر آن را تخمین زد. سنگ های با ترکیب شیمیایی متفاوت در طی تغییر حرارت و فشار به صورت یکسان عمل نمی کنند و در برخی، تغییرات کانی شناسی جزئی است.

به منظور پرهیز از به کار گیری نام کانی ها به عنوان تنها شاخص حرارت و فشار حاکم بر سنگ در هنگام تشکیل، اسکولا مفهوم رخساره دگرگونی را مطرح نمود. بنا به تعریف وی رخساره دگرگونی محدوده ای از فشار و حرارت است که با توجه به ترکیب شیمیایی سنگ، مجموعه کانی های خاصی در آن ظاهر می شوند. وی مجموعه کانی های ظاهر شده در متابازیت ها را به عنوان الگو برای تقسیم رخساره های متفاوت مورد استفاده قرار داده است. رخساره های به کار برده شده در این کتاب در شکل ب آمده اند.

گروهی از کانی ها که در سنگ های مختلف به عنوان کانی های شاخص یک رخساره معرفی می‌شوند و در تشخیص نوع رخساره به کار می روند، در جدول د (صفحه ٤٤) ارائه شده اند.



شکل ب ـ نمودار حرارت و فشار، نشان دهنده محدوده رخساره های متفاوت دگرگونی (اقتباس از باردلی، ۱۹۷۲).

بخش دوم : فابریک سنگ های دگرگونی

مقدمه

در نوشته های غیر زمین شناسی در باره فلزات و آلیاژها، اصطلاح بافت، بیشتر بـرای جـهت یـافتگی ترجیحی شبکه به کار می رود. اما در زمین شناسی بررسی آرایش هندسی و ارتباط اجـزاء سـنگ مـورد نظر است و در بیشتر کتاب های درسی قدیمی که در مورد پترولوژی سنگ های دگرگونی تدویـن شـده (ترنر ۱۹۸۱، میاشیرو ۱۹۷۳، بست ۱۹۸۲، ویلیام و همکاران ۱۹۸۹، بوخر و فرای ۱۹۹٤)، تفاوت هایی بین تعریف بافت و ساخت قائل شده اند. در این نوشته ها، *بافت* (Texture) به آرایش هندسی اجـزای سـازنده یک سنگ، یعنی اندازه، شکل و آرایش دانه ها بر می گردد، در حالی کـه *سـاخت* (Structure) غالبـا در مواردی مانند لایه بندی ترکیبی، چین ها، فولیاسیون و لیناسیون استفاده می شود. در حقیقت مرز مشـخصی بین تعریف بافت و ساخت وجود نداشته و بخش سیستماتیک سنگ های دگرگونی در اتحادیه بین المللـی علوم زمین، پیشنهاد کرده است که واژه بافت با واژه *ریزساختار* (Microstructure) جایگزین شـود. ریـز ساختار را می توان چنین تعریف کرد:

آرایش هندسی و ارتباط متقابل بین دانه ها و اشکال درون دانه ها(بارکر، ۱۹۹۱).

به عبارت دیگر اصطلاح ریز ساختار، فراتر از بافت بوده و علاوه بر آرایش کانی ها، ارتباط متقابل آنـها را با یکدیگر و اشکالی که در درون دانه ها وجود دارد(نظیر ادخالها و شکل آنها) را نیز در بر می گیرد.

اصطلاح *میکرو فابریک* (به اختصار *فابریک*)، معادل ریز ساختار است (پاسشیر و ترو، ۱۹۹٦) و امروزه کاربرد وسیعی در دگرگونی داشته و در اکثر نوشته های اخیر برای توصیف سنگ های دگرگونی بـه کـار می‌رود. از این رو در این کتاب نیز از واژه میکروفابریک (به اختصار فابریک) برای توصیف آرایش فضایی و هندسی تمام سازنده های سنگ استفاده شده است که اصطلاحاتی مانند بافت، ساخت و جـهت یـافتگی ترجیحی شبکه را شامل می شود.

اغلب فابریک های اصلی سنگ های دگرگونی با پسوند بلاست مشخص می شوند (مانند گرانوبلاستیک و لپیدوبلاستیک) وجود این پسوند حاکی از تشکیل بافت سنگ در شرایط دگرگونی است. مثلا اگر دانه‌های درشت در خمیره ریز دانه یک سنگ آتشفشانی وجود داشته باشد، بافت آن را پورفیری می گوییم و چنانچه

دانه های درشت در خمیره ریز دانه در یک سنگ دگرگونی دیده شود، برای توصیف آن اصطلاح پورفیربلاست به کار می رود.

در نامگذاری فابریک باید توجه داشت که کدام کانی ها فابریک اصلی سنک را می سازند. اطلاق یک اصطلاح مانند گرانوبلاستیک، به معنی عدم حضورکانی های جهت یافته به میزان کم نخواهد بود. با توجه به وضعیت کانی های سنگ، تقسیم بندی فابریک سنگ های دگرگونی به تبعیت از بارد (۱۹۸٦) در جدول ج خلاصه و در صفحات بعد تشریح شده اند.

جدول ج ـ انواع فابریک سنگ های دگرگونی

فابریک سنگ های دگرگونی	فابریک های دانه ای	ایزوگرانولار، هتروگرانولار و موزائیک (پلی گونال)
	فابریک های وابسته به آرایش سازنده های سنگ	لپیدوبلاستیک، نماتوبلاستیک، پورفیروبلاستیک، دسته علفی و متقاطع
	فابریک های مرکب	گرانولپیدوبلاستیک، گرانونماتوبلاستیک و پورفیروگرانوبلاستیک
	فابریک های حاصل از دگرگونی دینامیک	کاتاکلاستیک و میلونیتی
	فابریک های وابسته به شکل و محتوای دانه های منفرد	نودولار، پوئی کیلوبلاستیک، چشمی و ساختمان منطقه ای (زونینگ)

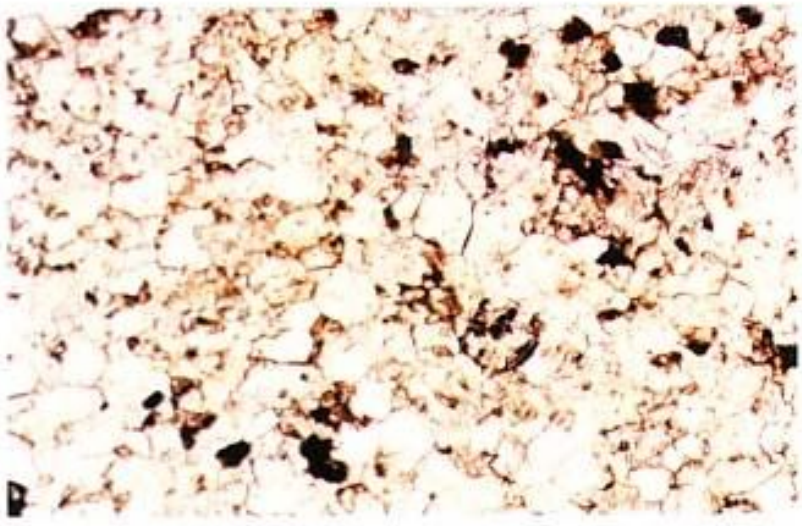
فابریک های دانه ای

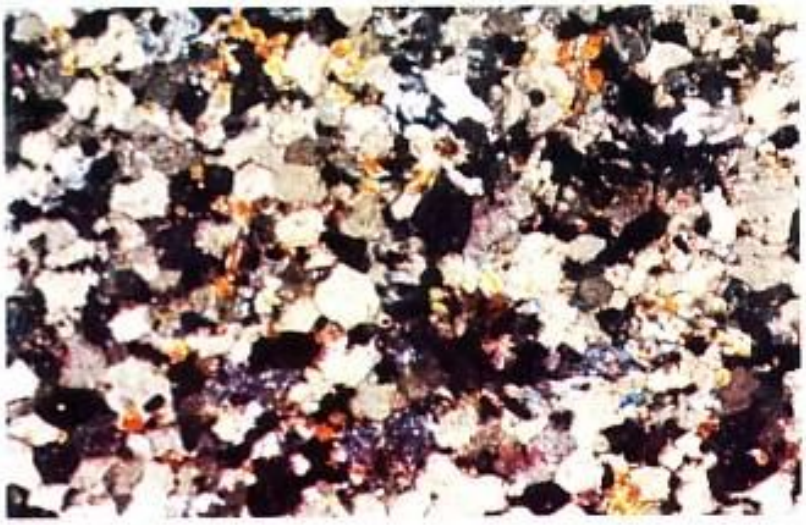
سنگ های دارای اینگونه فابریک ها فاقد کانی های جهت یافته هستند و فابریک این سنگ ها به‌طور کلی گرانوبلاستیک نامیده می شود. ممکن است اجزا تشکیل دهنده سنگ هم اندازه و یا غیرهم‌اندازه باشند، که به ترتیب فابریک های حاصله را ایزوگرانولار (نمونه ۳۸) و هتروگرانولار (نمونه ۹ و نمونه٤٤) می نامند. در صورتی که اجزا سنگ بی شکل نبوده و به صورت چند ضلعی‌های نامنظمی در مجاور یکدیگر قرار گرفته باشند، بافت حاصله را پلی گونال یا موزائیک می نامند. بافت‌های دانه‌ای در آهک ها و ماسه سنگ های دگرگون شده متداول هستند (نمونه۲ و نمونه ٦).

نمونه (۹)

فابریک گرانوبلاستیک (دانه ای)

دیوپسید مرمر





در تصویر کانی های با انداز هـای متفاوت دیده می شوند که بدون جهت یافتگی خاص در کنار هم قرار گرفته و فـابریک دانـه ای از نـوع هتروگرانولار را به وجود آورده اند.

بلورهای کلسـیت زمینـه اصلـی سـنگ را می‌سازند که در بین آنـها بلورهـای دیـوپسـید، پلاژیوکلاز، فلوگوپیت و گارنت دیده می شـوند. پیروکسن های نوع دیوپسید بـا بـیرفرنژانـش نارنجی و بلورهای پلاژیوکلاز بـا بـیرفرنژانـس خاکستری در حالت نیکـول هـای عمـود قـابل تشخیص هستند. چند کانی کـوچـک کـه بـا بیرفرنژانش بنفـش و آبـی مشـخص شـده و نمونه‌هایی از آنها در گوشه پایین سـمت راسـت دیده می‌شود، فلوگوپیت هستند. لکه های سیاه در حالت نیکول های موازی اکـسید های فلزی بـوده و چند بلور نیز که در حالت نیکول های مـوازی به صورت ریز با برجستگی بـالا وجـود دارنـد (نمونه هایی از آنها در نزدیک گوشه سمت چـپ در کنار کانی های کدر دیده می شوند). گـارنت هستند.

بزرگنمایی ۵۰ ×، منطقه کرمان (جنگل قائم)

فابریک های وابسته به آرایش سازنده های سنگ

در این گروه، سنگ هایی بررسی می شوند که مجموعه کانی ها یا برخی از آنها دارای شکل یا جهت‌یافتگی خاصی بوده و فابریک سنگ را می سازند. اصطلاحاتی که در این سنگ ها به کار می‌رود، عبارتند از:

ـ **فابریک لپیدوبلاستیک**: کانی های ورقه ای نظیر میکا، آرایش و جهت یافتگی نسبی دارند(نمونه ۱۰).

ـ **فابریک نماتوبلاستیک**: کانی های سوزنی و منشوری نظیر آمفیبول وتورمالین به صورت جهت یافته، فابریک اصلی سنگ را می سازند (نمونه ۱۱).

ـ **فابریک پورفیروبلاستیک**: دانه های درشتی که در حین دگرگونی رشد کرده اند، در یک خمیره ریزدانه دیده می شوند. (نمونه ۱۲).

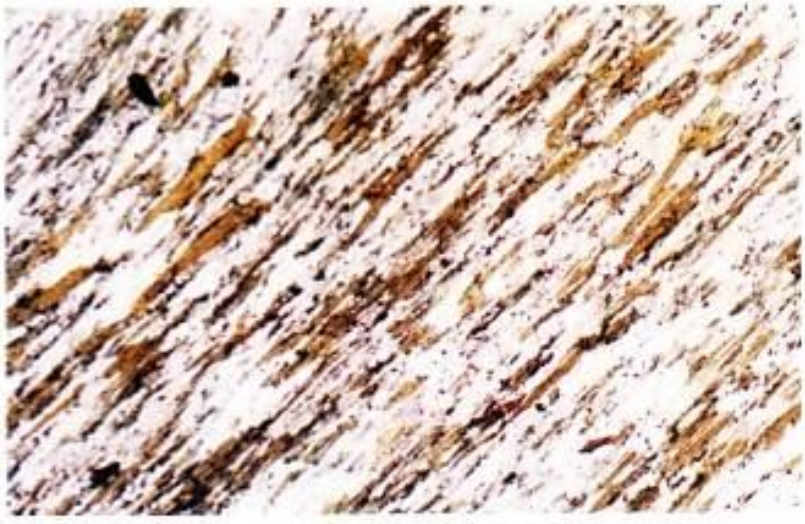
ـ **فابریک دسته علفی**: دسته هایی از دانه های چند کانی یا یک کانی معمولا سوزنی یا منشوری شکل به‌نحوی آرایش یافته اند که شکلی شبیه به یک دسته علف یا بادبزن دارند (نمونه ۱۳).

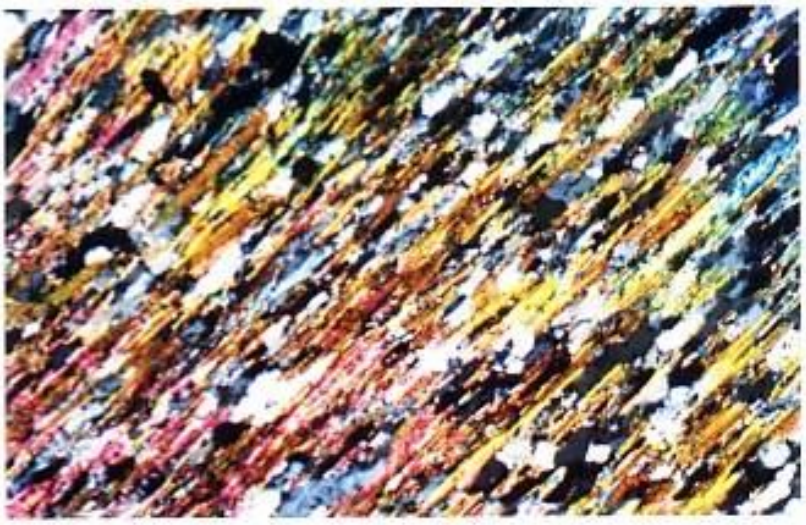
ـ **فابریک متقاطع**: چنانچه کانی های طویل، کشیده، سوزنی و ورقه ای با جهت یافتگی اتفاقی در سنگ دیده شده و همدیگر را قطع کنند، فابریک سنگ متقاطع (Decussate) نامیده می شود (نمونه ۱٤).

نمونه (۱۰)

فابریک لپیدوبلاستیک

مسکویت ـ بیوتیت شیست





بزرگنمایی ۵۰×، آلماقولاق – همدان

بلورهای ورقه ای و کشیده مسکویت و بیوتیت با جهت یافتگی کامل در نمونه قرار گرفته و فابریک لپیدوبلاستیک را به وجود آورده اند.

بیوتیت با رنگ قهوه ای در حالت نیکول‌های موازی و موسکویت با بیرفرنژانس بنفش و آبی و برجستگی پایین قابل تمایز هستند. کانی کوارتز در بین بلورهای میکا دیده می شود.

کانی ریز سیاه رنگی که در زمینه پخش است، گرافیت و کانی سیاه رنگی که در بالای سمت چپ عکس دیده می شود، اکسید آهن است.

نمونه (۱۱)

فابریک نماتوبلاستیک

ترمولیت شیست

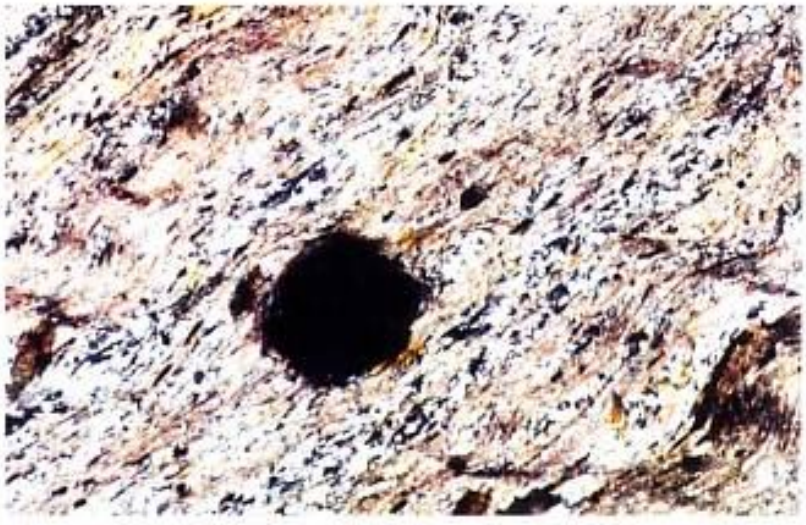
در این نمونه کانی های سوزنی یا منشوری آمفیبول جهت یافتگی دارند و بافت نماتوبلاستیک را به وجود آورده اند. بلورهای آمفیبول در حالت نیکول های موازی بی رنگ و از نوع ترمولیت هستند و اغلب آنها یک سری رخ کامل و برخی دو سری رخ مشخص را نشان می دهند. در حالت نیکول های عمود، این کانی‌ها بیرفرنژانس سری اول و اوایل سری دوم را نشان می دهند و ماکل پلی سنتتیک در بلورهای درشت دیده می شود. کانی دیگری که در عکس وجود دارد، کوارتز است که بین بلورهای ترمولیت را اشغال کرده است.

بزرگنمایی ۳۵×، منطقه گل گهر -ایران مرکزی

نمونه (۱۲)

فابریک پورفیروبلاستیک

گارنت شیست



بزرگنمایی ۲۵×، ده سلم

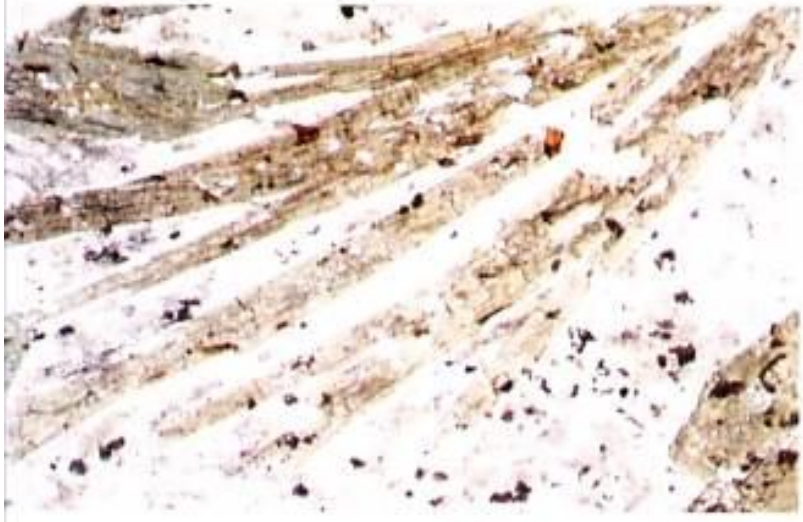
کانی گارنت به صورت یک کانی درشت در زمینه ای ریز متشکل از کلریت، مسکویت، بیوتیت و کوارتز قرار دارد. ادخال‌های تیره ای که در درون گارنت و نیز در زمینه سنگ دیده می‌شوند، اکسید آهن و گرافیت بوده و کانی‌های ریز تیره ای که همراه میکاها در زمینه پراکنده اند، گرافیت هستند. چند بلور بیوتیت که نسبت به بقیه درشت تر هستند و در حالت نیکول های موازی با رنگ قهوه‌ای دیده می شوند، نیز حضور دارند.

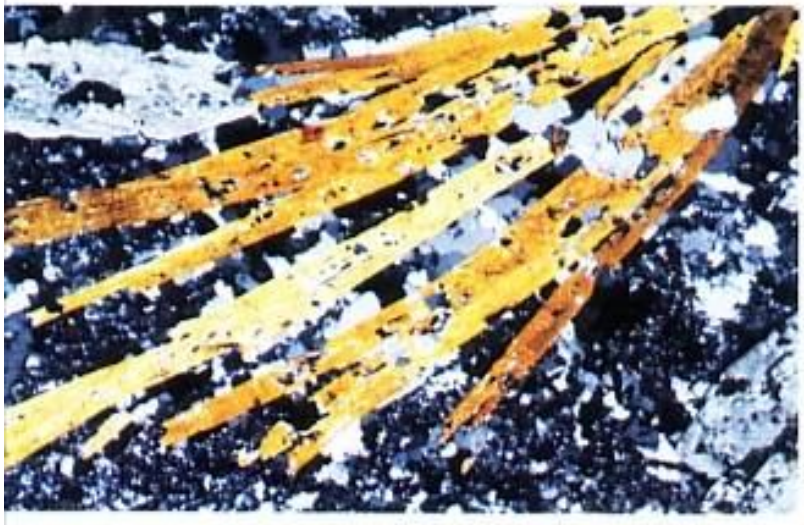
فابریک اصلی سنگ با توجه به حضور گارنت درشت، پورفیرو بلاستیک است، اما با توجه به قرارگیری این گارنت در زمینه ای سرشار از میکا با جهت یافتگی کامل، به‌صورت کامل تر می توان فابریک پورفیرولپیدوبلاستیک را به کار برد.

نمونه (۱۳)

فابریک دسته علفی

ترمولیت کالک سیلیکات





بلورهای سوزنی آمفیبول نوع ترمولیت-اکتینولیت که با چند رنگی ضعیف در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس زرد تا نارنجی در حالت نیکول های عمود دیده می شوند، در زمینه ای که از پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل شده قرار دارند. کانی های لکه های با برجستگی بالا در حالت نیکول های موازی اپیدوت هستند و بخش قهوه‌ای رنگ بالای عکس دیده آلودگی (آغشتگی) ناشی از اکسید آهن است. بلور لوزی شکل آمفیبول در گوشه بالای سمت چپ، به علت برش تقریبا عمود بر محور c بیرفرنژانس کمتری نسبت به بقیه را نشان می دهد. با توجه به حضور بلورهای سوزنی آمفیبول فابریک سنگ سوزنی است، اما از طرف دیگر با توجه به اینکه این بلورهای سوزنی منظره دسته علفی به خود گرفته اند، می توان فابریک سنگ را دسته علفی نامگذاری نمود. با توجه به وجود ادخال های کوارتز و پلاژیوکلاز در درون آمفیبول ها، می‌توان گفت که فابریک پویی کیلوبلاستیک نیز در آمفیبول ها دیده می شود.

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

نمونه (۱٤)

فابریک متقاطع

آمفیبولیت

بزرگنمایی ۳۵ ×. همدان

در این نمونه، بخش عمده سنگ را کانی هورنبلند اشغال کرده و در بین آنها، بلور های پلاژیوکلاز که با رنگ سفید در حالت نیکول‌های موازی و بیرفرنژانس خاکستری و سفید در حالت نیکول های عمود مشخص هستند، قرار دارند. بلور های هورنبلند با جهت یافتگ اتفاقی و به‌صورت در هم قرار گرفته و فابریک متقاطع را به وجود آورده اند.

ادخال های ریز سیاه رنگ که در حالت نیکول های موازی حالتی ابر مانند داشته و غالبا در مرکز هورنبلندها تمرکز دارند ،گرانیت هستند و دانه های سیاه رنگ درشت تر، اکسید های فلزی می باشند. کانی قهوه ای رنگی که وسط قسمت پایین عکس در بین هورنبلند ها دیده می شود، بیوتیت است.

فابریک های مرکب

فابریک های مرکب از تلفیق فابریک های مختلف با یکدیگر به وجود می آیند. فابریک گرانو لپیدوبلاستیک (نمونه ۱۵)، گرانونماتوبلاستیک (نمونه ۱۶) و پورفیرگرانوبلاستیک (نمونه ۱۷) مثال هایی از این گروه هستند.

نمونه (۱۵)

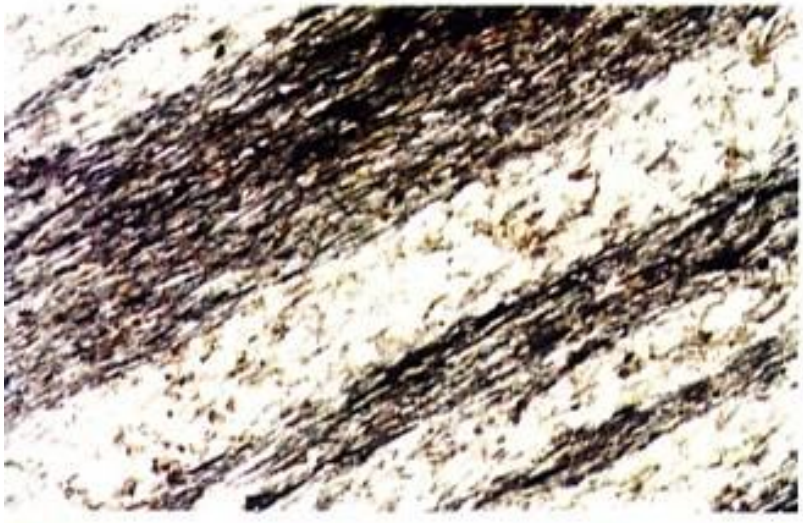
فابریک گرانولپیدوبلاستیک

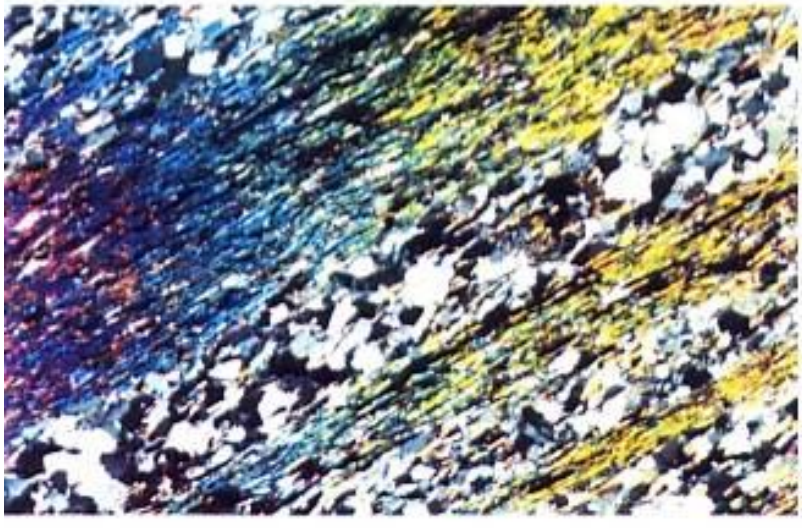
میکاشیست/ کوارتز شیست

در این نمونه، دو بخش دیده می شود: بخش غنی از میکا و بخش غنی از کوارتز.

با توجه به جهت یافتگی کامل میکاها و فراوانی آنها در بخش غنی از میکا، فابریک این بخش لپیدو بلاستیک است. در بخش غنی از کوارتز نیز با توجه به فراوانی کوارتزها، فابریک، گرانوبلاستیک خواهد بود و می توان گفت که سنگ، فابریک گرانو لپیدوبلاستیک را دارد. فابریک گرانولپیدوبلاستیک بدین معنی است که در سنگ دو بخش مجزای با فابریک لپیدوبلاستیک و فابریک گرانوبلاستیک حضور دارند.

کانی های سنگ عبارتند از میکای سفید، بیوتیت، کوارتز، اکسیدهای آهن و گرافیت (بخصوص در بخش غنی از میکا).



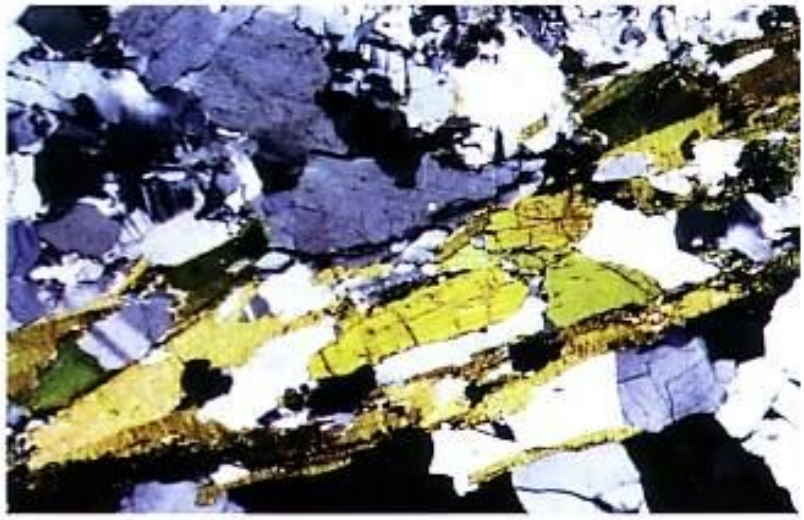


بزرگنمایی ۳۵×، همدان

نمونه (۱۶)

فابریک گرانونماتوبلاستیک

آمفیبول گنیس



بلورهای آمفیبول از نوع هورنبلند که در حالت نیکول های موازی قهوه ای مایل به سبز تا سبز تیره هستند، در کنار بلورهای کوارتز (گوشه پایین سمت راست) و فلدسپات (گوشه بالای سمت چپ) دیده می شوند که فلدسپات ها دارای ماکل های ناقص هستند.

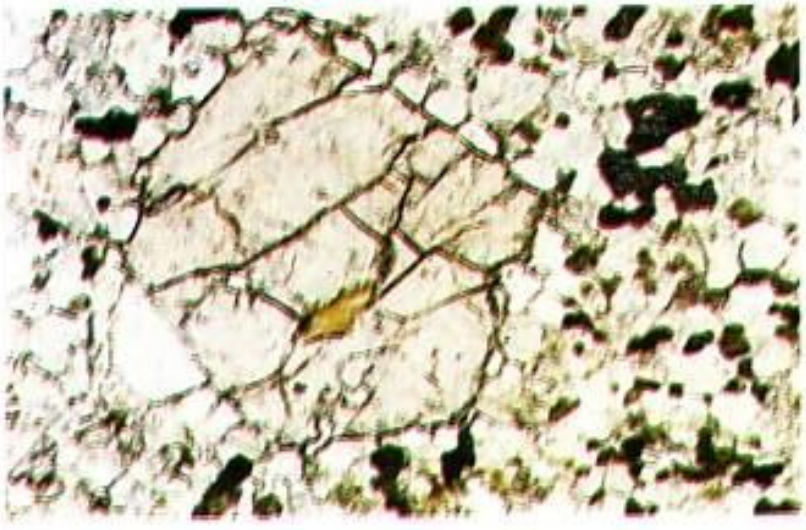
بخش آمفیبول دار سنگ، فابریک نماتوبلاستیک دارد و بخش کوارتز و فلدسپات دار بافت گرانوبلاستیک را نشان می دهد. بنابر این فابریک نهایی سنگ، گرانونماتوبلاستیک می‌باشد.

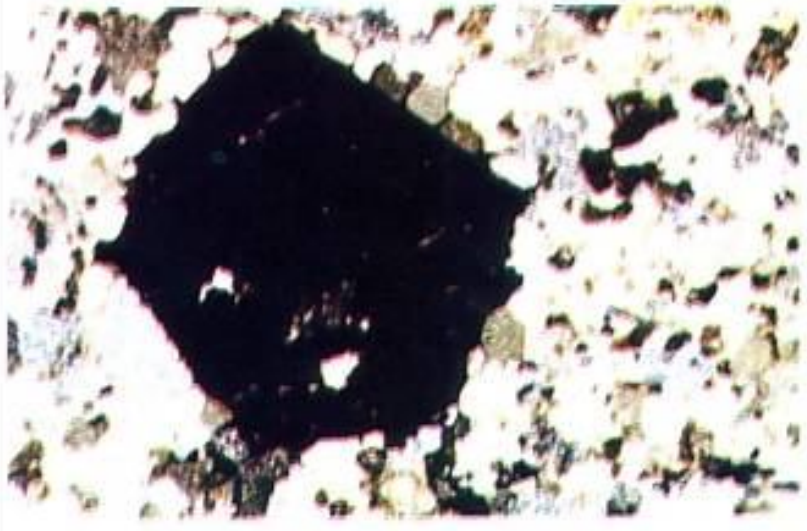
بزرگنمایی ۵۰×، منطقه ایران مرکزی (چاپدونی)

نمونه (۱۷)

فابریک پورفیروگرانوبلاستیک

گارنت مرمر





بلور درشت گارنت با برجستگی بالا و تقریبا شکل دار در زمینه ای از کلسیت دیده می شود. بلورهای اسپینل نیز با رنگهای قهوه ای کمرنگ وتیره در حالت نیکول های موازی و سیاه در حالت نیکول های عمود دیده می شوند.

فابریک اصلی سنگ پورفیروبلاستیک است، اما با توجه به حضور پورفیروبلاست درشت گارنت در زمینه ای جهت نیافته و گرانوبلاستیک، می توان به طور دقیق تر آن را پورفیروگرانوبلاستیک نامید.

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

فابریک های حاصل از دگرگونی دینامیک

فابریک های حاصل از دگرگونی دینامیک یا فابریک های تکتونیک در شرایطی که فشار جهت دار (استرس) عامل عمده دگرگونی است، به وجود می آیند و بر حسب آنکه سنگ فاقد فولیاسیون یا دارای فولیاسیون باشد، به ترتیب به انواع کاتاکلاستیک و میلونیتی تقسیم می شود. فابریک های میلونیتی متنوع هستند و مهم ترین آنها عبارتند از:

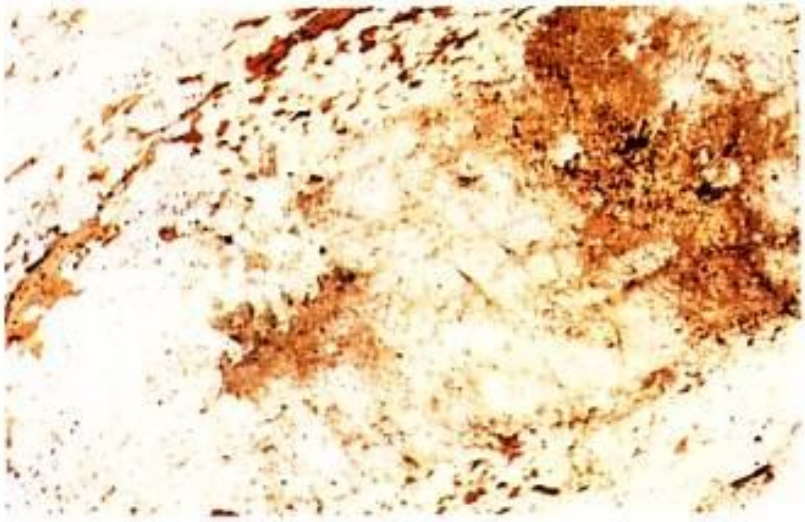
- **فابریک پروتومیلونیتی:** در این فابریک بخش عمده سنگ را کانی های اولیه وخرد نشده (پورفیروکلاست ها) و ۱۰ تا ۵۰ درصد آن را خمیره ریز دانه ای که از خرد شدن کانی های قبلی به وجود آمده، تشکیل می دهد (نمونه ۱۸).
- **فابریک میلونیتی:** در صورتی که میزان خمیره زیاد و مقدار آن بین ۵۰-۹۰ درصد باشد، فابریک سنگ را میلونیتی گویند (نمونه ۱۹).
- **فابریک اولترا میلونیتی:** در این نوع فابریک، بخش اصلی سنگ را خمیره ریز دانه تشکیل داده و تنها تا ۱۰ درصد از بقایای کانی ها به صورت خرد نشده دیده می شود (نمونه ۲۰).

لازم به یادآوری است که اصطلاح میلونیت، تنها توصیف کننده فابریک سنگ بوده و نباید به تنهایی به عنوان نام سنگ به کار رود.

نمونه (۱۸)

فابریک پروتومیلونیتی

گرانیت پروتومیلونیت



بزرگنمایی ۳۵×، ده سلم

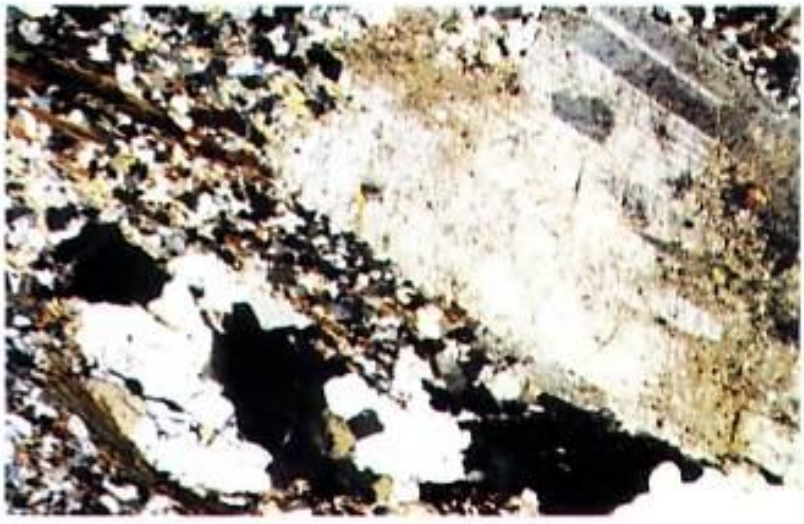
در نمونه ، بلورهای درشت فلدسپات گرانیت اولیه، در زمینه ای خرد شده و تقریبا دارای جهت یافتگی متشکل از کوارتز، بیوتیت و مسکویت دیده می شود. پلاژیوکلاز علاوه بر داشتن ماکل و کلیواژ ناقص، آثار هوازدگی را در حالت تیکول های موازی به خوبی نشان داده و از این رو به راحتی از کوارتز متمایز می شود. اکسیدهای آهن نیز در متن سنگ بخصوص در گوشه بالای سمت راست وجود دارند.

با توجه به اینکه سنگ مادر این نمونه یک گرانیت بوده و فابریک آن پروتومیلونیتی است و هنوز زمینه ریز دانه سنگ گسترش زیادی نیافته باید سنگ را گرانیت پروتومیلونیت نامید.

نمونه (۱۹)

فابریک میلونیتی

گرانیت میلونیت



پورفیروکلاستهای پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن و کوارتز در این نمونه در داخل خمیره‌ای متشکل از بیوتیت و بلورهای خرد شده کانی‌های مذکور، دیده می شوند و فابریک میلونیتی را به وجود آورده اند.

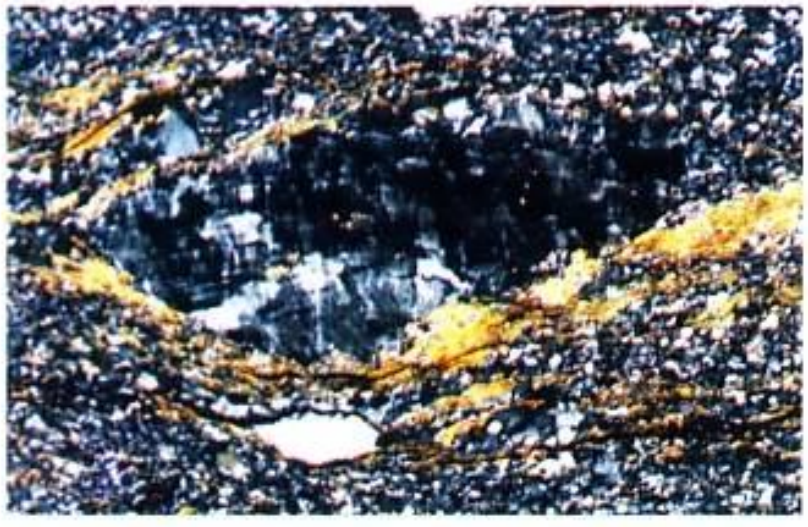
بلورهای بیوتیت کشیده و دارای جهت یافتگی کامل هستند و با رنگ قهوه ای خود در حالت نیکول های موازی به راحتی قابل تمایز می‌باشند. بلورهای کوارتز بر خلاف فلدسپات ها، کاملا بدون شکل و فاقد آثار تجزیه هستند.

بزرگنمایی ۳۵ ×، منطقه خوی

نمونه (۲۰)

فابریک اولترامیلونیتی / چشمی

گرانیت - اولترامیلونیت



یک پورفیروکلاست درشت پلاژیوکلاز که خرد شده و کشیدگی پیدا کرده، به همراه پورفیروکلاست کوچکتری از کوارتز در زمینه‌ای ریز دانه متشکل از مسکویت، بیوتیت، کوارتز و اکسیدهای فلزی قرار دارند.

جهت یافتگی بلورهای میکا حاکی از وجود فولیاسیون گسترده در سنگ است و با توجه با اینکه میزان پورفیروکلاست کم است و قسمت عمده سنگ را خمیره ریز دانه تشکیل داده است. فابریک اصلی سنگ اولترامیلونیتی است. از طرفی کشیدگی پورفیروکلاست ها، فابریک چشمی را به وجود آورده است.

بزرگنمایی ۳۵×، منطقه شمال شهر کرد

فابریک های وابسته به شکل و محتوای دانه های منفرد

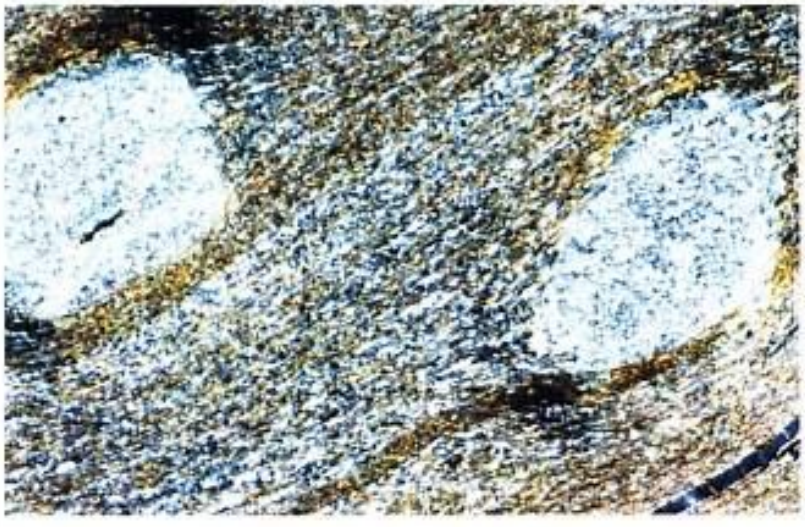
گاهی فابریک اصلی، یکی از فابریک های نامبرده است، اما در عین حال، دانه ها به تنهایی شکل یا وضعیت خاصی را نشان می دهند که می توان برای نامگذاری دقیق تر فابریک، این اشکال را هم مورد توجه قرار داد. برخی از فابریک های این گروه عبارتند از:

- **فابریک نودولار:** در سنگی که فابریک پورفیروبلاستیک دارد، ممکن است بخش های سازنده پورفیروبلاست از انبوهی از دانه های ریز تشکیل شده باشند که در این صورت این فابریک جدید را نودولار می نامیم (نمونه ۲۱ و نمونه ۳۵).
- **فابریک پوئی کیلوبلاستیک:** گاهی ممکن است دانه های درشت سنگ به صورت غربالی بوده و ادخال های متعددی ازکانی های دیگردر درون خود داشته باشند. فابریک حاصله پوئی کیلوبلاستیک نامیده می شود (نمونه ۲۲).
- **فابریک چشمی:** ممکن است پورفیروکلاست ها ی سنگ، شکلی لوزی و چشم مانند داشته باشند. به فابریک به وجود آمده فابریک چشمی گفته می شود (نمونه۲۰). این نوع فابریک در سنگ های با فابریک میلونیتی متداول تر است.
- **فابریک زونینگ:** در برخی موارد، کانی های سازنده سنگ دگرگونی، ساختمان منطقه ای (زونینگ) نشان می دهد (نمونه ۲۳).

نمونه (۲۱)

فابریک نودولار

شیست لکه دار



بزرگنمایی ۳۵×، منطقه بروجرد

در تصویر، درنیکول های موازی دوبخش سفید رنگ درشت دیده می شود که بنظر می‌رسد کانی خاصی هستند، اما در بررسی با نیکول‌های عمود، مشخص می شودکه این بخش‌ها در حقیقت انبوهه های ریز دانه ای از کلریت، کوارتز، فلدسپات وسریت هستندکه درزمینه‌ای ازمیکاها وکوارتزقرارگرفته اند. رگه موربی که در تصویر به رنگ سفید دیده میشود، کوارتز است.

این فابریک، مشابه فابریک پورفیروبلاستیک است، با این تفاوت که در فابریک پورفیروبلاستیک، پورفیروبلاست کانی مشخصی است، اما در فابریک نودولار، پورفیروبلاست کانی مشخصی نبوده و انبوهی از کانی های ریزدانه است که تجمع یافته اند.

نمونه (۲۲)

فابریک پوئی کیلوبلاستیک

کلریتوئید فیلیت

کانی های درشت سنگ کلریتوئید می‌باشند که در تصویر با برجستگی بالا، ادخال های فراوان و ماکل مکرر قابل تشخیص هستند. در بعضی از بلورهای کلریتوئید، ادخال ها آرایش ساعت شنی دارند (بلور درشت درگوشه بالای سمت چپ).

کانی های زمینه سنگ، میکا، کوارتز و کانی های تیره هستند که جهت یافتگی شرقی-غربی نشان داده و در مواردی امتداد جهت‌یافتگی توسط بلورهای کلریتوئید منحرف شده است.

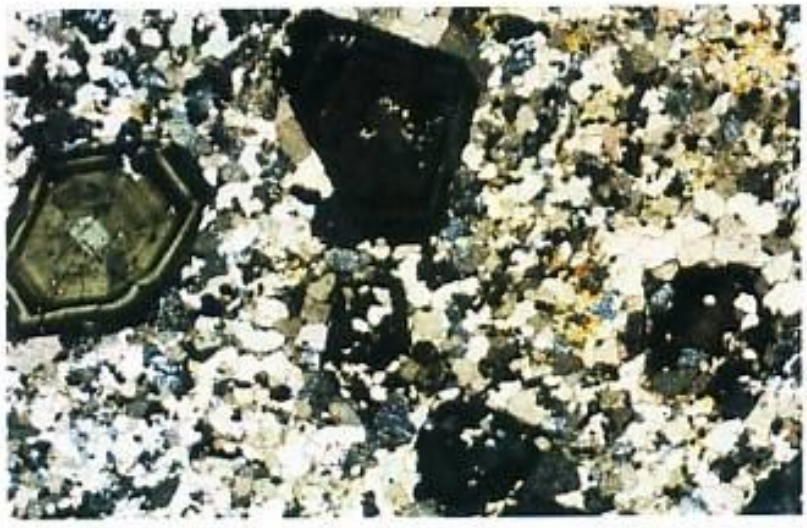
با توجه به وجود ا دخال ها ی فراوان، فابریک کلریتوئید پوئی کیلو بلاستیک است و به دلیل وجود پورفیروبلاست های درشت کلریتوئید در زمینه ریزدانه، فابریک اصلی سنگ پورفیروبلاستیک است.

بزرگنمایی ۲۵×، آلمان

نمونه (۲۳)

فابریک زونینگ

گروسولر- دیوپسید - اسپینل مرمر



بزرگنمایی ۳۵×، منطقه کرمان

در این نمونه ، بلورهای درشت گارنت در زمینه ای ریز بلور، متشکل از کلسیت، دیوپسید و اسپینل قرار دارند که بلور ها ی دیوپسید با بیرفرنژانس زرد تا نارنجی خود مشخص هستند.

اسپینل با رنگ قهوه ای کمرنگ تا تیره در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس سیاه در حالت نیکول های عمود دیده می شود. بلورهای پراکنده ای که با بیرفرنژانس خاکستری دیده می شوند و نمونه های آنها در پایین گارنت درشت سمت چپ تصویر قرار دارد، پلاژیوکلاز هستند.

فابریک اصلی سنگ پورفیروگرانوبلاستیک است و در توصیف دقیق تر بهتر است به بافت فرعی زونینگ (ساختمان منطقه ای) گارنت ها نیز اشاره شود. لازم به ذکر است که زونینگ در گارنت های خانواده اوگراندیت (اوارویت- گروسولر - آندرادیت) در سنگ های دگرگونی شایع است.

بخش سوم: انواع سنگ های دگرگونی

مقدمه

تمام سنگ های دگرگونی دراثرتغییر فشار وحرارت، از سنگ های دیگر به وجود آمده اند. سنگ اولیه یا سنگ مادری که یک سنگ دگرگونی ازآن پدید مـی آیـد، پروتولیـت (protolith) نـامیده مـی شـود. پروتولیت‌ها ی مختلف، ترکیب کانی شناسی و شیمیایی متفاوتی داشته و بنابر این در اثرتحمیـل شـرایط دگرگونی، کانی های متفاوتی در آنها شکل می گیرد.

یکی از اهداف مطالعه سنگ های دگرگونی، تشخیص نوع سنگ مادر و تغییرات آن طی یک دگرگونـی پیشرونده است. در این راستا مهم ترین معیار ، استفاده از کانی های شاخص دگرگونی است که با توجه بـه فشار وحرارت دگرگونی، دریک سنگ خاص تشکیل می شود. با توجه به تنوع سنگ هـای رسـوبی و آذرین و فراوانی آنها، بررسی تغییرات تک تک سنگ ها درحین دگرگونی بسیار مشکل است، بنابراین برای سهولت بررسی ها، گروه های مختلف سنگ مادر معرفی می شوند و در هرگروه سنگ هایی کـه ترکیـب شیمیایی تقریبا مشابهی دارند، قرار می گیرند. گروههای اصلی سنگ های مادری کـه توسـط محققـان مختلف به آنها اشاره شده؛ عبارتند از: گلسنگ ها، سنگ های کربنات، مافیک و اولترامافیک.

درهرگروه از سنگ های بالا با تغییرات دما و فشار، کانی های متفاوتی ظاهر می شود و لازم است که تغییرات این سنگ ها در رخساره های مختلف و با توجه به کانی های شاخص هر رخساره بررسی شود.

چون این اطلس برای استفاده دانشجویان ایرانی نوشته شده، رخساره ها و سنگ هـایی کـه در ایـران یافت شده یا فراوان هستند، با تاکید بیشتری مورد اشاره واقع و تشریح شده اند.

در این قسمت، گروه های مختلف سنگ های فوق را در رخساره های مختلف کـه گویـای محـدوده معینی از حرارت و فشار هستند، بررسی کرده و کانی های شاخص آنها را معرفی می کنیم. درجـدول د این گروه ها وکانی های شاخص آنها در رخساره های گوناگون دیده می شود. باید توجه داشت که وجود توام تمام کانی های یاد شده در هر رخساره الزامی نیست.

جدول د- راهنمای کلی کانی های شاخص سنگ های با ترکیب متفاوت در رخساره های دگرگونی. کانی هایی که به ندرت یافت می شوند در داخل پرانتز آورده شده اند. T = حرارت، P= فشار (با تغییراتی اقتباس از بلات و تریسی، ۱۹۹۶).

بردار نسبی T و P	رخساره دگرگونی	سنگ های مافیک	سنگ های اولترامافیک	سنگ های رسی (گلسنگ ها)	سنگ های کربناته
T P	آلبیت ـ اپیدوت هورنفلس	آلبیت، اپیدوت یا زوئزیت، اکتینولیت، کلریت	سرپانتین، تالک، ترمولیت، کلریت	کوارتز، پلاژیوکلاز، موسکویت، کلریت، کردیریت	کلسیت، دولومیت، کوارتز، ترمولیت، تالک، فورستریت
	هورنبلند هورنفلس	هورنبلند، پلاژیوکلاز، ارتوپیروکسن، گارنت	فورستریت، ارتوپیروکسن، هورنبلند، کلریت، (اسپینل آلومینیم دار)، (مگنتیت)	کوارتز، پلاژیوکلاز، موسکویت، بیوتیت، کردیریت، آندالوزیت	کلسیت، دولومیت، کوارتز، ترمولیت، دیوپسید، فورستریت
	پیروکسن هورنفلس	ارتوپیروکسن، اوژیت، پلاژیوکلاز، (گارنت)	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت، پلاژیوکلاز، اسپینل آلومینیم دار	کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، آندالوزیت، سیلیمانیت، کردیریت، ارتوپیروکسن	کلسیت، کوارتز، دیوپسید، فورستریت، ولاستونیت
	سانیدینیت	ارتوپیروکسن، اوژیت، پلاژیوکلاز، (گارنت)	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت، پلاژیوکلاز	کوارتز، پلاژیوکلاز، سیلیمانیت، کردیریت، ارتوپیروکسن	کلسیت، کوارتز، دیوپسید، فورستریت، ولاستونیت
T P	زئولیت	آنالسیم، زئولیت کلسیم دار، پرهنیت، زوئزیت، آلبیت	سرپانتین، بروسیت، کلریت، دولومیت، مگنزیت	کوارتز، رسها، ایلیت، آلبیت، کلریت	کلسیت، دولومیت، کوارتز، تالک، رسها
	پرهنیت- پومپله ایت	کلریت، پرهنیت، آلبیت، پومپله ایت، اپیدوت	سرپانتین، تالک، فورستریت، ترمولیت، کلریت	کوارتز، ایلیت، موسکویت، آلبیت، کلریت، استیلپنوملان	کلسیت، دولومیت، کوارتز، رسها، تالک، موسکویت
	شیست سبز	کلریت، اکتینولیت، اپیدوت یا زوئزیت، آلبیت	سرپانتین، تالک، ترمولیت، بروسیت، دیوپسید، کلریت، (مگنتیت)	کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت، موسکویت، بیوتیت، گارنت، پیروفیلیت، (گرافیت)	کلسیت، دولومیت، کوارتز، موسکویت، بیوتیت
	آمفیبولیت	هورنبلند، پلاژیوکلاز، (السفن)، (ایلمنیت)	فورستریت، ترمولیت، تالک، آنتوفیلیت، کلریت، ارتوپیروکسن، (مگنتیت)	کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت، موسکویت، بیوتیت، گارنت، استرولیت، کیانیت، سیلیمانیت، (گرافیت)، (ایلمنیت)	کلسیت، دولومیت، کوارتز، بیوتیت، ترمولیت، فورستریت، دیوپسید، پلاژیوکلاز
	گرانولیت	هورنبلند، اوژیت، ارتوپیروکسن، پلاژیوکلاز، (ایلمنیت)	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت، هورنبلند، گارنت، اسپینل آلومینیم دار	کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، بیوتیت، گارنت، کردیریت، سیلیمانیت، پیروکسن	ارتوپیروکسن کلسیت، کوارتز، فورستریت، دیوپسید، ولاستونیت، هومیت- کندریدیت، گارنت کلسیم دار، پلاژیوکلاز
T P	شیست آبی	گلوکوفان، لاوسونیت، آلبیت، پاراگونیت، کلریت، زوئزیت	فورستریت، سرپانتین، دیوپسید	کوارتز، پلاژیوکلاز، موسکویت، کارفولیت، تالک، کیانیت، کلریتوئید	کلسیت، آراگونیت، کوارتز، فورستریت، دیوپسید، ترمولیت
	اکلوژیت	گارنت غنی از منیزیم، امفاسیت، کیانیت، (روتیل)	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت، گارنت	کوارتز، آلبیت، فنژیت، تالک، کیانیت، گارنت	کلسیت، آراگونیت، کوارتز، فورستریت، دیوپسید

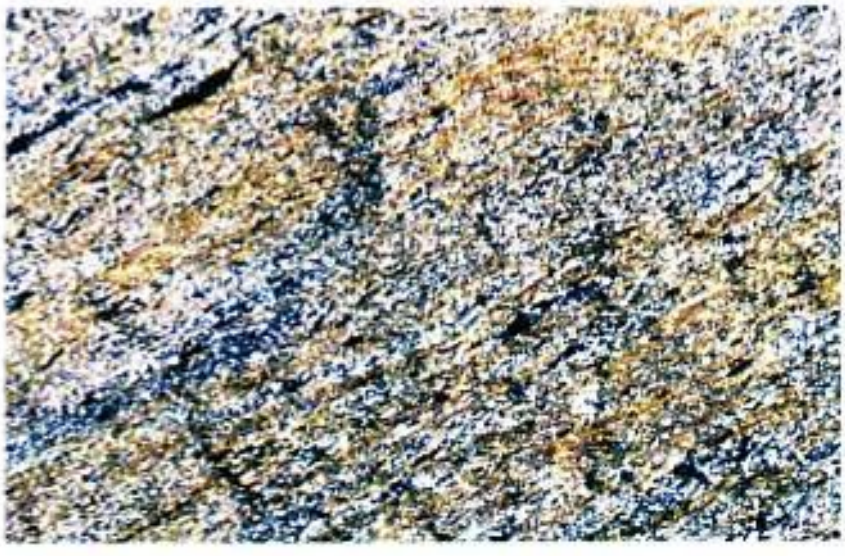
دگرگونی گلسنگ ها (پلیت ها)

این گروه شامل سنگ های دگرگونی حاصل از دگرگونی سنگ های رسوبی آواری غنی از رس نظیر شیل، انواعی از ماسه سنگ ها وگریواک ها و آرکوزهای ریز دانه هستند و اغلب متاپلیت نامیده می شوند. معادل دگرگون نشده این سنگ ها به طور کلی گلسنگ یا پلیت نام دارند. دگرگونی در این سنگ ها با تغییردرجه بلوریت کانی های رسی آغاز می شودکه درزیرمیکروسکوپ قابل مشاهده نیست و سنگ های ریز دانه حاصل را به طور کلی اسلیت می نامند (نمونه ۲٤).

با پیشرفت درجه دگرگونی و در رخساره پرهنیت - پومپله ایت، میکاهای واقعی ظاهر شده و سنگ درشت دانه تر می شود (نمونه ۲۵).

پس ازاین مرحله، کانی های سنگ های پلیتی به تغییرات دگرگونی حساسیت زیادتری داشته و در هر رخساره کانی های خاصی در آنها ظاهر می شود. نمونه های ۲٤ تا ۳۷ سنگ های اصلی این گروه را نشان می دهند.

گلسنگ ها دررخساره پرهنیت ـ پومپله ایت



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه ساعن (جلایر)

نمونه (۲٤)

اسلیت

در این نمونه، بلورها بسیار ریز و در جهت شمال شرق - جنوب غرب، یک فولیاسیون نشان می دهند. به غیر از کانی های کدر که درحالت نیکول های موازی سیاه رنگ بوده و به‌راحتی قابل تشخیص اند وکانی کوارتز که با بیرفرنژانس خاکستری خود درحالت نیکول های عمود مشخص است، کلریت و میکای سفید (فنژیت)، دیگرکانی های سنگ هستند که بیرفرنژانس زرد، خاکستری تا آبی و بنفش نشان می دهند. به دلیل ریز بودن کانی های سنگ، تشخیص آنها نه تنها درتصویر، بلکه در میکروسکوپ نیز به سادگی ممکن نبوده و احتیاج به تمرین و ممارست دارد.

فابریک سنگ در اصل به دلیل جهت یافتگی کانی های صفحه ای، لپیدوبلاستیک است، اما به دلیل ریز بلور بودن اکثر کانی ها، می توان به طور خاص آن را فابریک اسلیتی نامید که خاص اسلیتهاست.

گلسنگ ها در رخساره شیست سبز

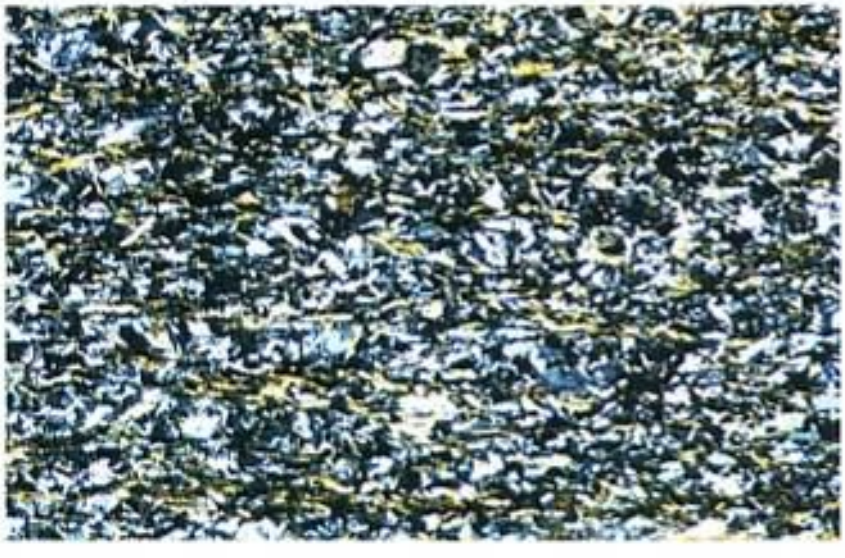
نمونه (۲۵)

فیلیت

درحرارتهای پایین رخساره شیست سبز، مسکویت و بیوتیت در سنگ های پلیتی ظاهر می شوند.

درتصویر، کانی های کلریت، بیوتیت، مسکویت، کوارتز و آلبیت دیده می شوند. کلریت در حالت نیکول های موازی سبزکمرنگ بوده و درحالت نیکول های عمود بیرفرنژانس پایین دارد. بلورهای پراکنده بیوتیت با رنگ قهوه‌ای (مثل پایین سمت راست) درحالت نیکول‌های موازی قابل تشخیص هستند و مسکویت فنژیتی نیز درحالت نیکول های موازی بیرنگ و درحالت نیکول های عمود زرد تا نارنجی دیده می شود.

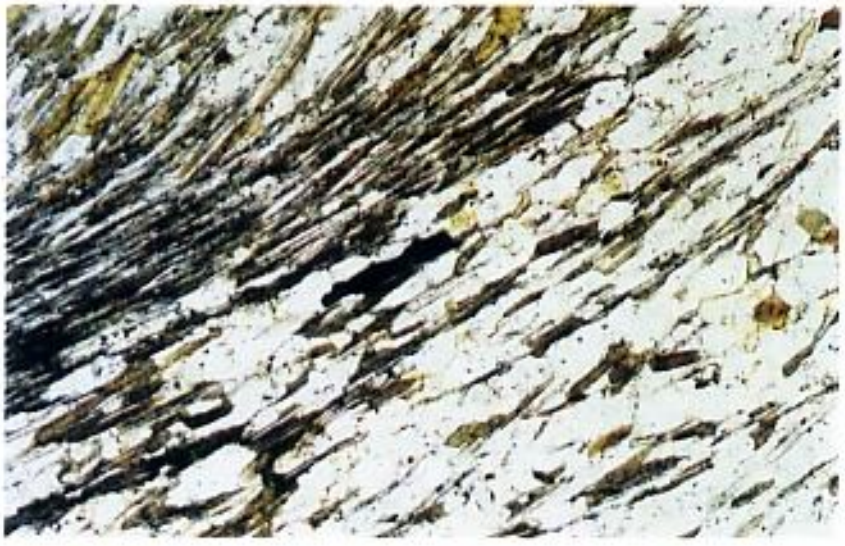
کوارتز و آلبیت هردو تصویر خصوصیات یکسانی دارند و اختلاف آنها در زیر میکروسکوپ با بررسی محور نوری مشخص می‌شود. فابریک سنگ لپیدوبلاستیک است.

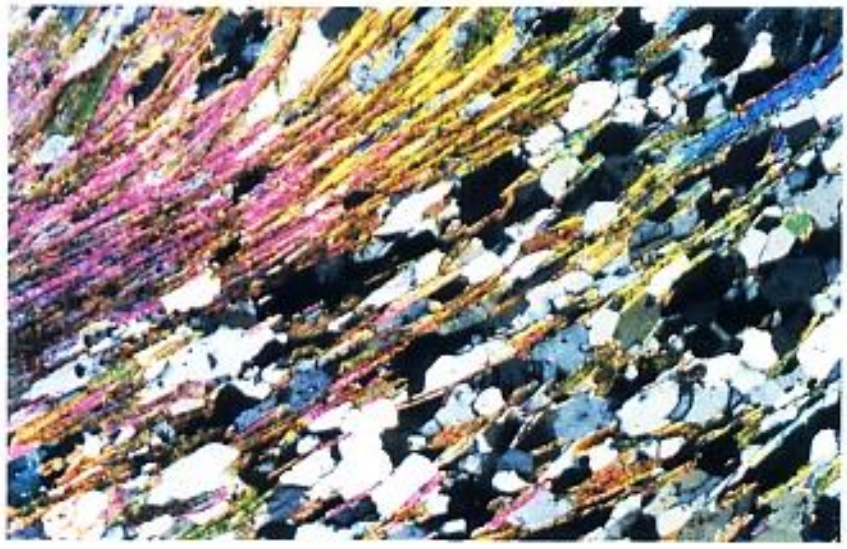


بزرگنمایی ۱۰۰×، کندلان (همدان)

نمونه (۲۶)

بیوتیت ـ مسکویت شیست





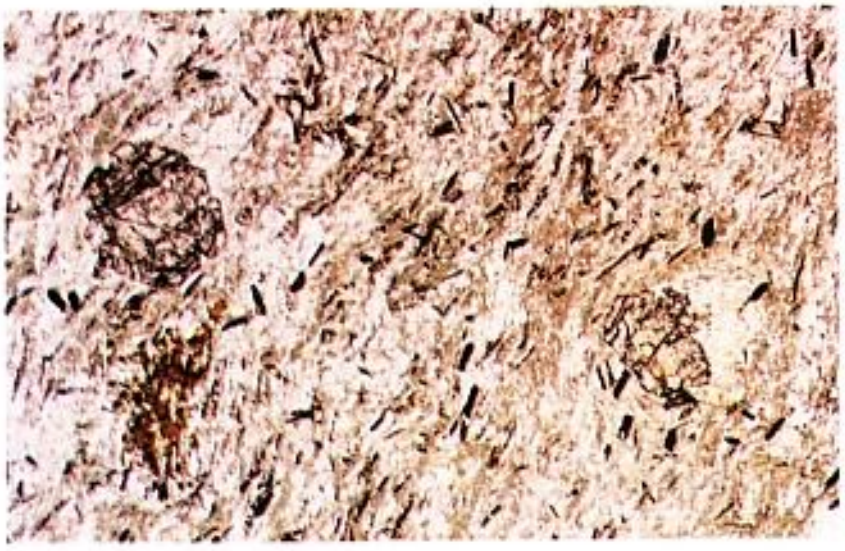
بلورهای بیوتیت و مسکویت درشت درکنار کوارتز، کانی های اصلی سازنده این سنگ هستند. سنگ را می توان به دو بخش تقسیم کردکه یک قسمت بسیار غنی از میکا بوده و فابریک لپیدوبلاستیک دارد و قسمت دیگر به دلیل فراوانی کوارتز، فابریک گرانوبلاستیک است و فابریک اصلی سنگ بدین ترتیب، لپیدوگرانوبلاستیک خواهد بود.

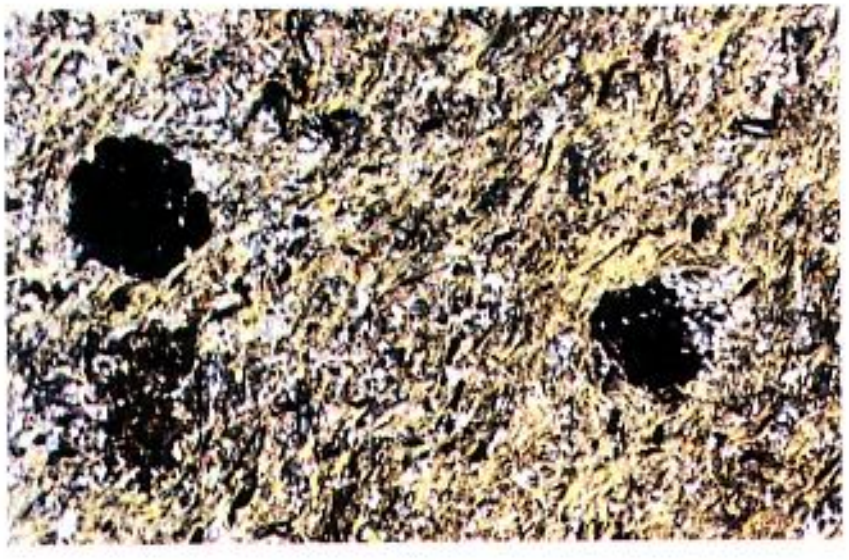
اختلاف کانی های دو بخش حاکی از اختلاف درسنگ مادر اولیه است، به نحوی که بخش غنی از میکا از دگرگونی گلسنگ و بخش فقیر ازمیکا و دارای کوارتز فراوان از دگرگونی سیلتستون یا ماسه سنگ به وجود آمده اند.

بزرگنمایی ۵۰×، گردنه زاقه (همدان)

نمونه (۲۷)

کلریتوئید ـ گارنت شیست





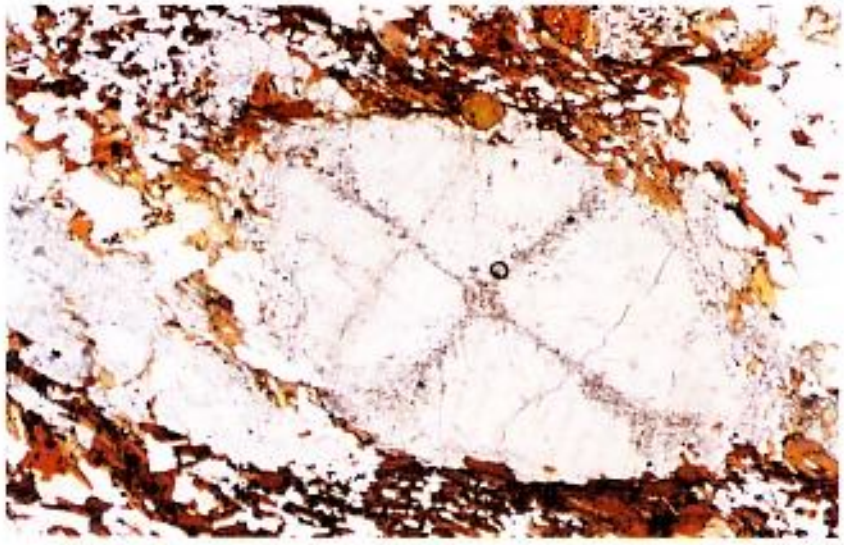
بزرگنمایی ۳۵×، منطقه انارک

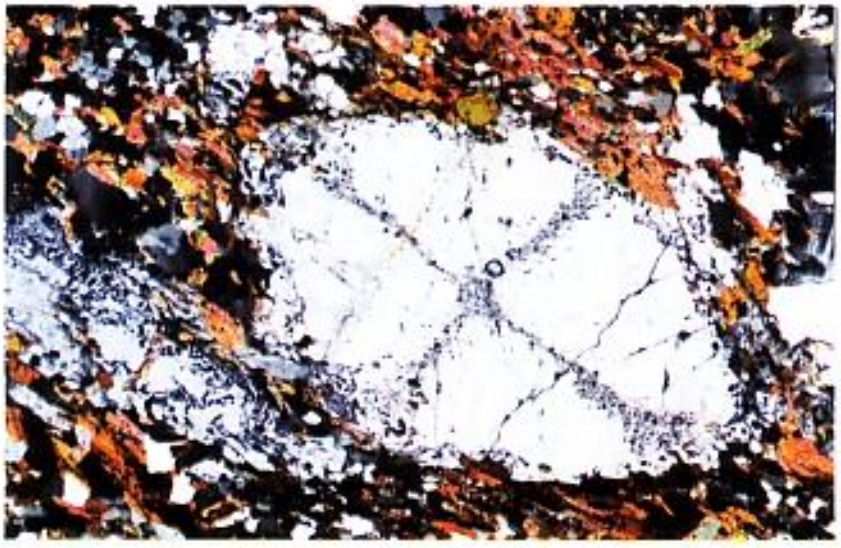
یکی از کانی های شاخص و متعارف سنگ‌های پلیتی در رخساره شیست سبز، گارنت است که به صورت هم بعد و با برجستگی بالا درحالت نیکول های موازی دیده شده و درحالت نیکول های عمود ایزوتروپ است.

کانی های دیگر این سنگ، کانی های تیره، بیوتیت با رنگ قهوه ای، مسکویت با بیرفرنژانس سبز - آبی - قرمز و کوارتز است. بلورهای پراکنده کلریتوئید نیز با برجستگی بالا، به صورت بلورهای ریز مستطیلی شکل (مانندگوشه بالای سمت راست) که درحالت نیکول های عمود خاکستری تا سیاه هستند، درمتن سنگ پراکنده‌اند. فابریک سنگ پورفیروبلاستیک است.

نمونه (۲۸)

آندالوزیت شیست





آندالوزیت یکی از کانی های شاخص رخساره شیست سبز در سنگ های پلیتی است که در رخساره آمفیبولیت پلی مورف های کیانیت یا سیلیمانیت به جای آن دیده می شوند.

در تصویر بلور آندالوزیت از نوع کیاستولیت دیده می شود که دارای ادخال های گرافیت بوده ودرحالت نیکول های عمود، بیرفرنژانس خاکستری دارد. بلور دیگری نیز به صورت کشیده دیده می شود. مقطع عرضی یک بلور تورمالین نیز در بالای کیاستولیت دیده می شود که برجستگی بالا و شکل دار بوده و دارای زونینگ نیز می باشد.

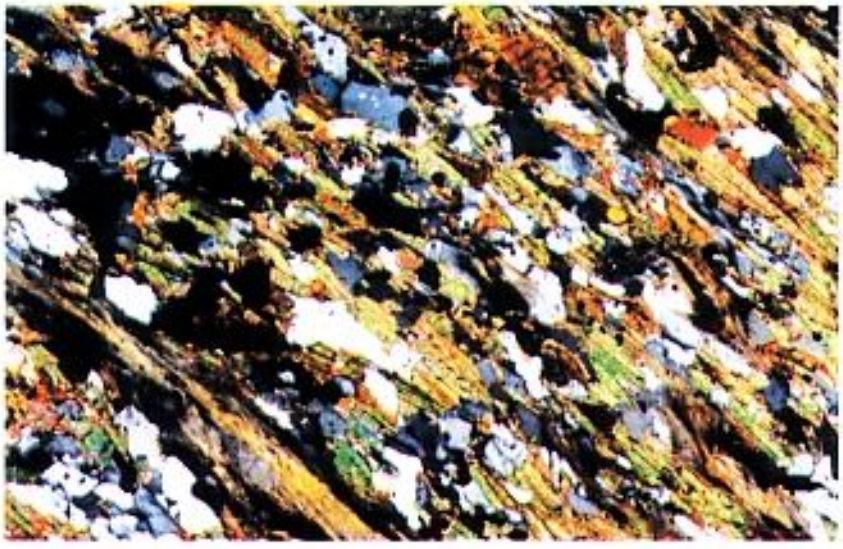
کانی های دیگر سنگ بیوتیت، کوارتز، کانی های تیره و سکویت (به طور پراکنده و کم) هستند. فابریک سنگ پورفیرولپیدو بلاستیک است.

بزرگنمایی ۲۵ ×، منطقه بروجرد

گلسنگ ها در رخساره آمفیبولیت

نمونه (۲۹)

سیلیمانیت شیست



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه ده سلم

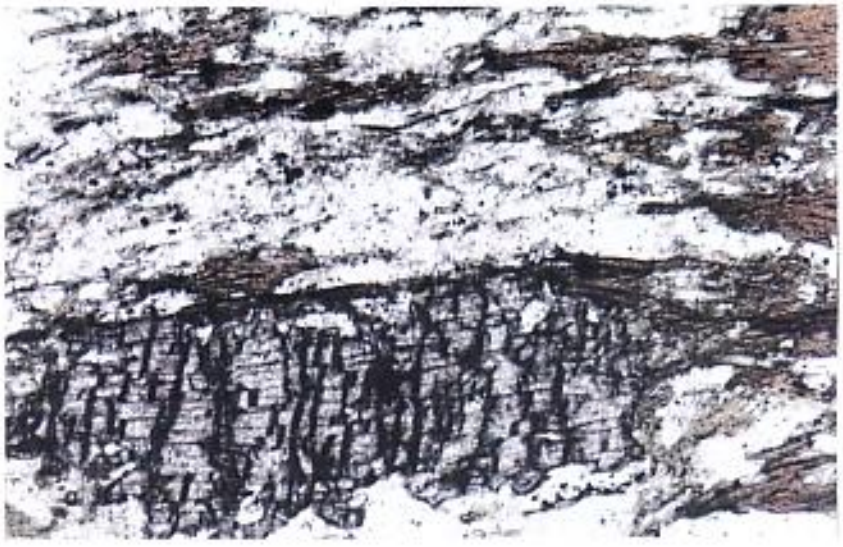
یکی از کانی های شاخص رخساره آمفیبولیت در سنگ های پلیتی سیلیمانیت است.

بلور های سیلیمانیت درحالت نیکول های موازی با رنگ تیره و برجستگی بالا و به صورت دسته علفی دیده می شوند که درحالت نیکول‌های عمود، بیرفرنژانس پایین (حد اکثر زرد سری اول) را نشان می دهند. این نوع بلور های سیلیمانیت ریز و فیبری شکل را فیبرولیت می گویند.

کانی های دیگر عمدتا بیوتیت و کوارتز هستند و مقادیری نیز کانی های تیره در مقطع پراکنده است. فابریک سنگ لپیدوبلاستیک می‌باشد.

نمونه (۳۰)

کیانیت شیست



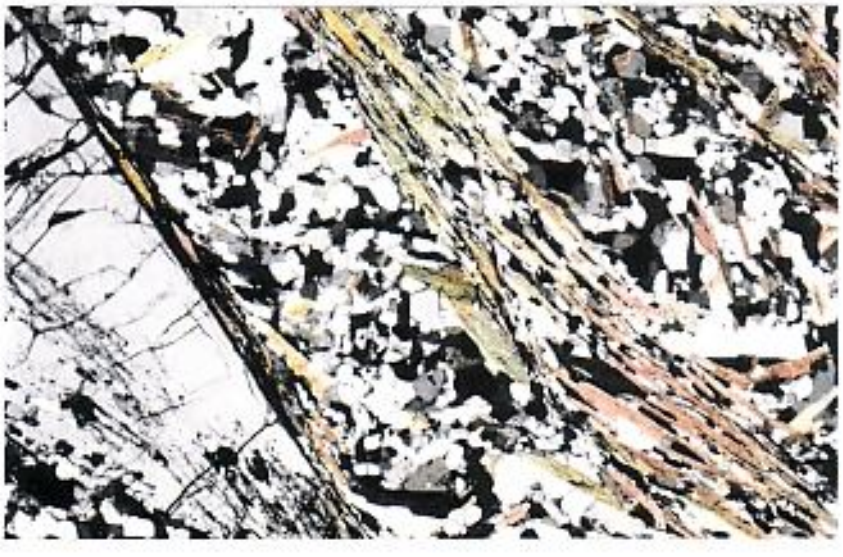
بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه شمال بافق

علاوه بر سیلیمانیت، یکی دیگر از کانی های شاخص رخساره آمفیبولیت در سنگ های پلیتی، کیانیت است که در تصویر یک بلور درشت از آن دیده می شود. کیانیت با برجستگی بالا نسبت به کانی های دیگر و دارا بودن دو سری رخ تیره و مشخص، به راحتی قابل تشخیص است.

بیوتیت، کوارتز، مسکویت و کانی های کدر، دیگر کانی های سنگ هستند. فابریک سنگ پورفیروبلاستیک است.

نمونه (۳۱)

استرولیت شیست



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

علاوه بر پلی مورف های Al_2SiO_5 (کیانیت و سیلیمانیت)، استرولیت نیز یکی دیگر از کانی‌های شاخص رخساره آمفیبولیت در سنگ‌های پلیتی است. در این نمونه، بلور درشت استرولیت به رنگ زرد کمرنگ درحالت نیکول‌های موازی و بیرفرنژانس خاکستری درحالت نیکول های عمود، در سمت چپ تصویر دیده می شود که همراه آن بیوتیت، کوارتز و کمی مسکویت نیز حضور دارند.

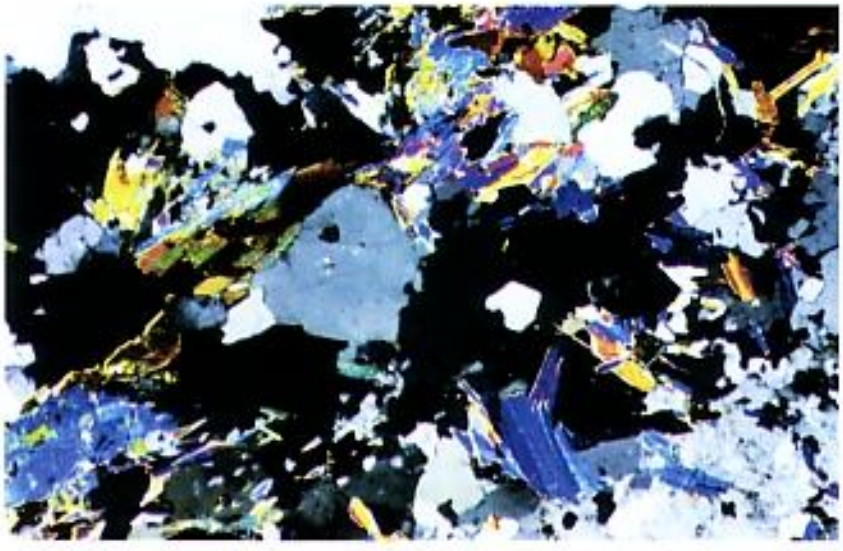
نوار سیاه رنگی که در سمت راست بلور استرولیت دیده می شود، گرافیت است. ذرات گرافیت در متن سنگ نیز پراکنده اند.

با توجه به وجود ادخال های فراوان کوارتز در داخل استرولیت، فابریک آن پوئی‌کیلوبلاستیک است.

فابریک اصلی سنگ نیز پورفیروپیدوبلاستیک است.

نمونه (۳۲)

گارنت ـ بیوتیت ـ مسکویت گنیس



بزرگنمایی ۳۵×، منطقه همدان

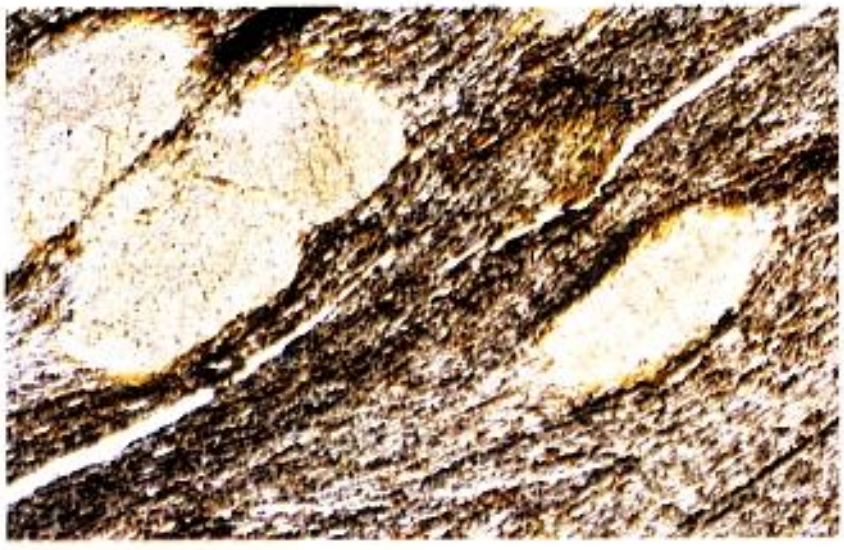
بلورهای بیوتیت، گارنت، مسکویت، کوارتز و ارتوز کانی های اصلی سنگ هستند.

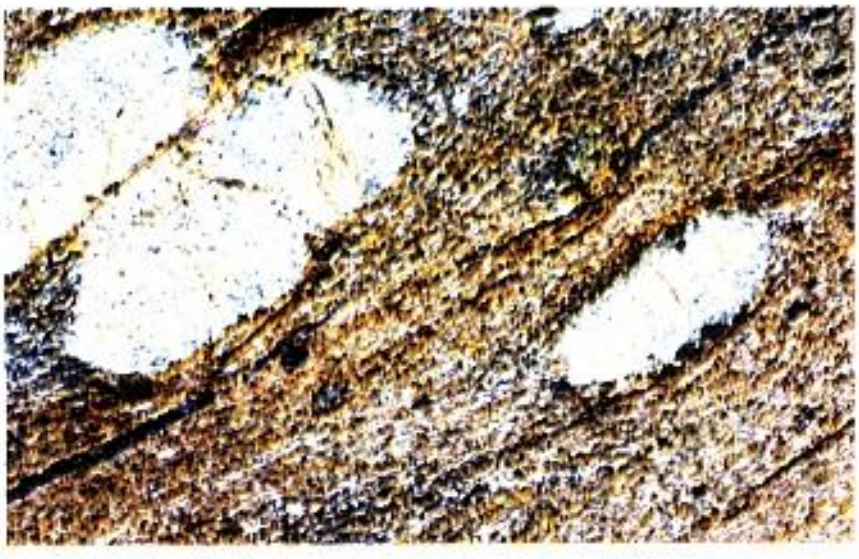
بلور گارنت در گوشه بالای سمت راست با برجستگی بالای خود درحالت نیکول های موازی مشخص است.

فلدسپات نیز در گوشه پایین سمت راست دیده می شود که نسبت به کوارتز، با حالت ابر مانند خود شناخته می شود.

با توجه به درشت بودن کانی های مختلف، سنگ گنیس بوده و فابریک آن گرانوبلاستیک و از نوع هتروگرانولار است؛ با اینکه میکا نسبتاً فراوان است، اما این میکاها جهت یافتگی خاصی نشان نمی دهند.

گلسنگ ها در رخساره هورنبلند ـ هورنفلس





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

نمونه (۳۳)

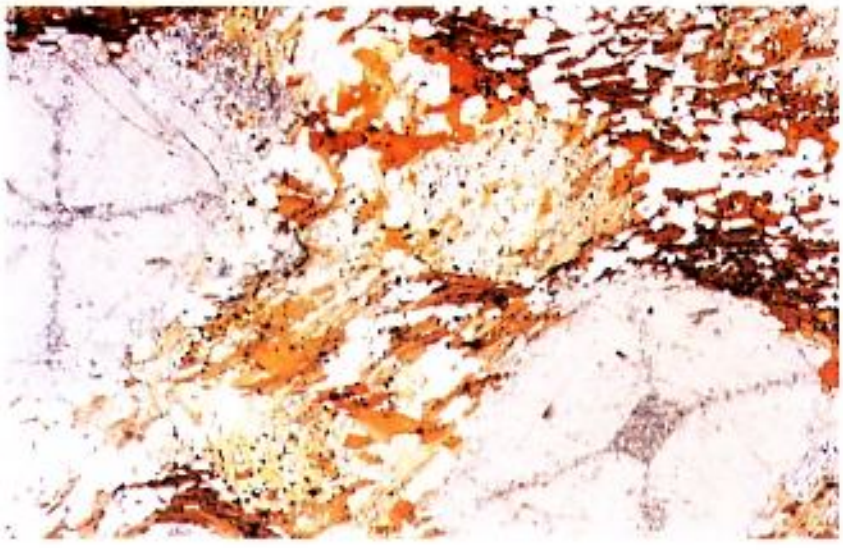
شیست لکه دار

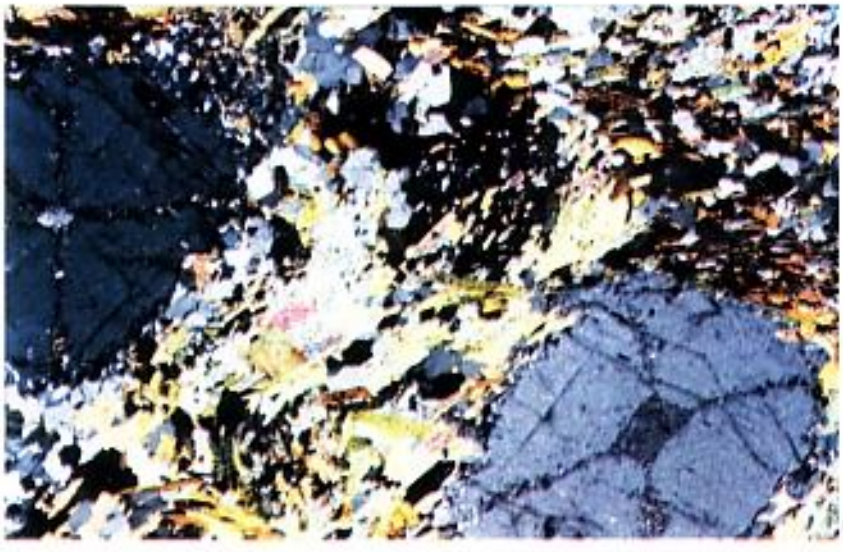
یکی از سنگ هایی که در طی دگرگونی مجاورتی سنگ های پلیتی، در درجات پایین به‌وجود می آید، شیست لکه دار است. لکه ها در این نمونه آندالوزیت یا کردیریت در حال تشکیل هستند که در بعضی مناطق پیرفرنژانس خاکستری نیز نشان می دهند. کانی های مسکویت، بیوتیت، کلریت و کوارتز کانی های دیگر سنگ هستند که در بین آنها ذرات مواد آلی (گرافیت) نیز به صورت پراکنده و ریز وجود دارد.

رگه هایی که درحالت نیکول های موازی سفید و در حالت نیکول های عمود خاکستری دیده می شوند، رگه های کوارتز ثانویه هستند. سنگ جهت یافتگی داشته و فابریک پورفیروبلاستیک را به خود گرفته است.

نمونه (۳٤)

آندالوزیت ـ کردیریت هورنفلس





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

با نزدیک شدن به تـوده و افزایـش درجـه دگرگونی، لکه هایی که در تصویر (نمونـه ۳٤) دیده می شدند، به آندالوزیت و کردیریت تبدیـل شده و میکاها نیز رشد می کنند.

در تصویر، علاوه بـر بلورهـای شـکل دار و درشت آندالوزیت (نوع کیاستولیت)، بلورهـای کردیریت با برجستگی پایین و ادخال های فراوان در بین آندالوزیت ها درحالت نیکول های مـوازی دیده می شوند که درحالت نیکول هـای عمـود، خاکستری اما درگوشه بـالای سـمت راسـت به‌علت برش خاص، سیاه رنگ دیـده می‌شـوند. بیوتیت، مسکویت کوارتز و کانی های تیره، دیگر کانی های سنگ هستند.

جهت یافتگی میکاها در حال محو شدن است و تنها در حاشیه بلورهای آندالوزیـت، احتمـالاً به‌دلیل تأثیر رشد بلورها، جهت یافتگی نسبی در سـنگ مشـاهده مـی شـود. فـابریک سـنگ پورفیروبلاستیک است.

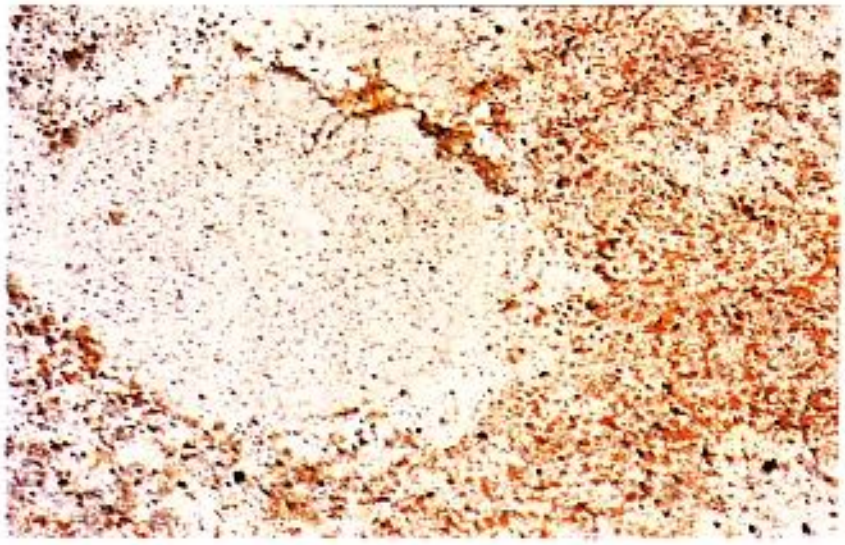
گلسنگ ها در رخساره پیروکسن هورنفلس

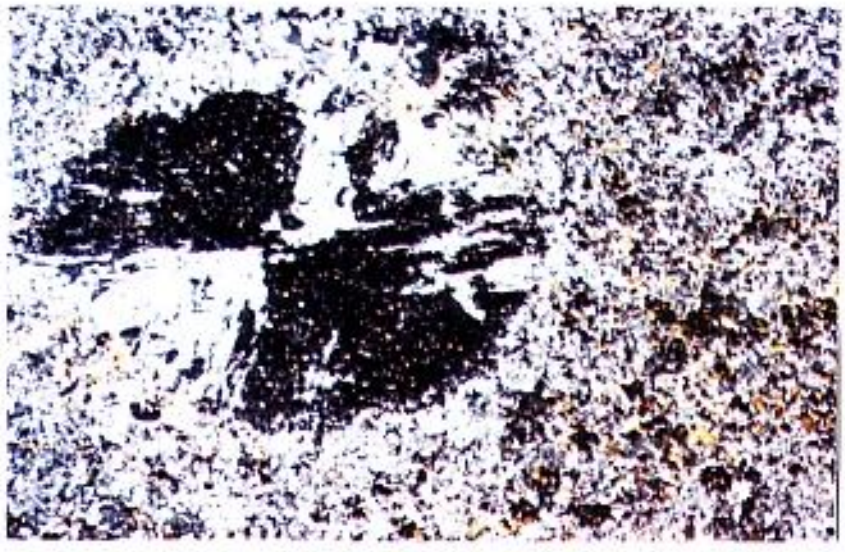
نمونه (۳۵)

کردیریت ـ آلکالی فلدسپات هورنفلس

در مجاورت توده های آذرین با نزدیک شدن به توده، فابریک خاص هورنفلس ها، یعنی عدم جهت یافتگی کانی های میکایی و فابریک گرانوبلاستیک به طور واضح در سنگ دیده می‌شود.

در تصویر یک بلور درشت کردیریت با ماکل ساعت شنی در زمینه ای ریز دانه متشکل از آلکالی فلدسپات، کوارتز، بیوتیت و کانی های تیره قرار دارد. بلورهای آلکالی فلدسپات به دلیل تجزیه به کانی های رسی، به صورت لکه های غبار آلود در حالت نیکول های موازی در متن سنگ پراکنده اند. فابریک سنگ پورفیروگرانوبلاستیک است.





بزرگنمایی ۳۵ ×، منطقه همدان

نمونه (۳۶)

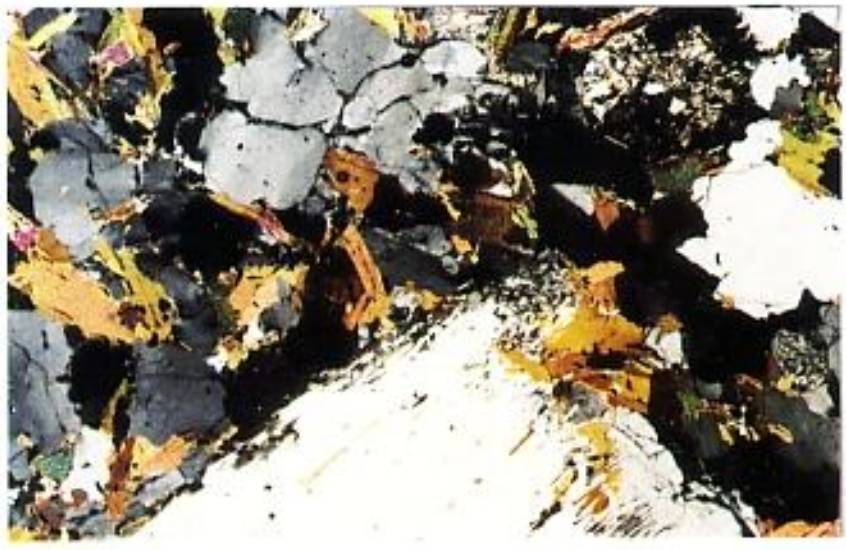
سیلیمانیت ـ کردیریت هورنفلس

در این نمونه، کانی های سیلیمانیت، کردیریت، بیوتیت، کوارتز و فلدسپات دیده می شوند. پورفیروبلاست درشت سیلیمانیت در پایین تصویر درحالت نیکول های موازی برجستگی بالا داشته و درحالت نیکول های عمود، بیرفرنژانس زرد کم رنگ دارد.

کردیریت با بیرفرنژانس سفید تا خاکستری و خاکستری تیره در سنگ فراوان است و نمونه هایی از آن به صورت تجمع در بالای عکس وجود دارد. کردیریت های این نمونه چون فاقد ماکل هستند، درحالت نیکول های عمود به سختی از کوارتز قابل تمایز هستند اما درحالت نیکول های موازی به دلیل آنکه شکل تقریبا گرد داشته و حاشیه بلورها در اثر تجزیه زرد شده است، قابل تمایز هستند.

برخی از کردیریت ها تجزیه شده اند که تشخیص آنها آسان تر است، نمونه ای از این کردیریت ها در بالای عکس (سمت راست) دیده می شود.

بلورهای فلدسپات نیز در حالت نیکول‌های عمود، شباهت زیادی به کردیریت و کوارتز دارند، اما در مواردی که فلدسپات دارای ماکل دگرشکلی است، می توان آن را مشخص کرد و نمونه ای از این کانی با ماکلهای ظریف در بالای گوشه سیلیمانیت قرار دارد.



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

بیوتیت نیز با رنگ قهوه ای خود مشخص است که دارای ادخال های فراوانی از زیرکنهای ریز هستند.

ذراتی که به رنگ سیاه در نور عادی دیده می شوند، ایلمنیت و مگنتیت هستند.

نمونه (۳۷)

سیلیمانیت ـ کردیریت ـ ارتوز گنیس

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

در این سنگ سیلیمانیت که با برجستگی بالا درحالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس زرد کاهی درحالت نیکول های عمود دیده می شوند، در کنار ارتوز (گوشه بالای سمت چپ)، کوارتز و کردیریت دیده می شود.

کردیریتها درحالت نیکول های موازی تفاوتی با کوارتز ندارند، اما درحالت نیکول های عمود در برخی موارد، پدیده پنینی شدن (نوعی تجزیه. به نمونه ۷۹ مراجعه شود) که در امتداد شکستگی های ریز داخل کردیریت رخ داده، آنها را از بقیه کانی ها متمایز می کند.

چند بلور بیوتیت و کانی های تیره نیز دیده می شوند.

در این سنگ، مسکویت وجود نداشته و برای تشکیل سیلیمانیت و فلدسپات پتاسیم دار واکنش داده است. از این رو سنگ در رخساره پیروکسن-هورنفلس دگرگون شده است.

دگرگونی ماسه سنگ ها

دگرگونی انواع مختلف ماسه سنگ ها از کوارتزیت خالص تا انواع گریواک ها در این گروه قرار می گیرند. معمولا با توجه به میزان و نوع رس ها یا سیمان کربناته، تغییرات این سنگ ها مشابه سنگ های پلیتی یا سنگ های کالک‌سیلیکاته است. کمبود کانی های میکایی یا فراوانی کوارتز (نمونه ۳۸)، فراوانی کوارتز و فلدسپات (نمونه ۳۹)، فلدسپات و بیوتیت (نمونه ۴۰) ویا وجود کانی‌های فرعی مانند آمفیبول در زمینه ای از کوارتز، فلدسپات و میکا (نمونه ۴۱) می تواند راهنمایی مناسب در شناسایی این گروه از سنگ ها باشند.

ماسه سنگ ها در رخساره شیست سبز

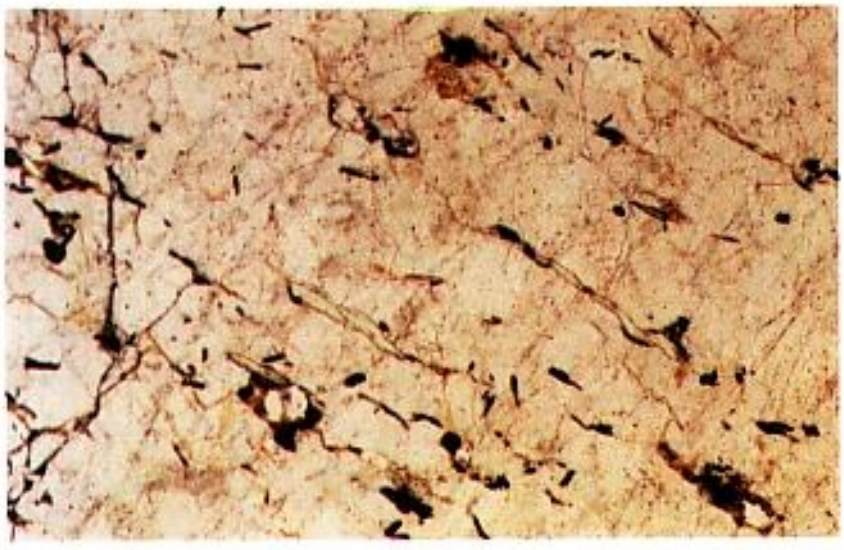
نمونه (۳۸)

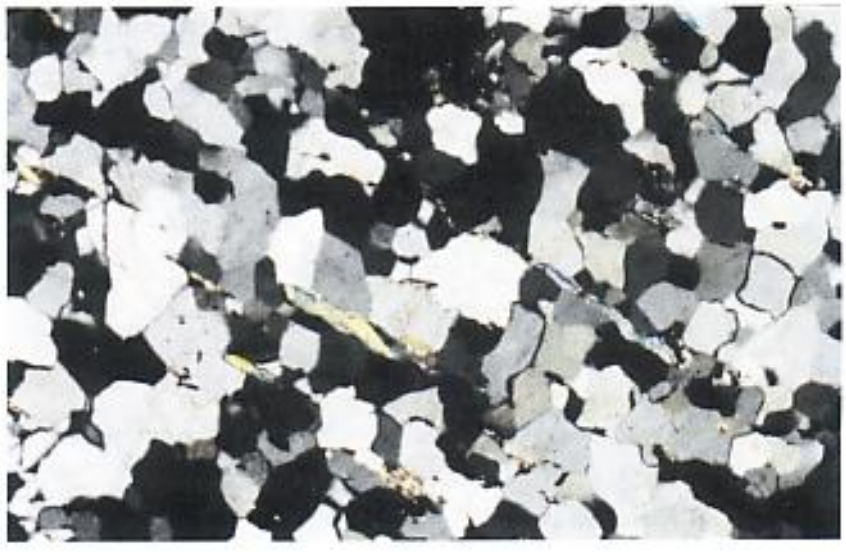
کوارتزیت

بلورهای بی شکل و فراوان کوارتز، بلورهای پراکنده مسکویت، کانی های تیره و بلورهای نادر بیوتیت، کانی های تشکیل دهنده سنگ هستند.

فراوانی کوارتز، حاکی از یک کوارتز آرنایت دگرگون شده است که مقدار کمی ماتریکس رسی نیزدرآن وجود دارد و پس از دگرگونی به بلورهای کشیده مسکویت و بیوتیت تبدیل شده است.

مسکویت ها جهت یافتگی خاص نشان می دهند، اما چون این جهت یافتگی فابریک سنگ را تحت الشعاع قرار نمی دهد، فابریک سنگ، گرانوبلاستیک و از نوع ایزوگرانولار خواهد بود.

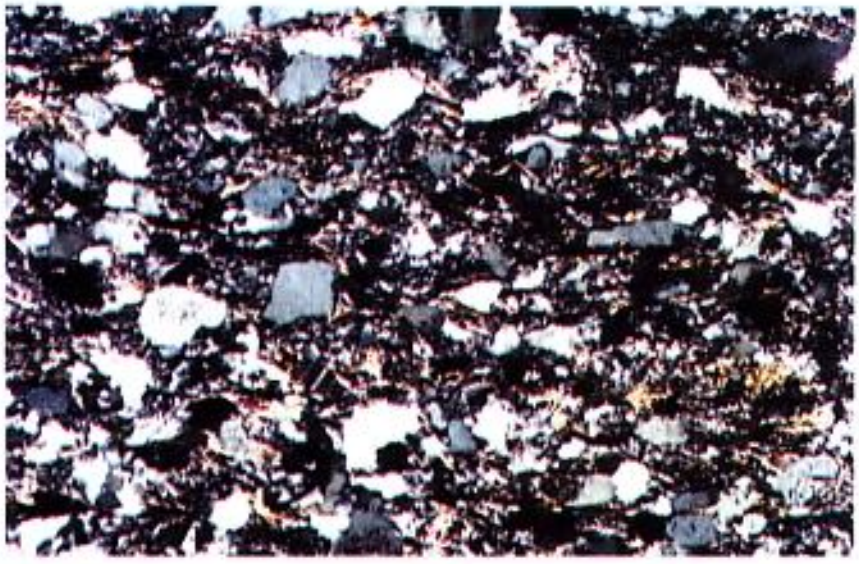




بزرگنمایی ۵۰×، منطقه خوی

نمونه (۳۹)

مسکویت ـ کلریت متاآرکوز



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

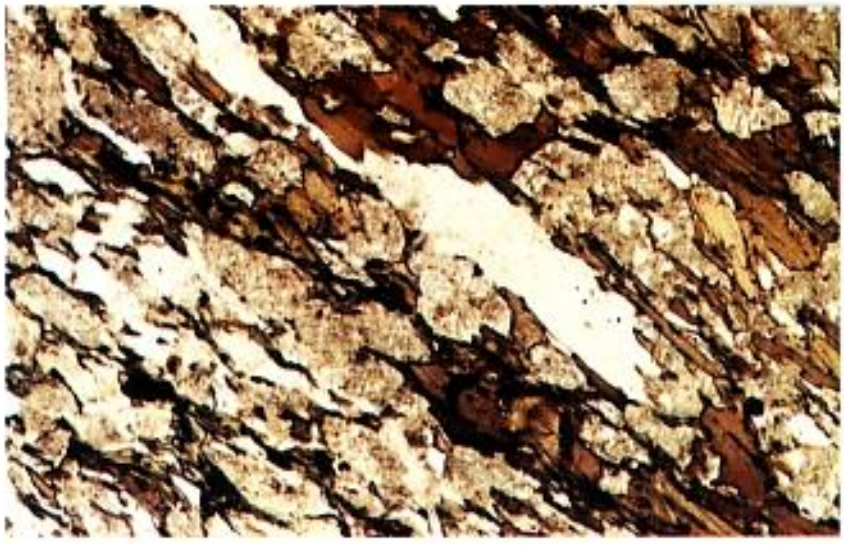
بلورهای پلاژیوکلاز و کوارتز به فراوانی در سنگ دیده می شوند و در بخشهایی نیز مسکویت و کلریت جدید در اثر دگرگونی رشد کرده اند.

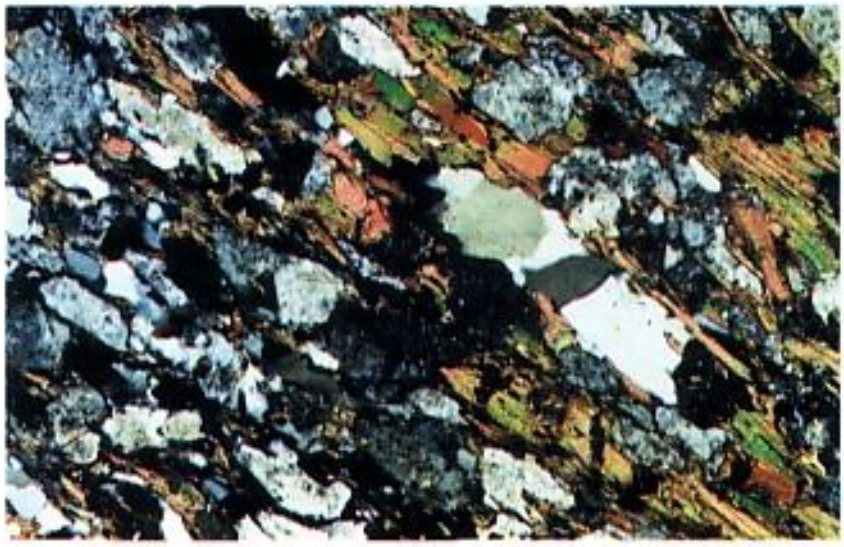
با توجه به کانی شناسی سنگ، این سنگ یک آرکوز دگرگون شده با مقادیری سیمان رسی بوده است. یک کلیواژ شرقی ـ غربی (افقی) در سنگ قابل تشخیص است که در اثر دگرگونی حاصل شده و اغلب کانی های تیره در آن متمرکز شده‌اند.

وجود ماکل مکرر(پلی سنتتیک) در پلاژیوکلازها حاکی از آن است که این کانی ها اولیه بوده و در اثر دگرگونی رشد نکرده اند. بلورهای ریز آلبیت نیز در سنگ تشکیل شده اند که در تصویر از کوارتز قابل تشخیص نیست.

نمونه (٤٠)

بیوتیت ـ متاآرکوزوک (شیست)





بزرگنمایی ۵۰×، منطقه اتارک

بلورهای فراوان ارتوز، بیوتیت، کوارتز و تعدادی بلورهای کوچک پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سنتتیک (سمت چپ، وسط)، کانی های اصلی سنگ هستند.

بلورهای کوارتز و فلدسپات هر دو بی شکل هستند ولی ارتوزها به علت تجزیه به کانی های رسی درحالت نیکول های موازی، حالت غبار آلود داشته و از بلورهای کوارتز که به مقدار کم و با برجستگی پایین ظاهر شده اند، قابل تفکیک هستند.

فراوانی فلدسپات و بیوتیت، حاکی از این است که سنگ یک آرکوزیک وک دگرگون شده است. فابریک سنگ در اثر جهت یافتگی ناشی از بیوتیت ها، لپیدوبلاستیک است.

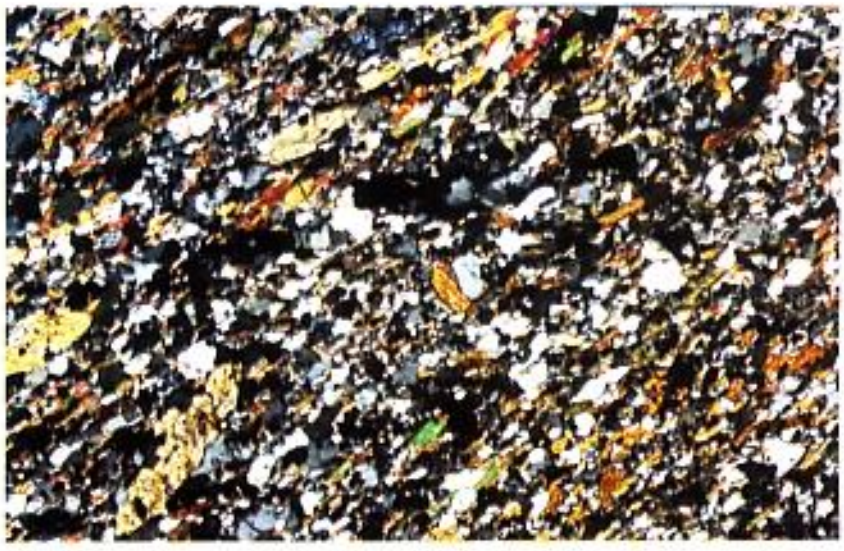
نمونه (٤١)

اپیدوت ـ آمفیبول ـ بیوتیت شیست

کانی های کوارتز، بیوتیت و فلدسپات (که در نور طبیعی برجستگی بالاتری نسبت به کوارتز نشان می دهد)، کانی های فراوان سنگ هستند که در کنار آنها اپیدوت و ترمولیت ـ اکتینولیت دیده می شوند. اپیدوتها به صورت لکه های تیره و با برجستگی بالا، و بلورهای بزرگ تر، ترمولیت ـ اکتینولیت با رخ آمفیبولی دارای چند رنگی و بیرفرنژانس پایین است. بلورهای کشیده بیوتیت نیز با رنگ قهوه ای در حالت نیکول های موازی به راحتی از سایر کانی ها متمایز می شود.

مجموع کانی های فوق، ممکن است در یک سنگ کالک سیلیکاته دگرگون شده نیز تشکیل شود، اما کم بودن بلورهای آمفیبول و اپیدوت و نیز عدم وجود کلسیت حاکی از پایین بودن مقدار کربنات در سنگ اولیه بوده و احتمالا سنگ دگرگونی موجود، از یک ماسه سنگ ریز دانه با سیمان آهکی حاصل شده است.

هر چند بررسی سنگ اولیه این سنگ مشکل است، اما وجود کانی های اپیدوت و آمفیبول، در تعیین رخساره دگرگونی مفید است.

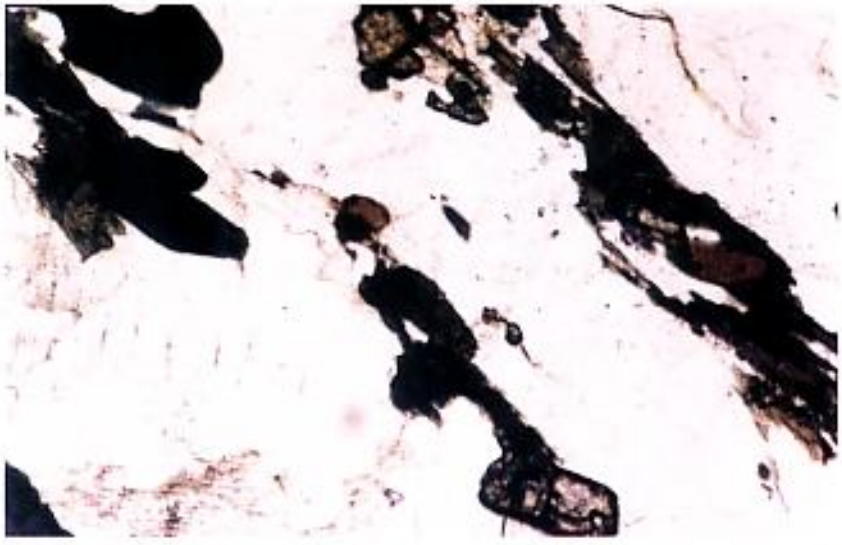


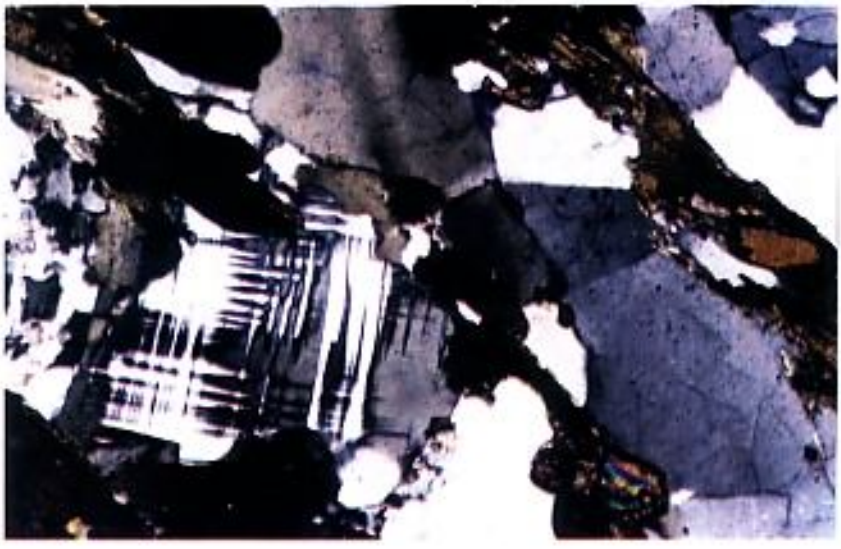
بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

ماسه سنگ ها در رخساره آمفیبولیت

نمونه (٤٢)

آمفیبول گنیس





در این نمونه بلورهای آمفیبول با جهت‌یافتگی کامل که با رنگ قهوه ای تیره درحالت نیکول های موازی دیده می شوند، هورنبلند هستند که بین آنها را بلورهای کوارتز و فلدسپات پر کرده اند. یک بلور میکروکلین نیز با ماکل پریکلین خود مشخص است.

بلورهایی که درحالت نیکول های موازی دارای برجستگی بالا بوده و درحالت نیکول های عمود بیرفرنژانس سبز، آبی و بنفش دارد، زیرکن هستند.

نحوه آرایش بلورهای آمفیبول، کوارتز و فلدسپات بنحوی است که سنگ تناوبی از لایه‌های تیره و روشن پیدا کرده است.

بزرگنمایی ۳۵×، منطقه ایران مرکزی

دگرگونی سنگ های کربناته

سنگ های کربناته دگرگون شده را به طور کلی می توان به دو دسته مرمرها و سنگ های کالک سیلیکاته تقسیم کرد که در هر دو گروه کانی های غنی از Ca و یا غنی از Ca و Mg که میزان Mg نسبت به Fe بیشتر است، دیده می شوند.

مرمرها از دگرگونی سنگ های آهکی خالص و یا سنگ هایی که دارای مقادیر کمی ناخالصی از قبیل کوارتز و دیگر مواد تخریبی هستند، به وجود می آیند، در حالی که سنگ های کالک سیلیکاته، حاوی کربنات کمتری بوده و از دگرگونی مارن ها به وجود می آیند و بخشی از آنها نیز ممکن است منشا متاسوماتیکی داشته باشند و در اثر واکنش بین لایه های نازک آهک و سنگ های پلیتی اطراف (دگرگونی ناحیه ای) یا از واکنش سیالات حاصل از توده های نفوذی با سنگ های آهکی در طی دگرگونی مجاورتی تشکیل شوند که در حالت اخیر، اسکارن نامیده می شوند.

به طور کلی، واکنش های دگرگونی در سنگ های آهکی پیچیده است. این پیچیدگی از یک سو به دلیل تنوع ناخالصی ها و مقادیر آنها و از سوی دیگر به دلیل نقش فشار سیالات بخصوص CO_2 در واکنش‌های این‌گونه سنگ هاست. بدین دلیل، ارزیابی رخساره های دگرگونی در این گروه با مشکل توام بوده و در غالب موارد نمی توان زون بندی را بر مبنای آنها به طور دقیق انجام داد.

بهترین روش برای تخمین رخساره دگرگونی سنگ های کربناته، استفاده از توالی های متاپلیتی همراه آن است و در نمونه هایی که ارائه می شود نیز عمدتا رخساره های دگرگونی بر مبنای رخساره‌های سنگ‌های پلیتی اطراف تشخیص داده شده اند.

سنگ های کربناته در رخساره شیست سبز

نمونه (۴۳)

تالک مرمر

بزرگنمایی ۵۰×، منطقه شهرکرد

کانی های تالک، کلسیت، دولومیت و مقداری کوارتز در این نمونه تالک مرمر دیده می شوند.

بلورهای کشیده تالک با بیرفرنژانس آبی ـ زرد و برجستگی پایین خود مشخص هستند. کلسیت و دولومیت قسمت عمده سنگ را شامل شده و با توجه به اختلاف برجستگی در حالت نیکول های موازی می توان آنها را تشخیص داد. کوارتز با بیرفرنژانس خاکستری و سفید و به‌صورت بی شکل دیده می شود.

تالک از رخساره زئولیتی ظاهر شده و میدان پایداری آن بستگی به مقدار CO_2 (XCO_2) دارد. بنابر این به تنهایی شاخص درجات دگرگونی خیلی پایین تا پایین بوده و شاخص رخساره خاصی نیست.

فابریک، سنگ گرانوبلاستیک است و بلورهای تالک نیز جهت یافتگی مشخص نشان می دهند.

نمونه (٤٤)

بروسیت ـ فلوگوپیت مرمر

در این نمونه، بلورهای درشت کلسیت با رخ‌های واضح و برجستگی متوسط در حالت نیکول های موازی، زمینه اصلی سنگ را تشکیل می دهند.

کانی بروسیت با بیرفرنژانس خاکستری، برجستگی پایین در نزدیک بالای سمت راست و بلور کشیده فلوگوپیت با بیرفرنژانس آبی ـ بنفش در داخل زمینه دیده می شوند.

فابریک سنگ، گرانوبلاستیک و از نوع هتروگرانولار است.

بزرگنمایی ۵۰×، منطقه انارک

نمونه (٤٥)

کالک شیست

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه انارک

کانی شناسی سنگ های کالک سیلیکاته بسیار متنوع است و بستگی به میزان و نوع ناخالصی ها دارد.

در این نمونه کالک شیست، فراوانی کلریت، مسکویت و کوارتز به حدی است که فابریک اصلی سنگ توسط آنها کنترل می شود.

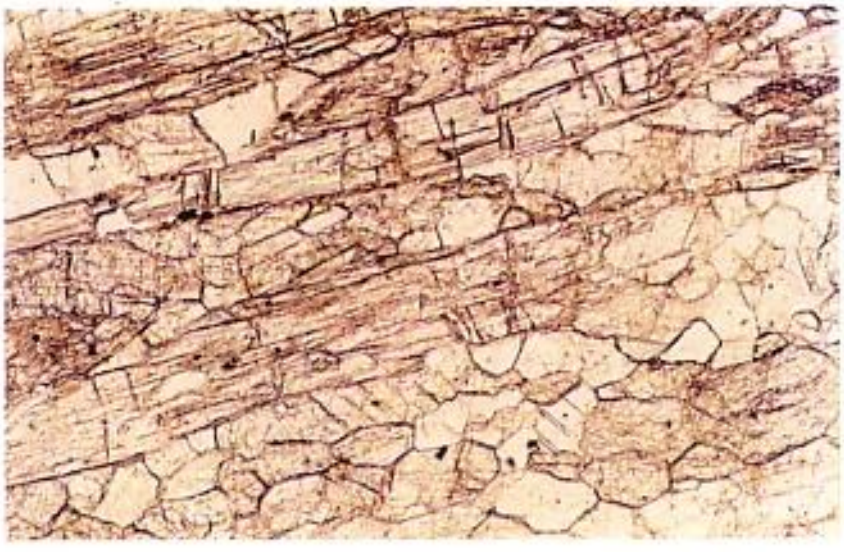
کلسیت به صورت پراکنده و بی شکل در متن سنگ وجود دارد و بخصوص در وسط تصویر با بیرفرنژانس بالای خود نسبت به زمینه، قابل تشخیص است. بلورهای فراوان کلریت با رنگ سبز در حالت نیکول های موازی دیده می‌شوند. بلور مشخصی از کلریت در مرکز عکس و در مجاورت کلسیت مشاهده می شود. مسکویت ها با بیرفرنژانس زرد ـ آبی، بنفش و برجستگی پایین خود متمایز هستند.

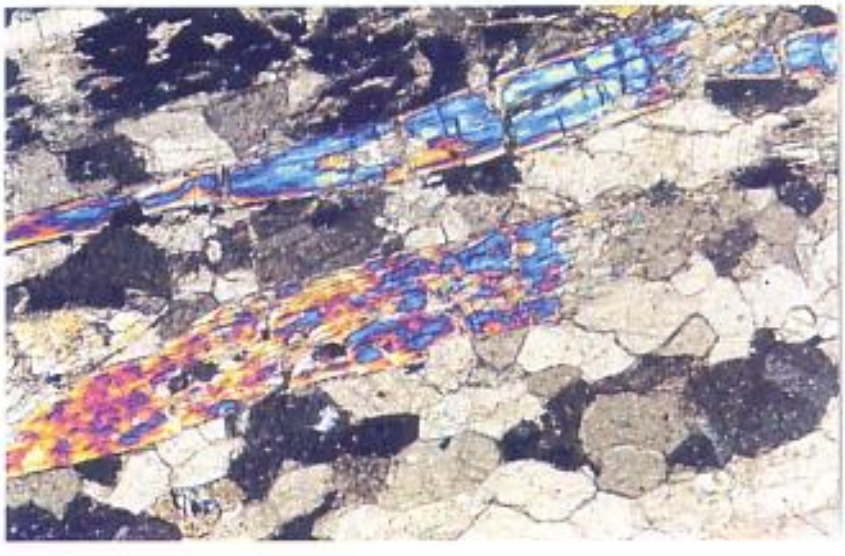
کانی های کدر نیز در متن سنگ پراکنده اند که در حالت نیکول های موازی به راحتی قابل تمایزند.

سنگ های کربناته در رخساره آمفیبولیت

نمونه (٤٦)

ترمولیت مرمر





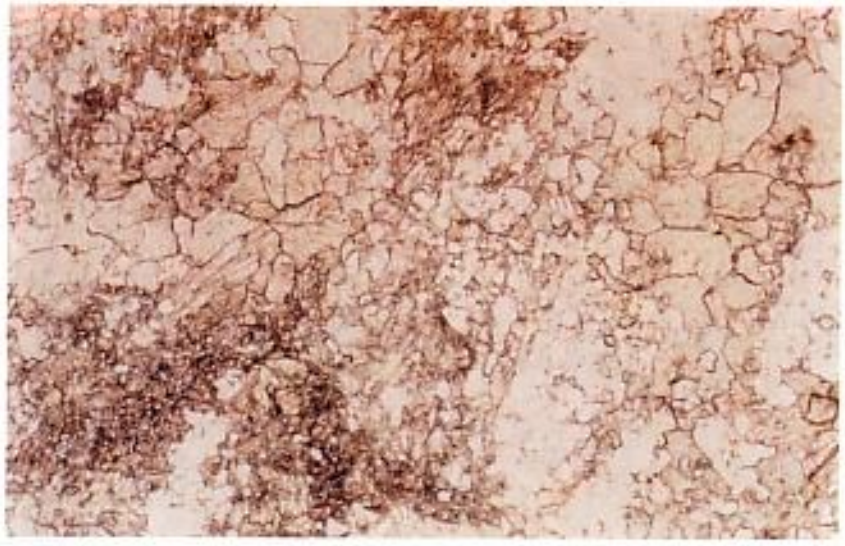
بزرگنمایی ۵۰×، منطقه تکاب

کانی های اصلی سنگ ، بلورهای درشت و کشیده آمفیبول در زمینه ای از بلورهای بی شکل کلسیت و دولومیت هستند. آمفیبول ها در حالت نیکول های موازی بی رنگ و از نوع ترمولیت می باشند و یک سری رخ را به خوبی نشان می‌دهند. بلور درشت ترمولیت که در گوشه بالای سمت چپ قرار دارد، در حالت نیکول های عمود به دلیل قرار گرفتن در موقعیت خاموشی، تیره دیده می شود.

فابریک سنگ گرانوبلاستیک یا پورفیروگرانوبلاستیک است.

نمونه (٤٧)

ترمولیت ـ دیوپسید کالک سیلیکات



بزرگنمایی ۲۵× منطقه تکاب

در این سنگ، علاوه بر کوارتز و کلسیت، پیروکسن و آمفیبول نیز دیده می شوند.

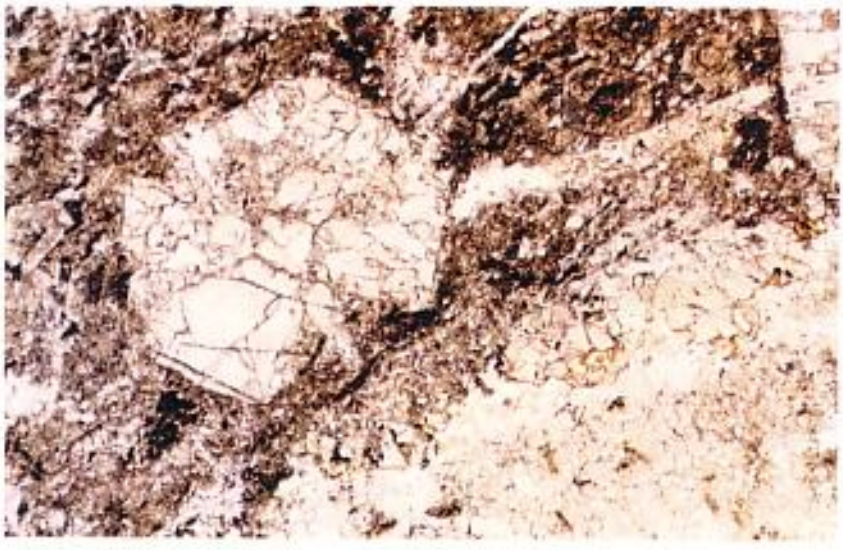
پیروکسن ها از نوع دیوپسید بوده و با برجستگی بالاتر از سایر کانی ها و دارا بودن بیرفرنژانس زرد- نارنجی متمایز می شوند. تمرکز این کانی بخصوص در سمت چپ و پایین تصویر است. آمفیبول از نوع ترمولیت است که بلورهای آن کشیده و دارای بیرفرنژانس قرمز تا بنفش هستند و تمرکزی از آنها در قسمت فوقانی عکس دیده می شود.

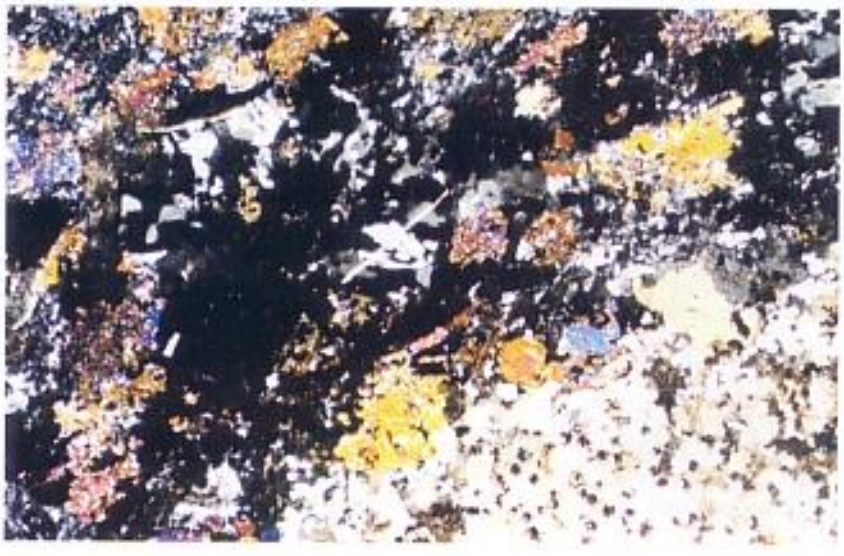
کوارتز با برجستگی و بیرفرنژانس پایین و کلسیت با بیرفرنژانس بالا و برجستگی متوسط هر دو به صورت بلورهای بی شکل هستند.

سنگ جهت یافتگی خاصی نداشته و فابریک آن گرانوبلاستیک از نوع هتروگرانولار است.

نمونه (٤٨)

ترمولیت ـ دیوپسید ـ گارنت کالک سیلیکات





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

در سنگ دو بخش بالایی و پایینی متفاوت هستند. قسمت فوقانی از گارنت و گرافیت غنی است. بلورهای گارنت هم به صورت بلور درشت تمام شکل و هم به صورت بلورهای ریز دارای ادخالهای فراوان و ساختمان منطقه ای (زونینگ) در زمینه سنگ دیده می شوند که درداخل بلورهای درشت گارنت، بلورهای کوارتز نیز پراکنده اند.

بخش پایین مقطع، غنی از کلسیت است و در حد بین این بخش بلورهای ترمولیت متمرکز هستند که با رخ آمفیبولی در حالت نیکول های موازی قابل تشخیص هستند و بیرفرنژانس متنوع زرد، آبی و بنفش دارند.

بلورهای بی شکل دیوپسید نیز در بخش غنی از گارنت و گرافیت، بخصوص در سمت چپ عکس با بیرفرنژانس نارنجی، آبی و بنفش و برجستگی بالاتر از ترمولیت دیده می شوند.

سنگ های کربناته در رخساره هورنبلند هورنفلس

نمونه (٤٩)

فورستریت مرمر

سنگ از دو کانی فورستریت و کلسیت تشکیل شده است که بلورهای دانه ای شکل فورستریت با برجستگی بالا در حالت نیکول‌های موازی و بیرفرنژانس قهوه ای، آبی و بنفش در حالت نیکول های عمود مشخص هستند. بخش‌های سرپانتینیتی شده فورستریت ها به‌صورت نوارهای با برجستگی پایین در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس پایین در حالت نیکول های عمود، در حاشیه یا داخل فورستریت‌ها مشخص است.

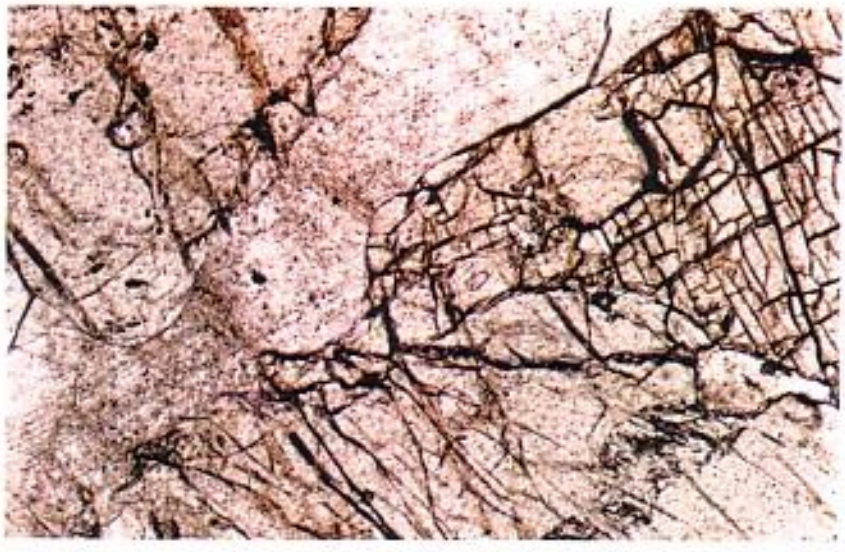
کانی کلسیت با رخ مشخص و برجستگی متوسط زمینه سنگ را تشکیل می دهد. بافت سنگ گرانوبلاستیک است.

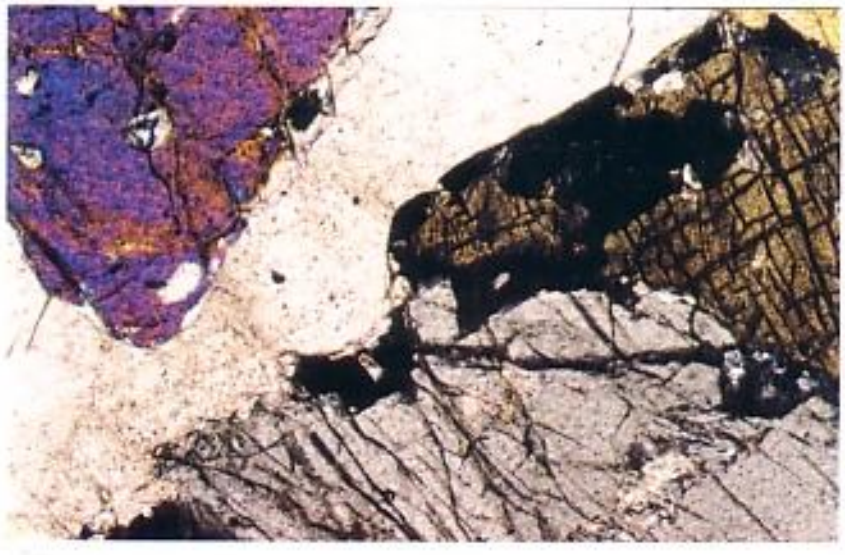
بزرگنمایی ۳۵×، منطقه اقلید

سنگ های کربناته در رخساره پیروکسن هورنفلس

نمونه (۵۰)

ولاستونیت ـ دیوپسید ـ فورستریت مرمر





در نمونه کانی های فورستریت، دیوپسید، ولاستونیت و کلسیت دیده می شوند.

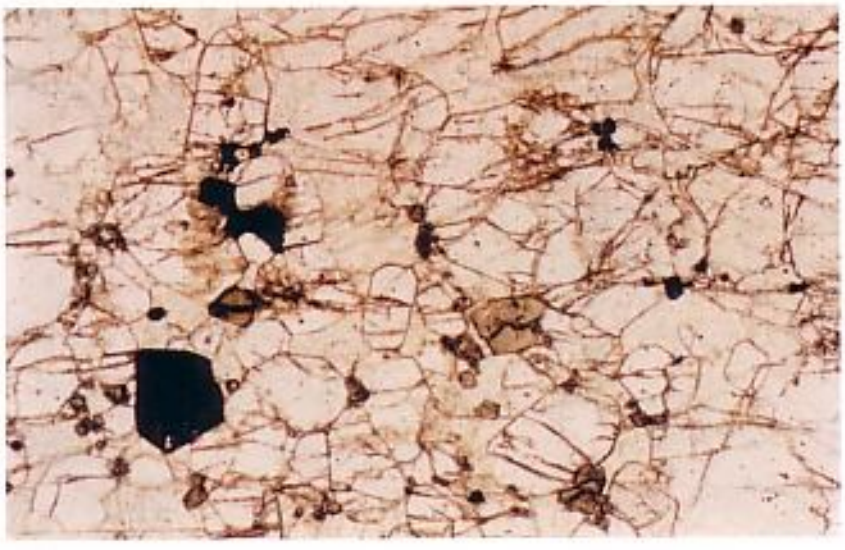
فورستریت با برجستگی بالا و بیرفرنژانس بنفش خود مشخص است و دیوپسید نیز با دو سری رخ مشخصه پیروکسن ها، برجستگی بالا و بیرفرنژانس قهوه ای مایل به زرد دیده می شود.

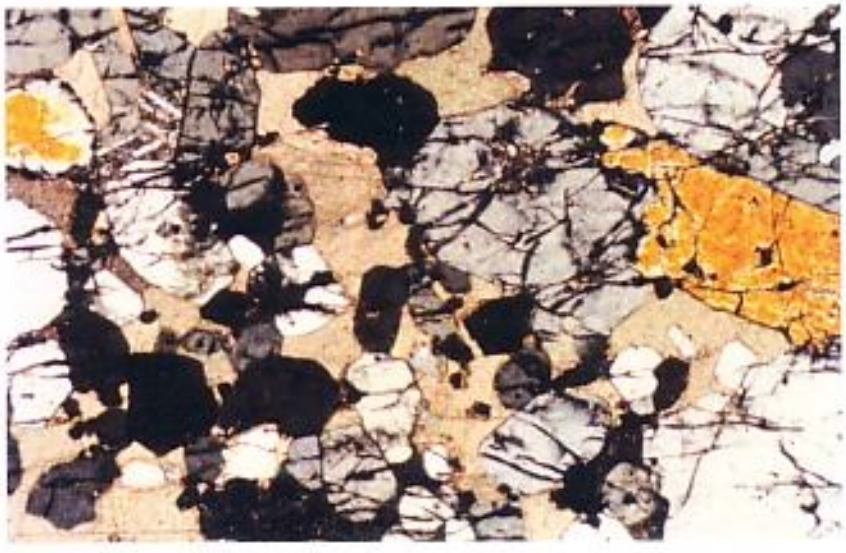
ولاستونیت دارای بیرفرنژانس خاکستری و در پایین دیوپسید قرار دارد. کلسیت نیز با برجستگی کمتر از سایر کانی ها، قسمت های میانی تصویر و زمینه اصلی سنگ را می سازد.

بافت سنگ به دلیل عدم حضور کانی های جهت یافته، گرانوبلاستیک و از نوع هتروگرانولار است.

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه ایران مرکزی

سنگ های کربناته در رخساره سانیدنیت





بزرگنمایی ۳۵×، منطقه ده بالای تفت (یزد)

نمونه (۵۱)

مونتی سیلیت ـ فورستریت ـ اسپینل مرمر

کانی های سنگ مونتی سیلیت، فورستریت، اسپینل و پروسکیت در زمینه ای از کلسیت هستند. مونتی سیلیت بخش عمده ای از مقطع را شامل می شود و در حالت نیکول های موازی دارای برجستگی بالا و به صورت بی‌رنگ، و در حالت نیکول های عمود دارای بیرفرنژانس پایین خاکستری و سفید است.

بلور فورستریت نیز با برجستگی بالا و بیرفرنژانس نارنجی خود و حاشیه های سرپانتینیتی شده، قابل تشخیص است.

اسپینل و پروسکیت ($CaTiO_3$) هر دو در نور پلاریزه ایزوتروپ هستند، اما در نور عادی، اسپینل به رنگ سبز و سبز قهوه ای و پروسکیت به رنگ قهوه ای تیره و سیاه دیده می شود. کانی‌های مذکور بیانگر دمای بالای تشکیل سنگ است. در حقیقت این نمونه از مجاورت یک دایک گابرویی و آهک های بلافصل آن برداشته شده است.

دگرگونی سنگ های مافیک

سنگ های دگرگونی مافیک از دگرگونی سنگ های آذرین مافیک که به طـــور عمـــده بـــازالت هـــا و آندزیت ها و به میزان کمتر گابروها هستند، به وجود آمده و یا ممکن است از برخی سنگ هـــای رســـوبی مانند توفیت، توف و یا حتی برخی مارن ها به وجود آیند.

سنگ های این گروه دارای SiO_2 بین ٤٥ تا ٦٠ درصد بوده و از MgO ، FeO ، CaO و Al_2O_3 نـیز نسبتا غنی هستند. این سنگ ها را به اختصار متابازیت نیز می نامند.

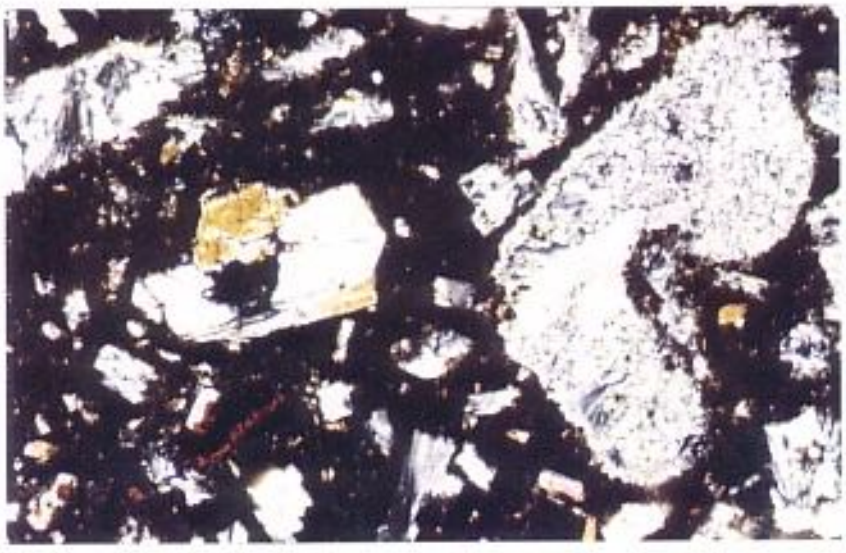
کانی اصلی متابازیتها در محدوده وسیعی از فشار و حرارت، آمفیبول است. در مقـابل پلیـت هـا کـه زون‌های کانی شناسی مجزایی را با ظهور کانی های متنوع نشان می دهند، واکنـش هـای متابـازیت هـا عمدتا ممتد بوده و افزایش دما یا فشار باعث تغییرات پیشرونده در ترکیب آمفیبول می شود.

سنگ های دگرگونی مافیک دارای گسترش بیشتری نسبت به گروه های دیگر سنگ های دگـرگـــونی بوده و نسبت به تغییرات فشار و حـرارت بسیار حســاس هســتند. بـه همیـن علـت، اغلـب نـام هـای رخساره‌های دگرگونی مختلف از مجموعه های کانی شناسی این گروه استخراج شده است. این سنگ هـا بخصوص برای بررسی آغاز دگرگونی و درجات پایین دگرگونی بسیار مفید هستند.

سنگ های مافیک دررخساره زئولیتی

نمونه (۵۲)

متاآندزیت (متابازیت)



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه رودهن

سنگ، یک آندزیت دگرگون شده است و هنوز ظاهر آتشفشانی (بقایای بافت پورفیری) را حفظ کرده است. کانی های درشت، پیروکسن و پلاژیوکلاز زئولیتی شده هستند. پیروکسن با برجستگی بالا و یا بیرفرنژانس زرد- نارنجی خود مشخص است. زئولیت ها نیز قالب پلاژیوکلاز را پر کرده، با بیرفرنژانس خاکستری و خاموشی موجی ناشی از رشد شعاعی مشخص هستند.

زمینه سنگ از کانی های تیره تشکیل شده است. زئولیت علاوه بر اینکه پر کننده پلاژیوکلازها است، حفره های سنگ را نیز پر کرده است که یک نمونه آن با حاشیه های گرد و بدون شکل خاص بین پلاژیوکلازهای زئولیتی شده و پیروکسن دیده می شود. سنگ هنوز ظاهر آتشفشانی خود را حفظ کرده است و تنها بلورهای زئولیت، حاکی از دگرگونی درجه پایین است و آن را متا آندزیت (متا بازیت) می نامیم.

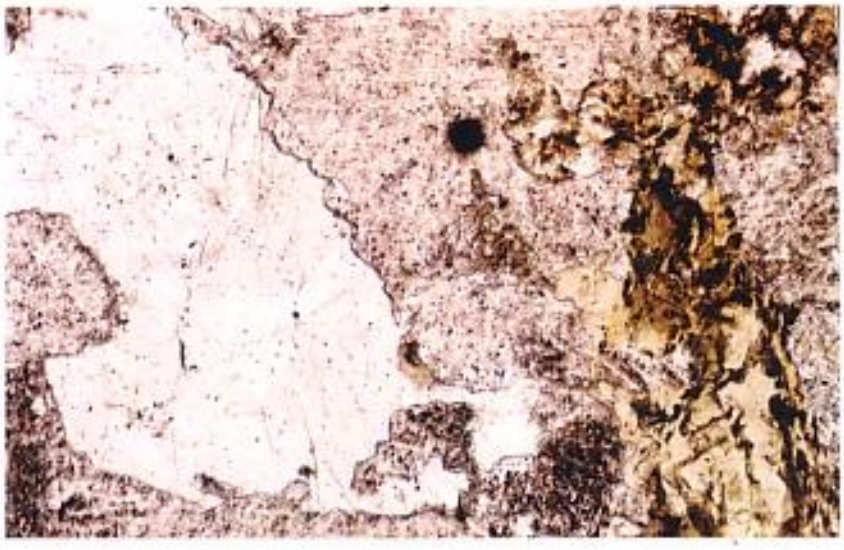
سنگ های مافیک دررخساره پرهنیت پومپله ایت

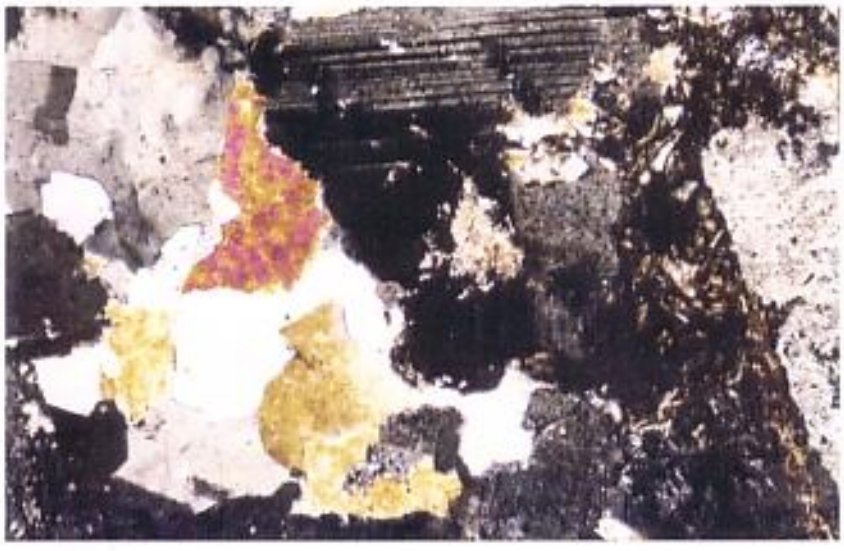
نمونه (۵۳)

پرهنیت متابازیت

در سنگ، بلورهای پلاژیوکلاز با ماکل مکرر (بالای عکس) یا بدون ماکل (سمت راست عکس) در حالت نیکول های عمود دیده می‌شوند که آثار تجزیه آنها بخصوص در حالت نیکول های موازی به صورت لکه های قهوه ای ریز مشخص است.

علاوه بر پلاژیوکلازها که کانی های اولیه هستند، کانی های کلریت و پرهنیت در اثر دگرگونی در سنگ تشکیل شده اند. کانی کلریت با رنگ زرد- قهوه ای و بیرفرنژانس پایین (خاکستری تا سیاه) از پایین تا بالای عکس در سمت راست دیده می شود. پرهنیت در حالت نیکول های موازی شفاف، بیرنگ و برجستگی پایین دارد و با بیرفرنژانس خاکستری، نارنجی و بنفش در سمت چپ عکس دیده می‌شود. سنگ یک بازالت یا آندزیت دگرگون شده است و به دلیل ظهور کانی‌های کلریت و پرهنیت، آن را متابازیت می نامیم.





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه سبزوار

نمونه (٥٤)

اپیدوت ـ کلریت متا آندزیت

بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه سبزوار

نمونه، از کانی های اپیدوت، کلریت، آلبیت و هورنبلند تشکیل شده است. بلورهای نیمه‌شکل‌دار اپیدوت (پستاسیت) با بیرفرنژانس آبی ـ بنفش و برجستگی قوی در قسمت میانی تصویر در کنار کلریت با برجستگی پایین و بیرفرنژانس آبی دیده می شوند.

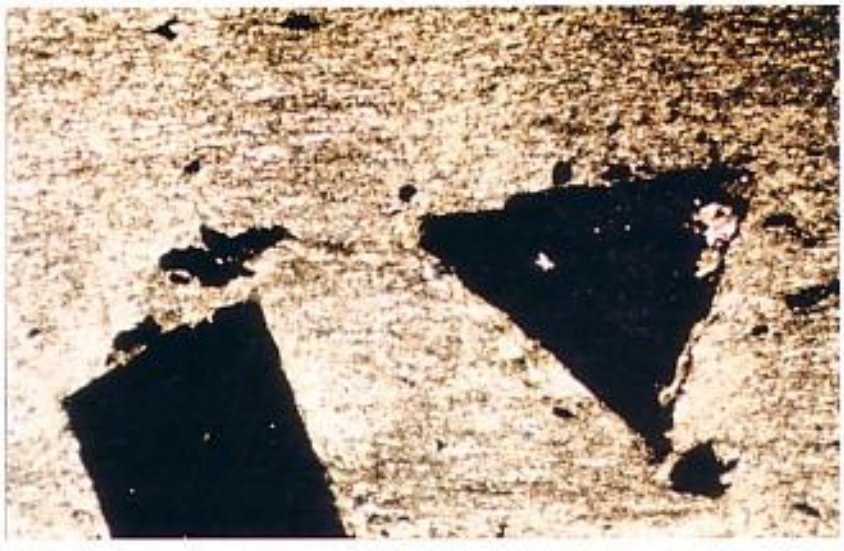
آلبیت های حاصل از دگرگونی نیز با رنگ سفید و بیرفرنژانس پایین و به صورت تجزیه شده در اکثر قسمت های سنگ پراکنده اند. کانی‌های اپیدوت، آلبیت و کلریت حاصل از دگرگونی و در کنار بقایای هورنبلند، با بیرفرنژانس زرد قهوه‌ای که اغلب به صورت بلورهای کشیده هستند، مشاهده می شوند.

پلاژیوکلاز اولیه و بلورهای پراکنده کانی‌های کدر نیز از دیگر کانی های سنگ هستند. کانی های حاصل از دگرگونی، نشان‌دهنده مراحل آغازین دگرگونی نمونه است. عدم وجود اکتینولیت، نمایانگراین است که هنوز سنگ به شرایط رخساره شیست سبز نرسیده است.

سنگ های مافیک در رخساره شیست سبز

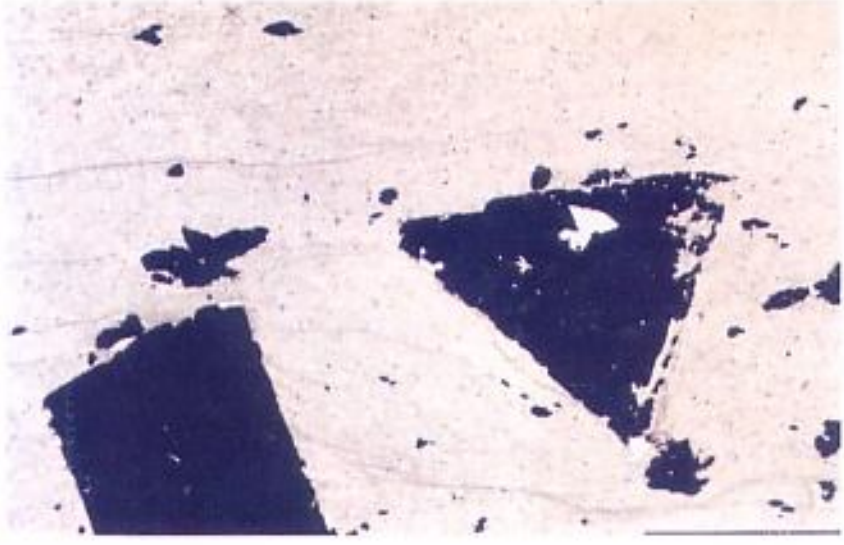
نمونه (۵۵)

مگنتیت- کلریت شیست



در این نمونه که یک توف دگرگون شده است، بلورهای شکل دار و درشت مگنتیت در زمینه ای که تنها از کلریت تشکیل شده، دیده می‌شوند و فابریک پورفیروبلاستیک به سنگ داده‌اند.

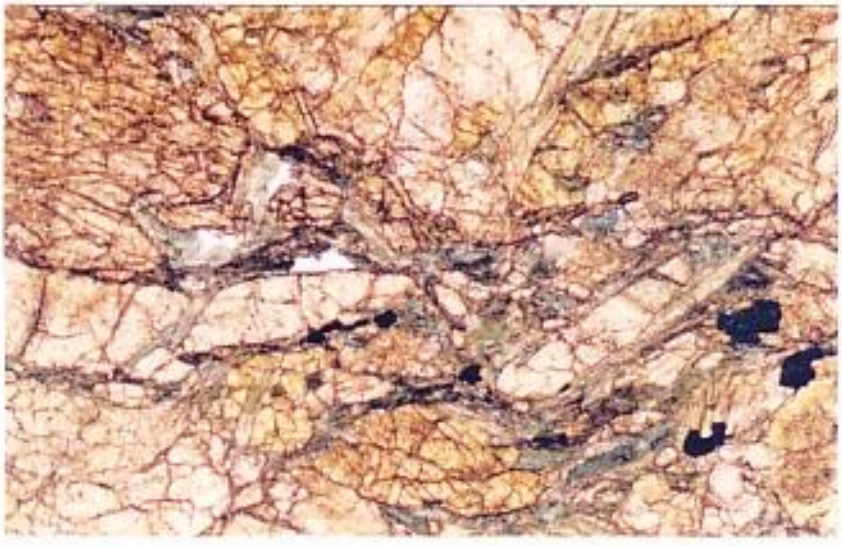
فراوانی کلریت، باعث می شود که سنگ در نمونه دستی نیز به رنگ سبز دیده شود.

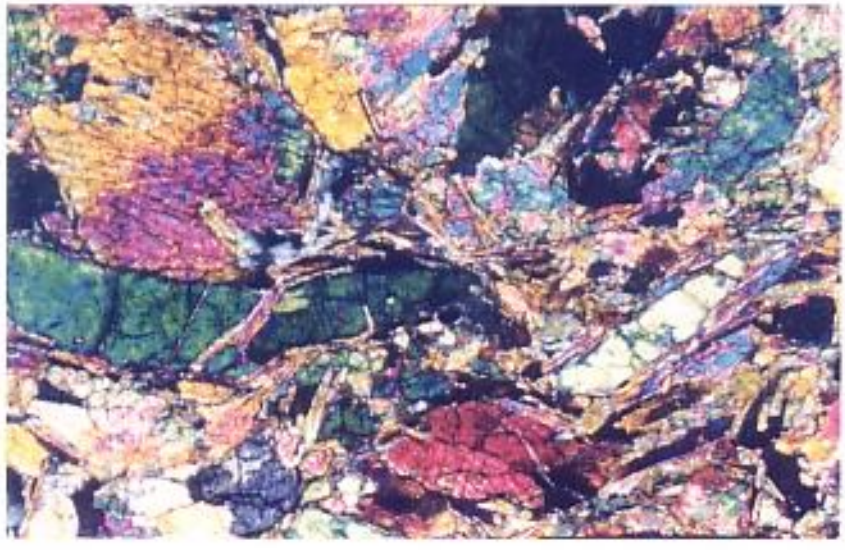


بزرگنمایی ۲۵×، منطقه خوی

نمونه (٥٦)

اکتینولیت ـ اپیدوت گرانوفلس





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه خوی

کانی های تشکیل دهنده سنگ اپیدوت، هورنبلند و فلدسپات است. مقادیر فراوان اپیدوت با برجستگی بالا و رنگ زرد در حالت نیکول‌های موازی و بیرفرنژانس سبز ـ نارنجی در حالت نیکول های عمود، کانی اصلی تشکیل دهنده سنگ است.

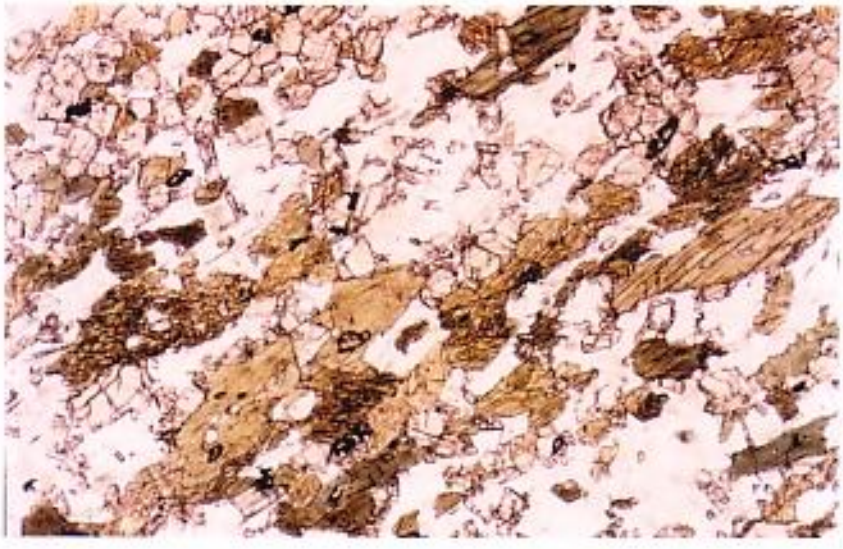
هورنبلند از نوع اکتینولیت بوده که با رنگ سبز و بلورهای کشیده در حالت نیکول های موازی در بین اپیدوت ها قرار گرفته است. فلدسپات از نوع آلبیت است که با رنگ سفید و برجستگی پایین و نیز بیرفرنژانس پایین به مقدار کم دیده می شود. بلورهای پراکنده کانی های کدرنیز در حالت نیکول های موازی قابل تشخیص اند.

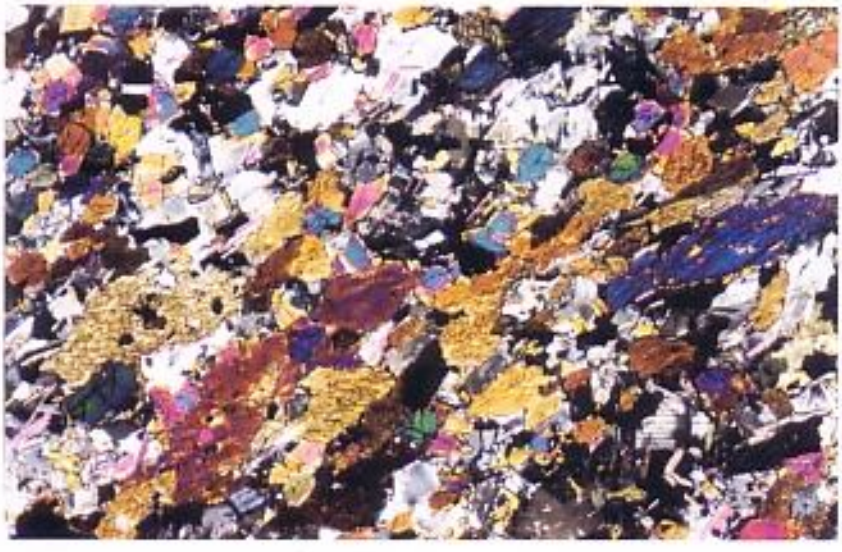
به دلیل فراوانی اپیدوت و اکتینولیت، سنگ از گروه گرین استون ها بوده و به دلیل عدم وجود شیستوزیته و جهت یافتگی کامل، نام گرانوفلس بخود می گیرد.

سنگ های مافیک د رخساره آمفیبولیت

نمونه (۵۷)

اپیدوت آمفیبولیت





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه انارک

نمونه، از کـــانی هـــای آمفیبـــول، اپیـــدوت و پلاژیوکلاز تشکیل شده است. آمفیبول ها از نـوع هورنبلند هستند که با رنگ قهوه ای تا سبز تیره و رخ لوزی شکل در حالت نیکول های مـــوازی دیده می شوند. تمرکز قابل ملاحظه ای از ایـن کانی در گوشه بالای سمت چپ دیده می شود.

پلاژیوکلاز در لابلای دیگر کـــانی هـــا بـــا برجستگی پایین و بیرفرنژانس سفید تا خاکـــستری تیره خود مشخص است و در برخی موارد مـــاکل مکـرر نشـان مـی دهـد. اپیـــدوت در حـــالت نیکول‌های موازی بی رنـــگ و دارای برجســـتگی بـالا است و در حـالت نیکـول هـای مـــوازی بیرفرنژانس بالا دارد.

بلور های پراکنده کانی های کدر نیزدر سنگ وجود دارند.

برخی بلورهای هورنبلند جهت یافته اند، ولی سنگ جهت یافتگی واضحی را نشان نمی دهد و فابریک آن گرانوبلاستیک است.

نمو نه (۵۸)

آمفیبولیت

بزرگنمایی ۵۰×، منطقه انارک

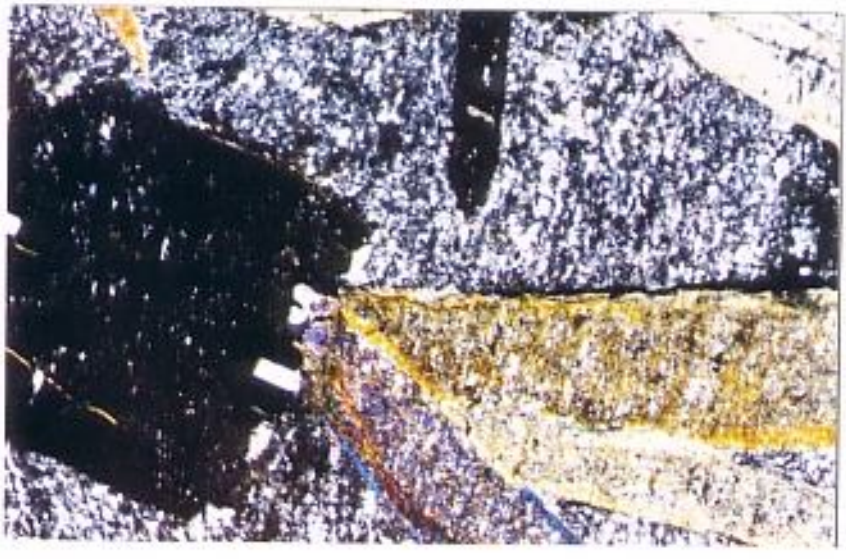
کانی های آمفیبول و پلاژیوکلاز که کانی‌های اصلی رخساره آمفیبولیت هستند، سازنده های اصلی این نمونه اند که باید کانی های کدر را نیز به آنها اضافه کرد.

عدم وجود ماکل پلی سنتتیک در پلاژیوکلازها حاکی از رشد آنها در اثر دگرگونی است. برخی از پلاژیوکلازها آثار تجزیه را نشان می دهند که این پدیده در حالت نیکول های موازی به صورت غبار آلود بودن کانی قابل تشخیص است. آمفیبول با رخ مشخص و برجستگی متوسط و رنگ سبز از نوع هورنبلند است.

فابریک سنگ گرانوبلاستیک و سنگ یک آمفیبولیت واقعی محسوب می شود.

نمونه (۵۹)

گارنت آمفیبولیت



هورنبلند سبز ، با بیرفرنژانس بالا و گارنت که در حالت نیکول های عمود ایزوتروپ هستند، پورفیروبلاست های اصلی سنگ هستند که در زمینه ای ریز دانه، متشکل از پلاژیوکلاز، اسفن، گرافیت و کانی های کدر دیده می شوند.

اسفن به صورت دانه های لوزی شکل کوچک و قهوه ای تیره در حالت نیکول های موازی قابل تشخیص است. تجمع این کانی در قسمت فوقانی تصویر و در سمت راست بلور سرنیزه ای شکل هورنبلند دیده می شود.

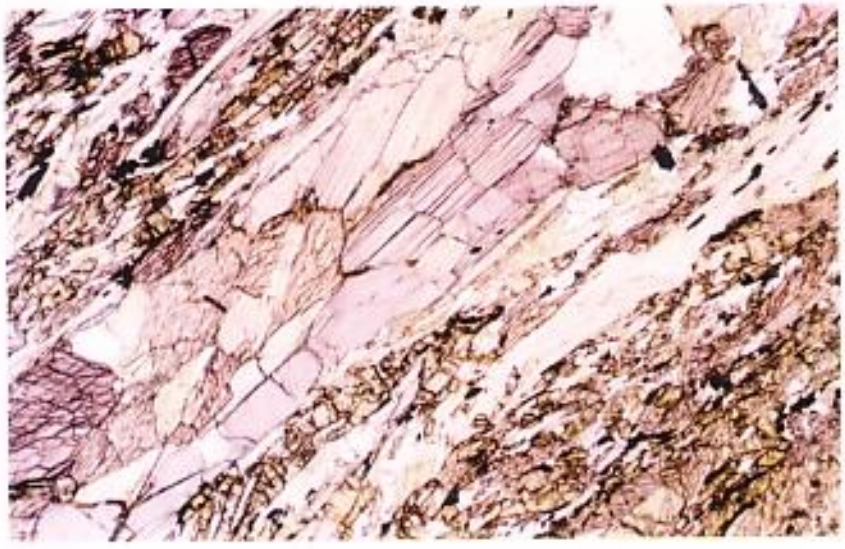
فابریک سنگ پورفیروبلاستیک است. بلورهای هورنبلند و گارنت دارای ادخال های فراوان است و فابریک فرعی پوئی کیلوبلاستیک را نیز به وجود آورده اند. آرایش ادخال ها در بلورهای گارنت به صورت ضربدری است.

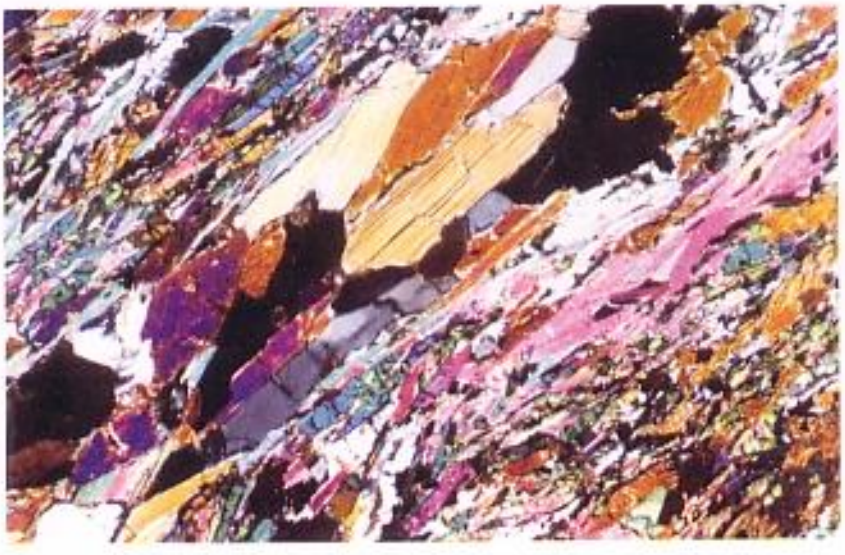
بزرگنمایی ۲۵×، منطقهٔ همدان

سنگ های مافیک در رخساره شیست آبی

نمونه (٦٠)

گلوکوفان شیست





بزرگنمایی ۳۵×، منطقه نیریز (؟)

کانی های اصلی سنگ گلوکوفان، پاراگونیت، کلینوزوئزیت و زوئزیت هستند.

کانی گلوکوفان با برجستگی بالاتر و چند رنگی آبی بنفش خود و رخ های لوزی به راحتی قابل تشخیص است. کلینوزوئزیت و زوئزیت به‌صورت بلورهای کوچک با رنگ سبز کم رنگ تا زرد در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس بالا در متن سنگ پراکنده هستند.

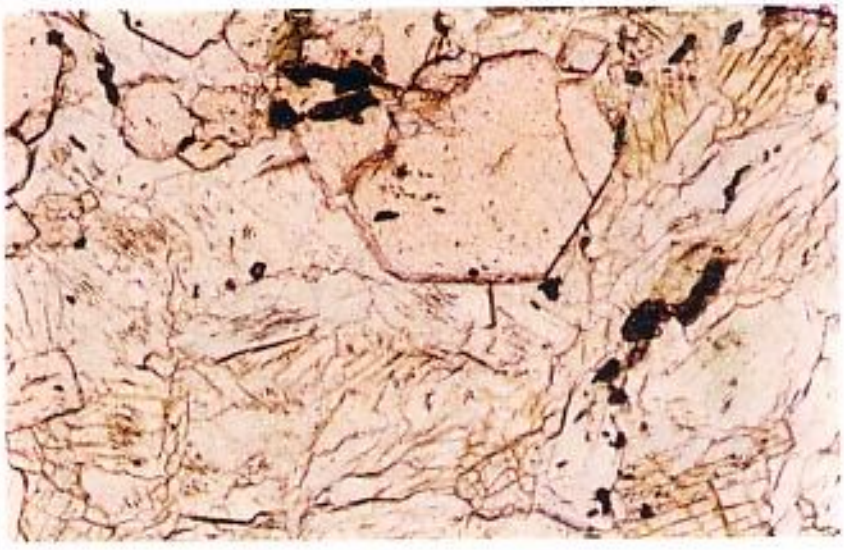
علاوه بر کانی های یاد شده، پاراگونیت نیز به صورت بخش های بی رنگ با برجستگی پایین در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس بنفش، به صورت پراکنده دیده می شود.

جهت یافتگی ترجیحی بلور های گلوکوفان، باعث تشکیل فابریک نماتوبلاستیک شده است.

سنگ های مافیک در رخساره اکلوژیت

نمونه (٦١)

اکلوژیت



گارنت و پیروکسن کانی های اصلی سنگ هستند. بلورهای گارنت ایزوتروپ و از نوع غنی از پیروپ بوده و به صورت نیمه شکل دار و با برجستگی بالا در حالت نیکول های موازی، عمدتا در بخش بالای تصویر متمرکز هستند.

بلورهای پیروکسن با رخ مشخص، برجستگی کمتر از گارنت، از نوع امفاسیت و بخش عمده ای از سنگ را شامل می شوند. کانی‌های کدر و اسفن نیز بین کانی های ذکر شده، دیده می شوند. اسفن ها با رنگ قهوه ای در حالت نیکول های موازی مشخص هستند.

در سنگ جهت یافتگی خاصی مشاهده نشده و فابریک سنگ گرانوبلاستیک است.

بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه بیرجند

سنگ های مافیک در رخساره آلبیت ـ اپیدوت هورنفلس

نمونه (٦٢)

کلریت ـ آلبیت ـ اپیدوت هورنفلس

بلورهای اپیدوت با برجستگی بالا، کلریت با رنگ سبز کمرنگ در حالت نیکول های موازی و آلبیت با بیرفرنژانس پایین، کانی های اصلی این سنگ هستند که با توجه به موقعیت صحرایی نمونه مبین رخساره آلبیت ـ اپیدوت هورنفلس است.

به دلیل وجود ادخال های فراوان اپیدوت درآلبیت، فابریک آلبیت ها پوئی کیلوبلاستیک است. علاوه بر کانی های ذکر شده، بلورهای پراکنده مسکویت نیز در سنگ وجود دارند که در حالت نیکول های موازی بی رنگ بوده و در حالت نیکول های عمود بیرفرنژانس زرد ـ نارنجی تا سبز و قرمزدارند.

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه انارک

سنگ های مافیک در رخساره هورنبلند هورنفلس

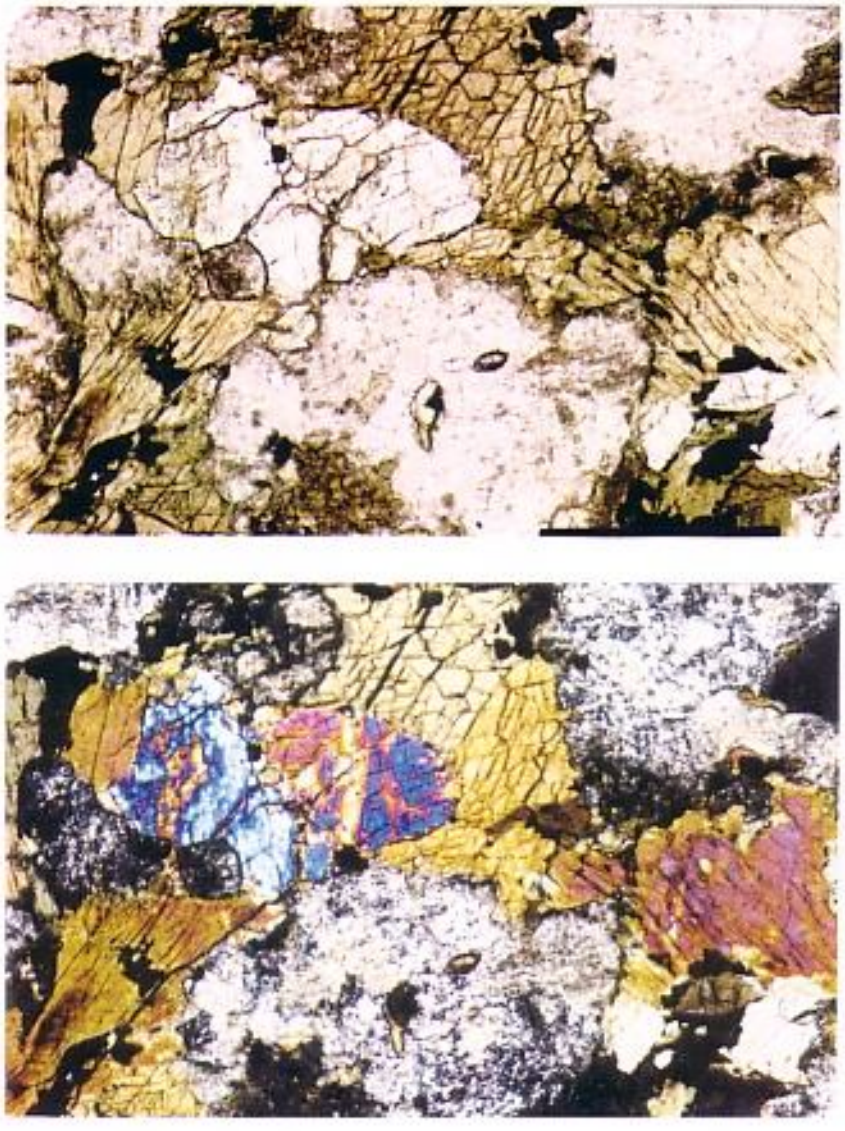
نمونه (٦٣)

هورنبلند هورنفلس

کانی های سنگ، آمفیبول، پلاژیوکلاز و پیروکسن هستند. بلورهای آمفیبول از نوع هورنبلند و با چند رنگی سبز تا قهوه ای کمرنگ و رخ لوزی شکل به راحتی قابل تشخیص هستند.

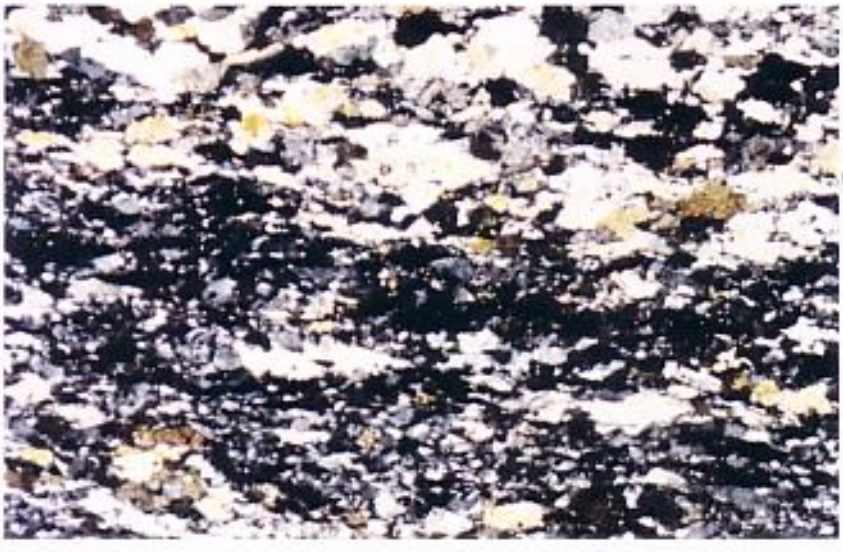
بلورهای پیروکسن نیز با توجه به بی رنگ بودن در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس بالا در حالت نیکول های عمود از بلورهای پلاژیوکلاز که اکثرا تجزیه شده و دارای بیرفرنژانس سفید تا خاکستری تیره هستند، قابل تشخیص هستند. کانی های کدر نیزدر بین بلورهای اصلی سنگ وجود دارند. در اثر دگرگونی، آمفیبول ها به دور پیروکسن ها رشد کرده اند.

جهت یافتگی در سنگ مشاهده نمی شود و کانی های با اندازه متفاوت، فابریک هتروگرانولار را به وجود آورده اند.



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه سیزوار

سنگ های مافیک در رخساره پیروکسن هورنفلس



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه اسفندقه

نمونه (٦٤)

پیروکسن هورنفلس

کانی پیروکسن از نوع دیوپسید با برجستگی بالای خود مشخص و بخصوص در بخش بالایی تصویر متمرکز است.

کانی های اصلی دیگر، پلاژیوکلاز و دانه‌های پراکنده، کوارتز هستند که هر دو بیرفرنژانس خاکستری دارند. بلورهای اسفن نیز در سنگ پراکنده و نمونه ای از آن در حالت نیکول های موازی، با برجستگی بالا در گوشه پایین سمت چپ دیده می شود.

عدم حضور کانی های جهت دار باعث شده است که سنگ دارای فابریک گرانوبلاستیک باشد.

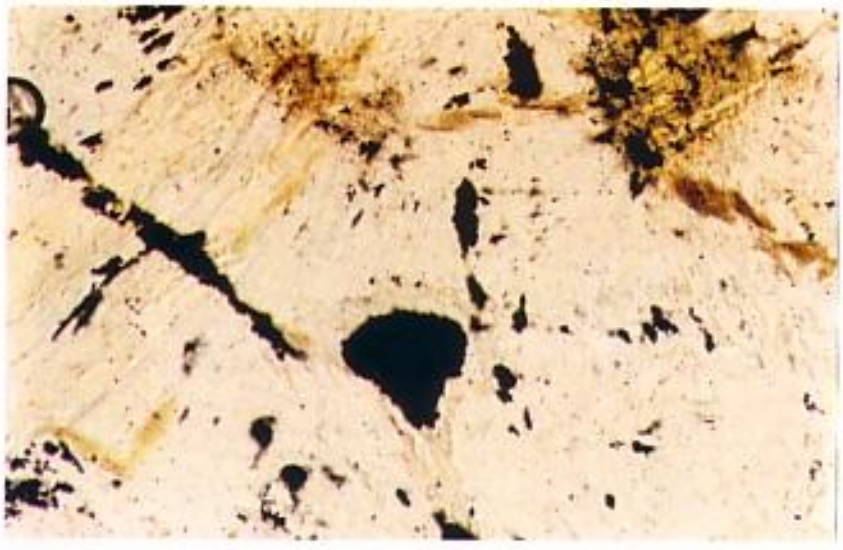
دگرگونی سنگ های اولترا مافیک

دراولین مرحله دگرگونی سنگ های اولترامافیک، الیوین با آب واکنش داده و سرپانتین تولید می کند که سنگ های حاصل را سرپانتینیت می نامند (نمونه ٦٥ و نمونه ٦٦).

پدیده سرپانتینیتی شدن، در دمای پایین روی داده و سرپانتینیت ها ممکن است توده ای یا شیستوز باشند.

به دلیل اینکه این سنگ ها غنی از Mg و Fe می باشند، در اثر دگرگونی آنها نیز سیلیکات های غنی از Mg و Fe تشکیل می شوند.

سنگ های اولترامافیک در رخساره پرهنیت ـ پومپله ایت/شیست سبز



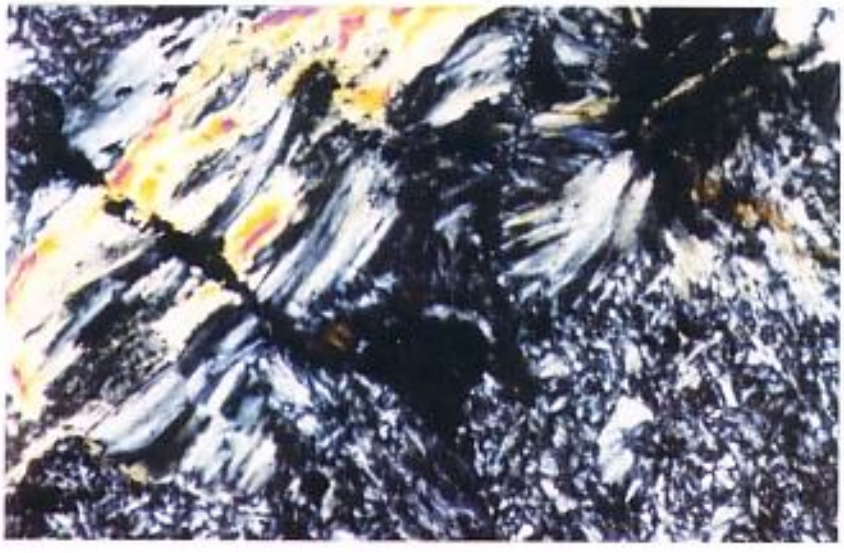
نمونه (٦٥)

تالک-کلریت سرپانتینیت

کانی سرپانتین، بخش عمده این سنگ را تشکیل داده است و تالک نیز که با بیرفرنژانس بالاتر خود (زرد تا بنفش) مشخص است، در کنار آن دیده می شود.

کلریت با بیرفرنژانس قهوه ای تا آبی کانی دیگر سنگ است و نزدیک لکه تیره رنگ مرکز عکس تمرکزی از آن وجود دارد.

کانی های کدر نیز در متن سنگ پراکنده اند که در حالت نیکول های موازی، با رنگ سیاه مشخص هستند. یک حباب هوا نیز در گوشه بالای سمت چپ دیده می شود.

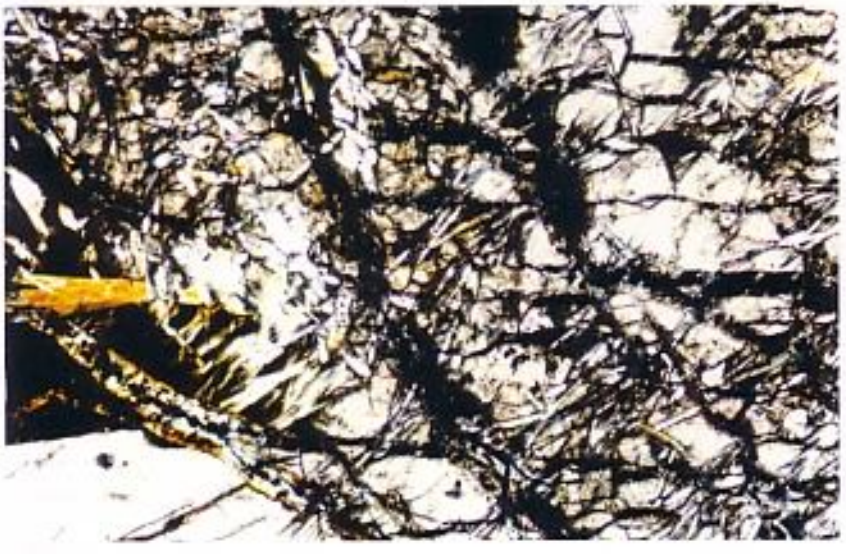


بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه خوی

سنگ های اولترامافیک در رخساره رخساره شیست سبز

نمونه (٦٦)

ترمولیت سرپانتینیت



در این نمونه، بخش اصلی سنگ توسط سرپانتین اشغال شده و بلورهای بی رنگ سوزنی شکل ترمولیت با برجستگی و بیرفرنژانس بالاتر در لابلای آن دیده می شوند.

کلریت غنی از آهن نیز با رنگ زرد، در حالت نیکول های موازی در سمت چپ عکس دیده می شود.

از کانی های دیگر سنگ می توان به کانی‌های کدر اشاره نمود که به صورت رگچه در متن سنگ پراکنده هستند.

بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه سبزوار

بخش چهارم: تفسیر سنگ های دگرگونی

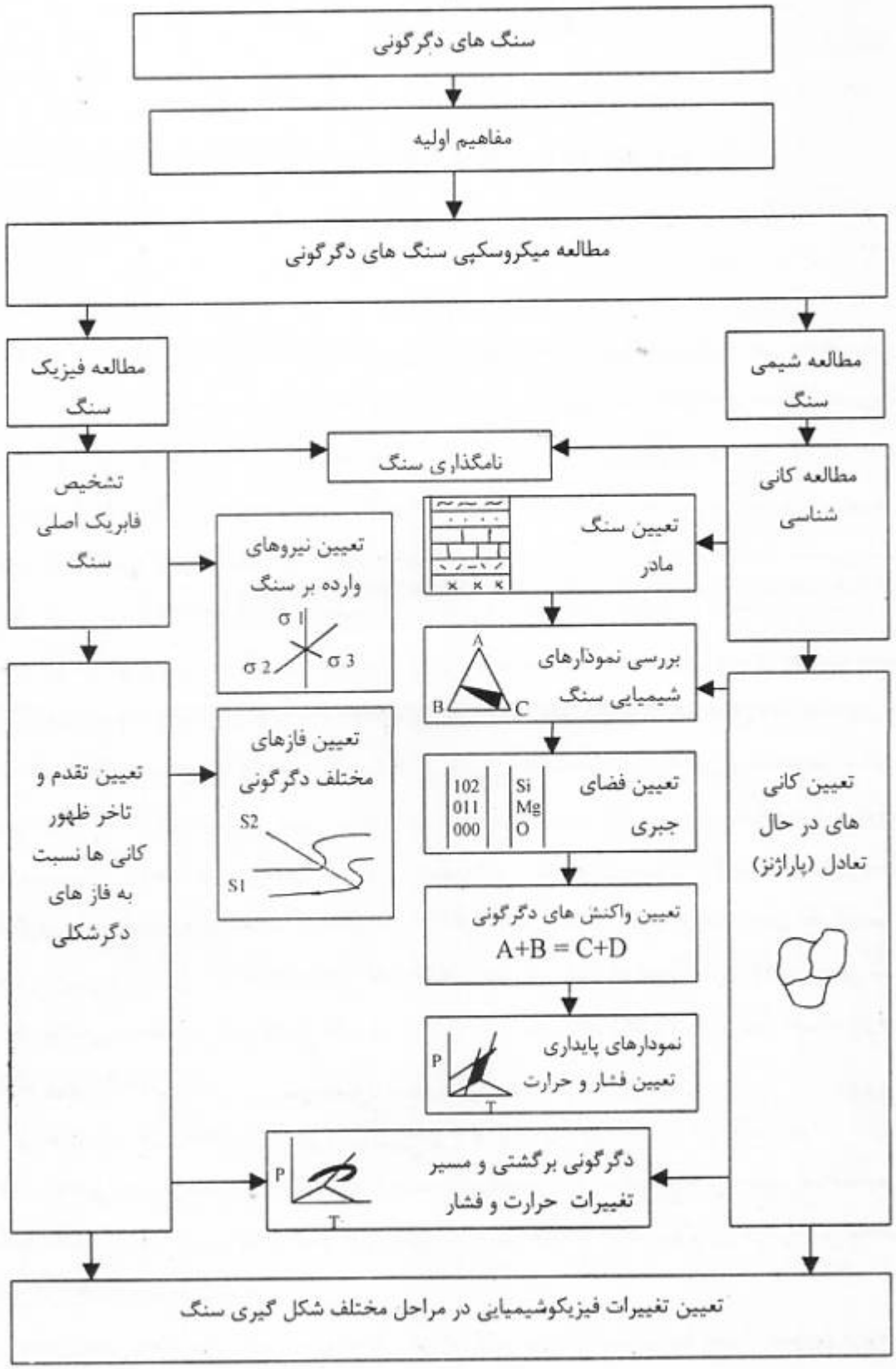
مقدمه

مطالعه سنگ های دگرگونی مستلزم دانستن مفاهیم اولیه است که در بخش اول به طور مختصر مورد اشاره قرار گرفتند. با دانستن این مفاهیم می توان سنگ های دگرگونی را از جنبه های مختلف فیزیکی، شیمیایی و تلفیق آنها مورد مطالعه قرار داد. بررسی خصوصیات فیزیکی سنگ با تشخیص فابریک اصلی سنگ، که گویای چگونگی اثر نیروهای وارده بر سنگ هستند، شروع می شود و به دنبال آن می‌توان تقدم و تاخر ظهور کانی ها نسبت به فازهای تکتونیکی سنگ را مشخص کرد. مطالعه شیمی سنگ توسط کانی شناسی آن آغاز می گردد وسپس کانی های در حال تعادل (پاراژنز) مشخص می شوند.

در این مرحله می توان سنگ های دگرگونی را از جهات مختلف مورد بررسی قرار داد. به منظور آشنایی بیشتر، مفاهیم اصلی و جنبه های مختلف بررسی سنگ های دگرگونی در شکل (ج) نمایش داده شده است. مطابق شکل، نامگذاری سنگ دگرگونی پس از مطالعه کانی شناسی و تشخیص فابریک اصلی سنگ امکان پذیر است و تعیین سنگ مادر، با توجه به مطالعه کانی شناسی سنگ ممکن خواهد بود. همچنین با توجه به پاراژنز کانی ها و نوع سنگ مادر است که می توان ترکیب شیمیایی سنگ دگرگونی را در نمودارهای مختلف شیمیایی بررسی کرد. تعیین فضای جبری، واکنش های دگرگونی و منحنی های پایداری نیز با توجه به پاراژنز کانی ها و ترکیب شیمیایی آن (سنگ مادر) میسر می شود. از نظر فیزیکی نیز تقدم و تاخر ظهور کانی ها نسبت به فازهای تکتونیکی می تواند تعداد فازهای دگرگونی را مشخص کند.

از تلفیق داده های حاصل از تعیین پاراژنز کانی ها و ترتیب ظهور کانی ها می توان تغییرات حرارت و فشار تحمیل شده بر سنگ را از شروع فرایند دگرگونی تا حالتی که در حال حاضر بر آن حکم‌فرماست، دنبال کرد. برایند بررسی ها به صورت تعیین تغییرات فیزیکوشیمیایی در مراحل مختلف شکل‌گیری سنگ بیان می شوند.

دراین بخش به اصول تفسیرهای عملی می پردازیم. برای آشنایی با بحث تئوری مربوطه می‌توان به منابع موجود مراجعه کرد (درویش زاده، ۱۳۷۱؛ یاردلی، ۱۳۷۲؛ معین وزیری،۱۳۷۷).



شکل ج ـ ارتباط جنبه های مختلف مطالعه سنگ های دگرگونی

تقدم و تاخر ظهور کانی ها نسبت به فازهای دگرشکلی

به منظور یافتن مراحل مختلف شکل گیری سنگ و نیز تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی حاکم بر آن در مراحل مختلف دگرگونی، نیاز به تعیین موقعیت فیزیکی (فابریک سنک) است. یکی از اهداف مطالعه سنگ های دگرگونی، بررسی وتعیین زمان تبلور کانی های شاخص دگرگونی نسبت به فاز یا فازهای دگرشکلی است. در این مرحله است که مشخص می شود. که هر کانی شاخص دگرگونی، قبل از کدام فاز و بعد از کدام فاز رشد کرده است وکدام کانی ها باهم پاراژنز هستند.

برای این منظور پس از برداشت های صحرایی لازم، از مقاطع میکروسکپی استفاده می شود، اما قبل از پرداختن به اصول اینگونه تفاسیر، تعریف چند اصطلاح ضروری است که درجدول ه قید شده است.

جدول ه - برخی تعاریف مهم دررابطه با تفسیر سنگ های دگرگونی

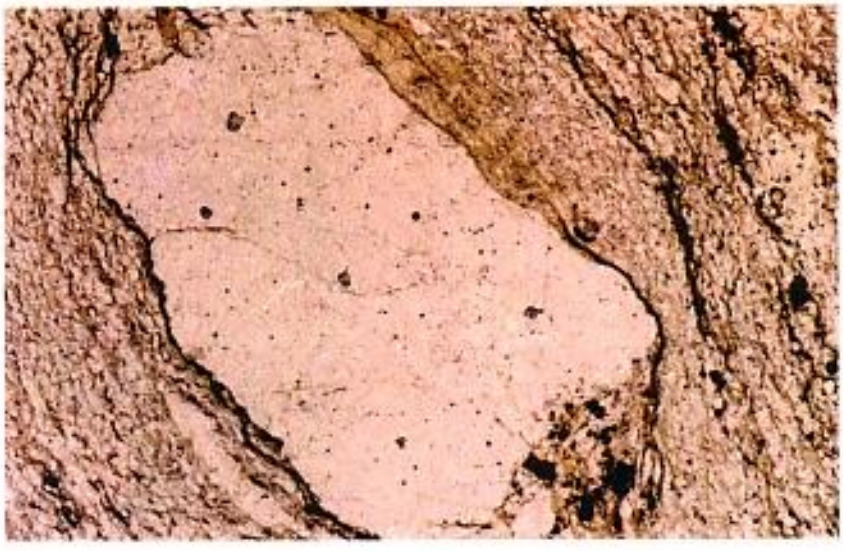
فولیاسیون	هر نوع شکل صفحه ای که به طور گسترده و فراگیر در یک سنگ دیده می شود، فولیاسیون نامیده شده و با علامت S نمایش داده می شود. فولیاسیون می تواند مانند لایه بندی اولیه باشد که دراین صورت با علامت S_0 نمایش داده می شود. برخی از فولیاسیون ها ثانویه هستند و در اثر دگرشکلی سنگ تشکیل می شوند که به ترتیب تشکیل، آنها را S_1 ، S_2 و..... S_n می نامند .در یک سنگ دگرگونی که دارای پورفیروبلاست (کانی های درشت دگرگونی در زمینه ای ریز دانه تر) باشد، ممکن است ادخال هایی به‌صورت منظم و آرایش یافته در درون پورفیروبلاست دیده شوند. در این صورت جهت یافتگی ادخال ها در درون پورفیروبلاست را S_i (internal) و فولیاسیون اطراف پورفیروبلاست را S_e (external) می نامند.
کلیواژ و شیستوزیته	این اسامی، اصطلاحاتی عمومی هستند که برای فولیاسیون های ثانویه به کار می روند. کلیواژ .برای سنگ های ریز دانه و شیستوزیته برای سنگ های درشت دانه کاربرد دارند
لیناسیون	هرنوع فابریک خطی، لیناسیون یا خط وارگی نامیده می شود که مانند فولیاسیون به انواع اولیه وثانویه تقسیم می شود.

در تفسیر سنگ های دگرگونی، فولیاسیون یا فولیاسیون های ثانویه سنگ (S_1 ، S_2 ،... و S_n) و نیز S_i و S_e مهم هستند و با استفاده از آنها می توان مشخص کرد که یک کانی در چه زمانی از دگرشکلی رشد کرده است. برای اینگونه تفسیرها،لازم است نمونه های توجیه شده در صحرا که در آن جهت شمال و خط تراز مشخص شده اند، برداشت شود.

کانی های دگرگونی ممکن است قبل از یک فاز دگرشکلی، همزمان یا بعد از یک فاز دگرشکلی تشکیل شوند که به ترتیب آنها را پره تکتونیک (پره کینماتیک)، سین تکتونیک (سین کینماتیک) و پست تکتونیک (پست کینماتیک) می نامند. مثال هایی از هر مورد به دنبال این مقدمه آورده شده است.

کانی های پره تکتونیک

خاموشی موجی در بلورها(نمونه٦٧)، بلورهای شکسته یا بودین شده (نمونه٦٨)، سایه فشاری (نمونه٦٩) مشخصه کانی های پره تکتونیک است. اگر در درون پورفیرویلاست، ادخال وجود داشته باشد، این ادخال ها آرایش خاصی را نشان نمی دهند.



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه تکاب

نمونه (٦٧)

کوارتز پره تکتونیک

گرانیت میلونیت

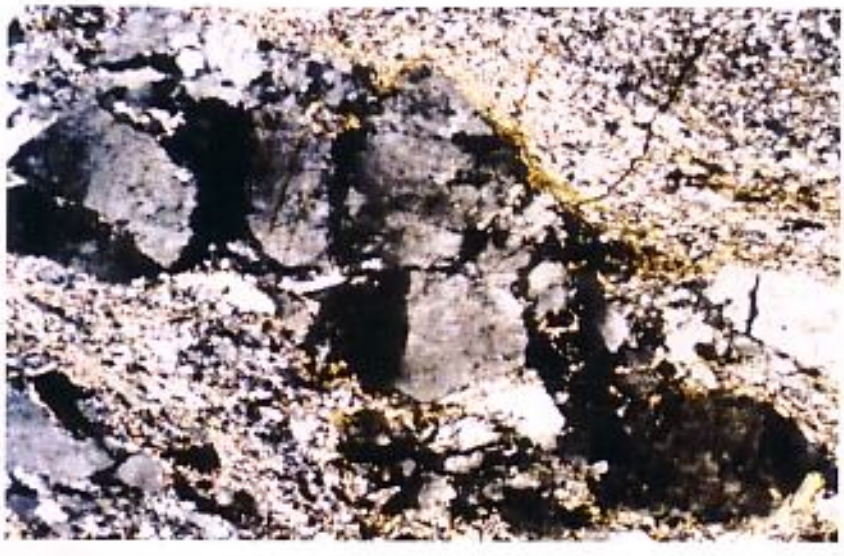
در این سنگ کانی کوارتز به صورت پورفیرکلاست درشت دیده می شود (بلورهای درشتی که در اثر استرس خرد شده اند، پورفیروکلاست نامیده می شوند). اطراف کوارتز را مسکویت با بیرفرنژانس زرد، نارنجی ـ آبی، بلورهای کوارتز خرد شده و فلدسپات خرد شده احاطه کرده اند.

وجود خاموشی موجی در کوارتز بیانگر وجود آن قبل از تاثیر استرس است و بنابر این بلور کوارتز، پره تکتونیک خواهد بود.

نمونه (٦٨)

فلدسپات پره تکتونیک

گرانیت میلونیت



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه خوی

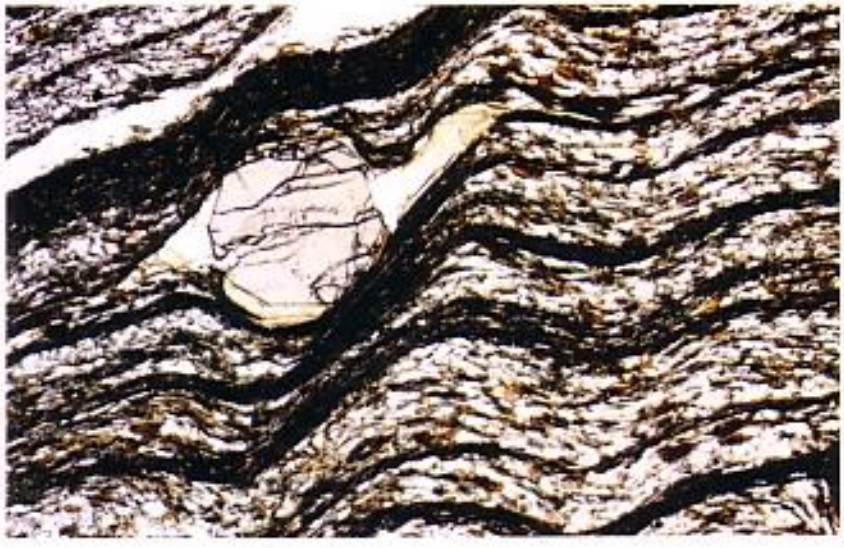
در این نمونه، بلورهای فلدسپات خرد شده (پورفیروکلاست) در زمینه ای از کوارتز، فلدسپات و مسکویت قرار دارند.

در اثر استرس وارد شده، فلدسپات پتاسیم خرد شده و در جهت عمود بر محور اصلی استرس کشیده شده است. جهت یافتگی خرده‌های فلدسپات از جهت یافتگی مسکویت‌ها تبعیت می کند. خرد شدگی فلدسپات حاکی از پره تکتونیک بودن آن است.

نمونه (٦٩)

گارنت پره تکتونیک

گارنت شیست



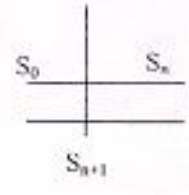
بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

در این نمونه، در اطراف بلورهای گارنت سایه فشاری دیده می شود. سنگ دارای فولیاسیون است.

لایه بندی، با تناوب لایه های غنی از میکا و فقیر از میکا مشخص می شوند. شیستوزیته اصلی یا S_n در اثر آرایش کانی ها به موازات لایه بندی حاصل شده و شیستوزیته بعدی یا S_{n+1} در اثر چین خوردگی S_n حاصل شده و جهتی شمالی-جنوبی دارد.

فولیاسیون سنگ از نوع Spaced F. بوده (پاسشییر وترو، ۱۹۹٦) بلور گارنت نسبت به S_{n+1}، پره تکتونیک است.

سایه فشاری توسط کلریت و کوارتز اشغال شده است. این دو کانی، کانی های متعارف پر کننده سایه فشاری بخصوص در متاپلیت ها هستند.



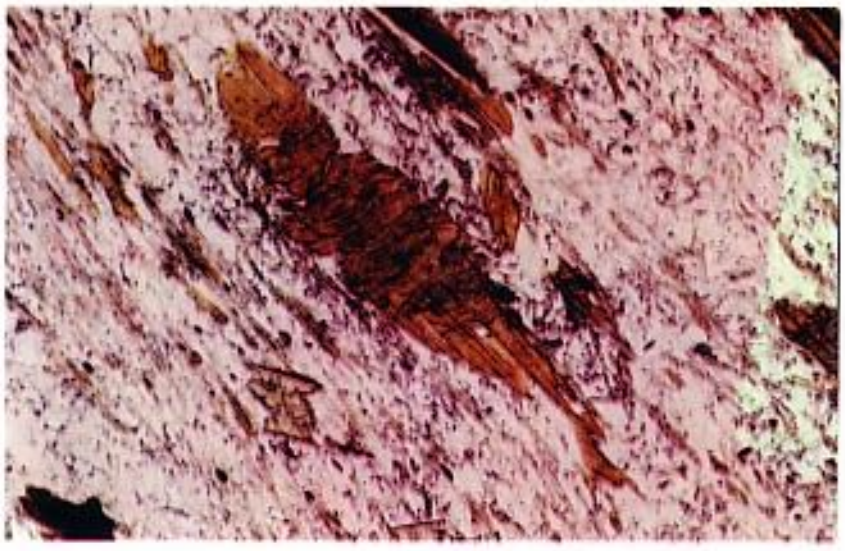
کانی های سین تکتونیک

در سنگ ها مشکل می توان کانی های پره و سین تکتونیک را تشخیص داد (نمونه های ٦٧ ، ٦٨ و ٦٩). به این دلیل که کانی هایی که در طی دگرشکلی رشد می کنند، ممکن است متحمل استرس شده و برخی از شواهد کانی های پره تکتونیک را نشان دهند. در کانی های سین تکتونیک، معمولا وجود ادخال‌ها در درون بلور (S_i) و رابطه آن با S_e بسیار مهم است. در این گونه کانی ها معمولا S_i خمیده دیده می شود (نمونه های ۷۰ و ۷۱).

نمونه (۷۰)

بیوتیت سین تکتونیک

بیوتیت شیست



بلورهای درشت بیوتیت در این نمونه سنگ، سین تکتونیک هستند، زیرا چنان که مشاهده می‌شود دارای ادخالهای خمیده به شکل S هستند.

فولیاسیون غالب سنگ، شمال غربی ـ جنوب شرقی است، اما فولیاسیون چین خورده در درون بیوتیت جهتی عمود بر آن دارد. این حالت نشان می دهد که سنگ دارای یک فولیاسیون قبلی در جهت شمال شرق ـ جنوب غربی بوده و در اثر دگرشکلی جدید، فولیاسیون مذکور محو شده و فولیاسیون فراگیر دیگری با جهت عمود بر آن، ظاهر شده است. در این حالت، فقط ادخالهای درون بیوتیت (S_i) می توانند ما را به وجود یک فولیاسیون قبلی راهنمایی کنند. بیوتیت در اولین مراحل تشکیل S_n، تشکیل و نسبت به S_{n+1} ، پست تکتونیک و نسبت به S_n سین تکتونیک است.

بزرگنمایی ۱۰۰×. منطقه ده سلم

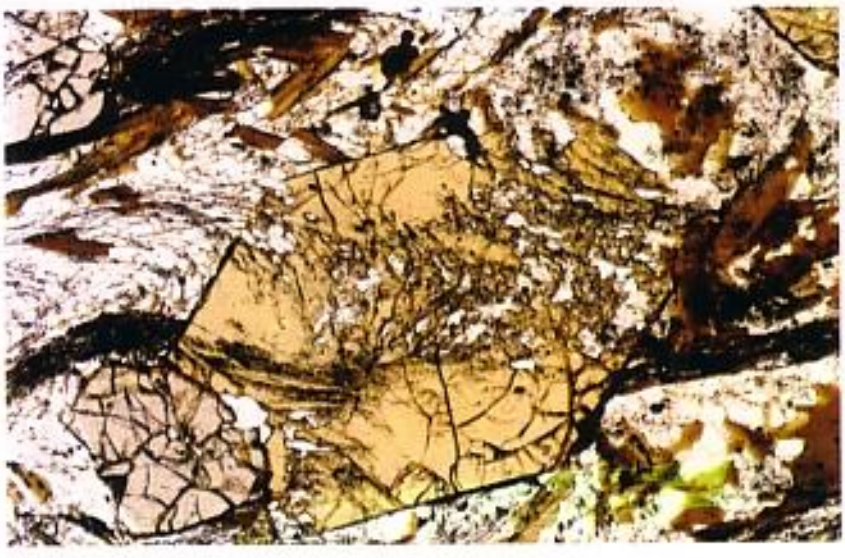
نمونه (۷۱)

استرولیت سین تکتونیک

گارنت ـ استرولیت شیست

جهت یافتگی اصلی سنگ در درون استرولیت (به صورت ادخال های گرافیت) چین‌خورده، ادامه آن در سمت راست عکس قطع شده است

وجود S_i خمیده در درون استرولیت حاکی از تبلور سین تکتونیک آن است و چون در سمت راست استرولیت، فولیاسیون توسط این کانی قطع شده و S_e به داخل کانی ادامه نیافته، بنابراین کانی پست تکتونیک نخواهد بود.



بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

کانی های پست تکتونیک

این گروه به سادگی تشخیص داده می شوند، چراکه سایه فشاری نداشته و S_e را متاثر نکرده اند، ضمنا فاقد خاموشی موجی یا دیگر شواهد مربوط به کانی‌های پره و سین تکتونیک هستند (نمونه۷۲). اگر S_i وجود داشته باشد، با S_e ممتد و پیوسته خواهد بود (نمونه۷۳). این بلورها فاقد جهت یافتگی خاصی هستند.

نمونه (۷۲)

کلریت پست تکتونیک

مسکویت-بیوتیت شیست

یکی از شواهد رشد پست تکتونیک، در کانی‌هایی که فاقد S_i هستند، عدم انحراف یا کج‌شدگی فولیاسیون اصلی سنگ در مجاورت آنها است.

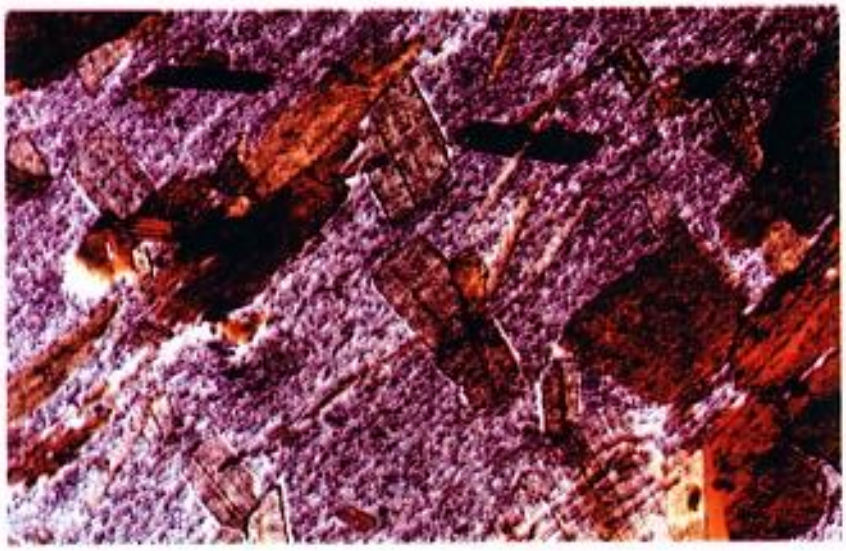
در این نمونه، پورفیروبلاست کلریت، که در حالت نیکولهای عمود در خاموشی کامل قرار دارد، به‌صورت پست تکتونیک رشد کرده، هیچ تاثیری بر فولیاسیون اطراف خود نگذاشته و ظاهرا به‌صورت یک" وصله " بر روی آن چسبیده است.

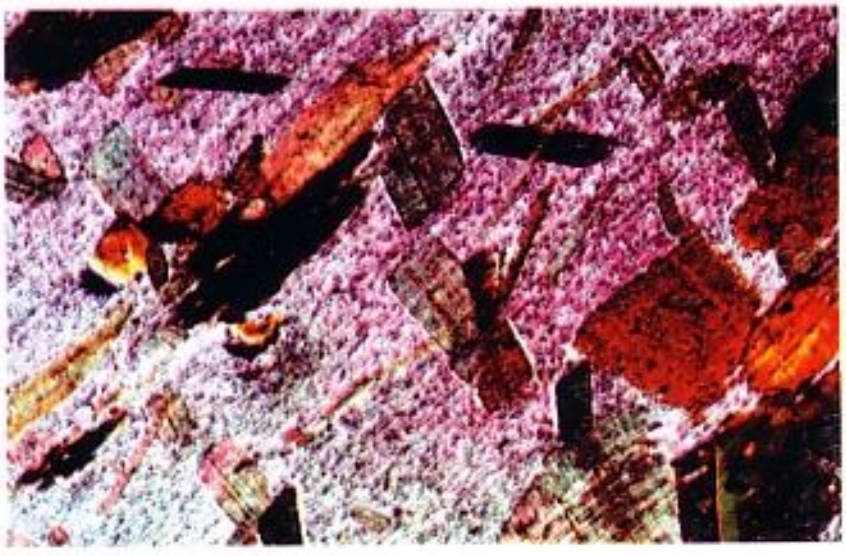
بزرگنمایی ۵۰×، منطقه همدان

نمونه (۷۳)

بیوتیت پست تکتونیک

بیوتیت شیست





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

در کانی هایی که دارای S_i هستند، رشد پست‌تکتونیک را می توان از ممتد بودن S_i و S_e در بلور نتیجه گرفت.

در این نمونه بیوتیت شیست، یکی از شواهدی که بر رشد پست تکتونیک بلور اشاره می کند، پیوستگی S_i و S_e است که در اکثر بلورها دیده می شود، البته شواهد دیگری مانند قرار گیری بلورهای بیوتیت در جهات مختلف وتبعیت نکردن آنها از فولیاسیون سنگ، عدم انحراف فولیاسیون در نزدیکی بلورهای بیوتیت نیز گویای رشد پست تکتونیک این کانی ها هستند.

رشد پیچیده

در کانی ها ممکن است فازهای دگرشکلی پیچیده بوده و یا کانی در زمان‌های مختلف نسبت به دگرشکلی رشد کرده باشد. در این گونه موارد تفسیر مشکل و مستلزم بررسی دقیق فابریک سنگ همراه با درنظر گرفتن تاریخچه زمین شناسی منطقه است (نمونه ۷٤).

نمونه (۷٤)

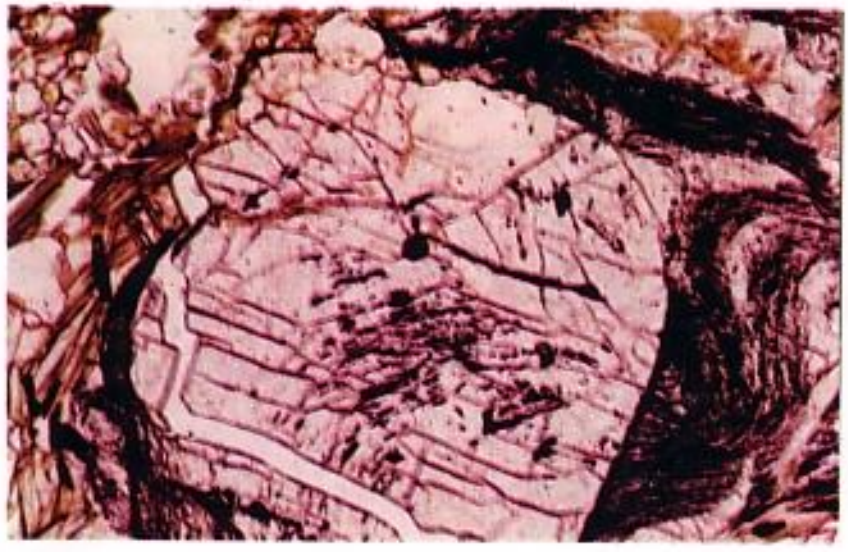
رشد پیچیده پورفیروبلاست

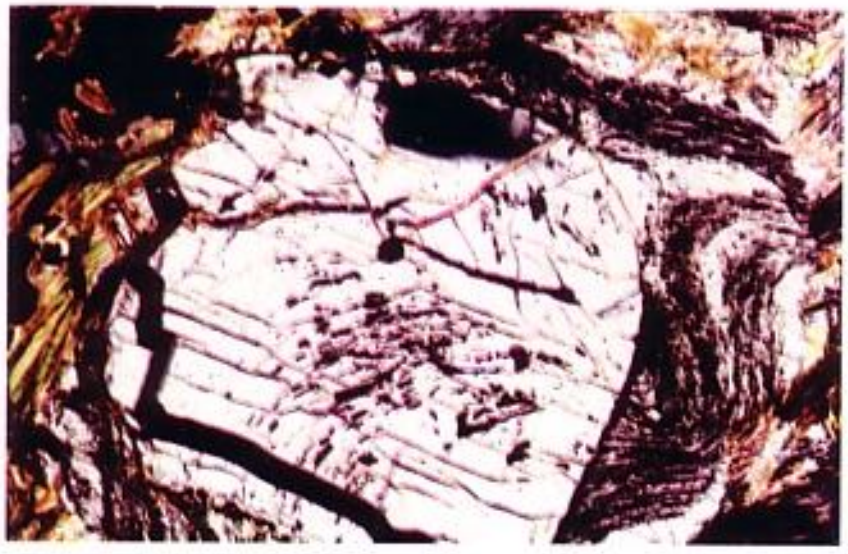
آندالوزیت شیست

گاه رشد پورفیروبلاست در جریان یک دگرشکلی به سادگی روی نداده و مراحل مختلف رشد را می توان تشخیص داد.

در این نمونه این مسئله به خوبی دیده می شود. بلور درشت آندالوزیت دارای دو بخش کاملا مجزا است: بخش داخلی دارای ادخال های کم و خمیده و بخش خارجی دارای ادخال های چین خورده ای از گرافیت است.

این در حالی است که رابطه فولیاسیون بخش خارجی (S_i) با فولیاسیون سنگ (S_e) به دلیل رشد بعدی بلورهای بیوتیت، مبهم شده است. وجود مرز تند و واضح بین دو بخش آندالوزیت و ممتد نبودن S_i با S_e ، حاکی از مراحل مختلف تبلور در این نمونه نسبت به مراحل مختلف دگرشکلی است.





بزرگنمایی ۲۵×، منطقه ده سلم

نمودارهای شیمیایی و واکنش های دگرگونی

کانی های در حال تعادل در یک سنگ را می توان در نمودارهای تعریف شده بدین منظور نمایش داد. با بررسی نمودارهای حاصله در سنگ های مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر مناطق دگرگونی مختلف از یکدیگر متمایز می شود. بر اساس کانی های در حال تعادل، می توان واکنش های شیمیایی را که در اثر تحمیل شرایط جدید در طی فرایند دگرگونی رخ داده اند را نیز معین کرد. در نمونه ۷۵ موارد یاد شده بررسی شده اند.

نمونه (۷۵)

کردیریت هورنفلس

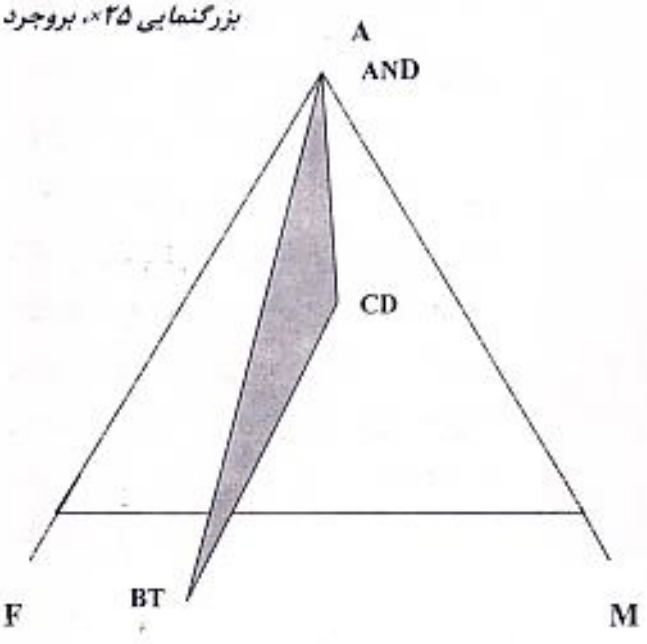
بزرگنمایی ۴۵×، بروجرد

کانی های اصلی نمونه کردیریت، آندالوزیت، مسکویت، بیوتیت و کوارتز هستند. بلورهای بی شکل و نیمه گرد کردیریت با بیرفرنژانس سفید، خاکستری تا خاکستری تیره دیده می شوند(گوشه بالا سمت راست). آندالوزیت های شکل دار دارای ادخال های فراوانی از بیوتیت، مسکویت و کوارتز هستند(پوئی کیلوبلاستیک). بلورهای کوارتز به‌دلیل نداشتن آثار تجزیه در حاشیه، از کردیریت متمایز می‌شوند.

با توجه به کانی ها، سنگ اولیه یک پلیت بوده و دگرگونی آن بحدی است که بلورهای کلریت پایداری خود را از دست داده و طی واکنش زیر به همراه بیوتیت و کوارتز کانی های دگرگونی آندالوزیت و کردیریت را به وجود آورده است.

آب + بیوتیت + آندالوزیت + کردیریت = کوارتز + کلریت + مسکویت

در مورد این نمونه می توان پاراژنز کانی های موجود را بر روی دیاگرام AFM با شکل مقابل نمایش داد. موقعیت نقاط آندالوزیت (And) کردیریت (Cd) و بیوتیت (Bt) در این دیاگرام بر اساس ترکیب شیمیایی آنها تعیین شده است



نمودارهای پایداری و تعیین محدوده حرارت و فشار

با توجه به کانی های در حال تعادل و با مراجعه به نمودار پایداری کانی ها (شبکه پروژنتیک) می توان حرارت و فشار حاکم بر سنگ را تخمین زد. در نمونه ۷۶ با توجه به پایداری کانی های رسی، حرارت و فشار تقریبی حاکم بر سنگ در زمان دگرگونی تخمین زده شده است.

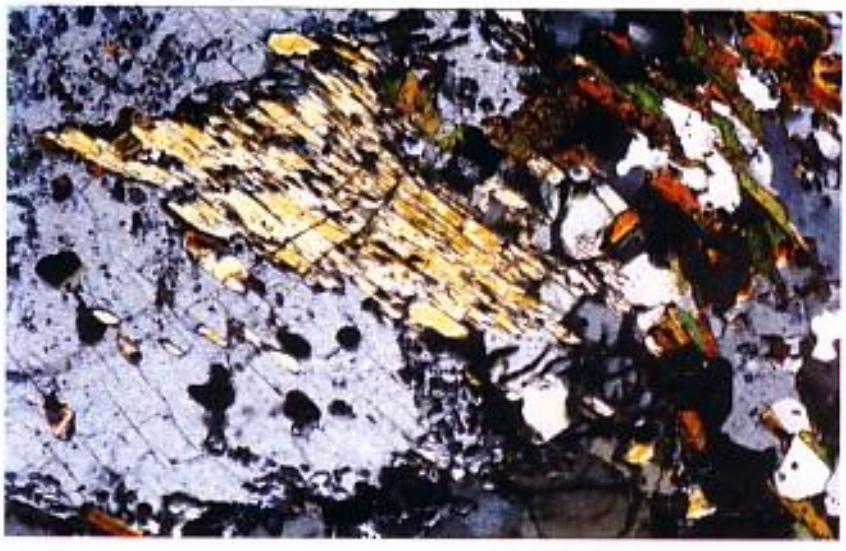
نمونه (۷۶)

آندالوزیت ـ سیلیمانیت ـ کردیریت هورنفلس

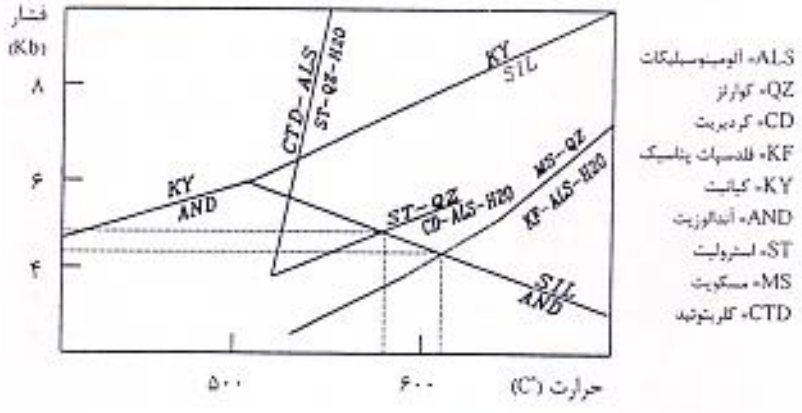
در این نمونه در اثر بالا رفتن حرارت، آندالوزیت (پیرفرنژانس خاکستری) به سیلیمانیت (پیرفرنژانس زرد کاهی) تبدیل شده است. بیوتیت، کوارتز، کردیریت و کانی های کدر، دیگر اجزاء تشکیل دهنده سنگ هستند.

با توجه به منحنی پایداری کانی ها (شکل پایین)، می توان فشار و حرارت حاکم بر سنگ را تخمین زد.

با توجه به حضور همزمان آندالوزیت و سیلیمانیت، حرارت و فشارتقریبی تشکیل سنگ نقطه ای دراطراف خط واکنشی تبدیل این دو کانی است. از طرفی نقاط موجود بر روی این خط توسط واکنش های دیگر محدود تر می‌شود. برای مثال در سنگ، هنوز فلدسپات پتاسیم دار ظاهر نشده، که حاکی از قرار داشتن سنگ در حرارت و فشاری پایین تر از خط تبدیل کوارتز و مسکویت به فلدسپات است. همچنین بعلت وجود کردیریت درسنگ که در فشار بالا به استرولیت تبدیل می شود محدوده حرارت و فشارپایین تر از خط تبدیل کردیریت به استرولیت است. در نتیجه حرارت دگرگونی بین ۵۷۰ تا ۶۰۵ درجه سانتیگراد و فشار بین ۲/۱ تا ۲/٤ کیلو بار است.



بزرگنمایی ۵۰×، منطقه بروجرد



موقعیت واکنشها از باردلی ۱۳۷۲، اقتباس شده است

دگرگونی برگشتی

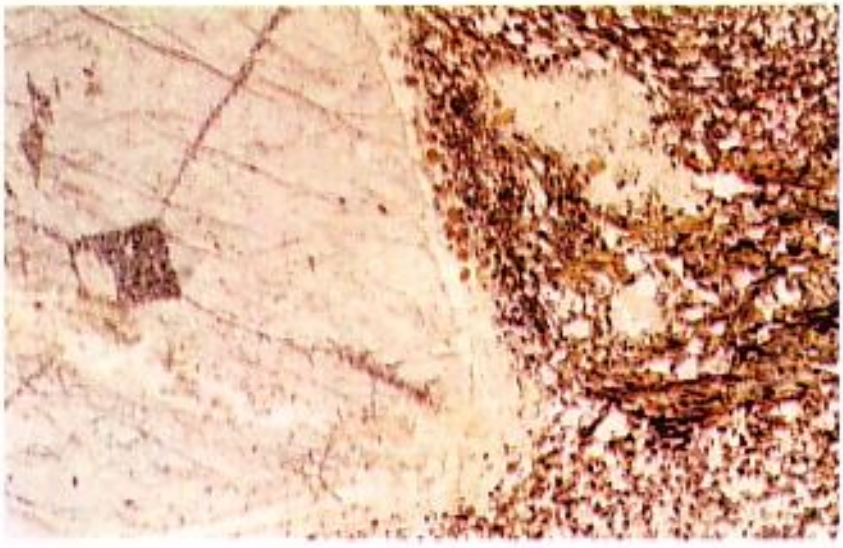
گاهی در اثر عواملی مانند قرار گرفتن سنگ های دگرگونی در عمق کمتر، حرارت و فشار حاکم برسنگ کاهش می‌یابد و کانی های آن در شرایط جدید ناپایدار می شوند. این فرایند، دگرگونی برگشتی نامیده می‌شود. مهم ترین شواهد دگرگونی برگشتی در سنگ های پلیتی، سرسیتی شدن آندالوزیت (نمونه ۷۷)، کلریتی شدن گارنت (نمونه ۷۸) و پنیتی شدن کردیریت یا استرولیت (نمونه ۷۹) است.

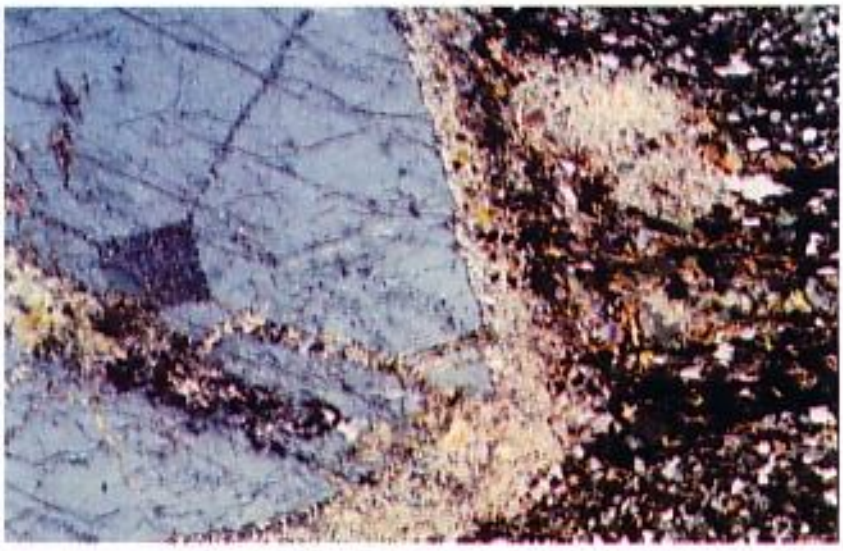
نمونه(۷۷)

دگرگونی برگشتی در آندالوزیت شیست

بلورهای درشت آندالوز یت (کیاستولیت) در زمینه ای از بیوتیت، مسکویت و کوارتز قرار دارد. حواشی بلور آندالوزیت سرسیتی شده و قسمت هایی از بخش های داخلی آن نیز سرسیتی شده اند. سریسیتی شدن از حاشیه بلور آغاز شده و تا زمانی که شرایط دگرگونی برگشتی (از جمله حضور سیال) ادامه داشته باشد، ادامه یافته و گاه تمام بلور را در بر می گیرد. باید توجه داشت که سریسیتی شدن آندالوزیت یک پدیده دگرگونی برگشتی است و نباید با تبدیل آندالوزیت به بلورهای مسکویت و سیلیمانیت که گاه در دگرگونی پیشرونده رخ می دهند، اشتباه شود.

بلورهای بیوتیت نیز در طی دگرگونی برگشتی در حال تبدیل به کلریت می باشد.

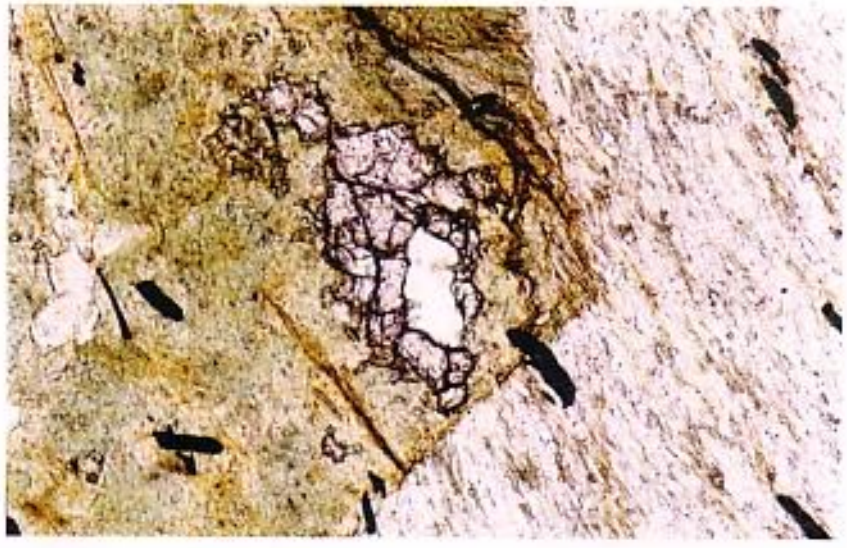


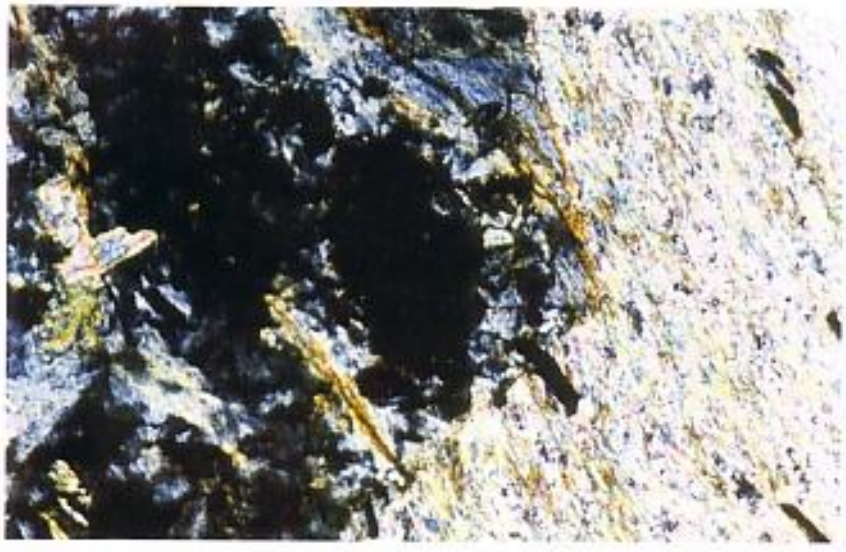


بزرگنمایی ۲۵×، منطقه بروجرد

نمونه(۷۸)

دگرگونی برگشتی در گارنت شیست





بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه سیرجان

بلور درشت گارنت که بخش عمده ای از تصویر را اشغال کرده، توسط کلریت که در حالت نیکولهای موازی با برجستگی کم و رنگ سبز خود مشخص است، جایگزین شده است.

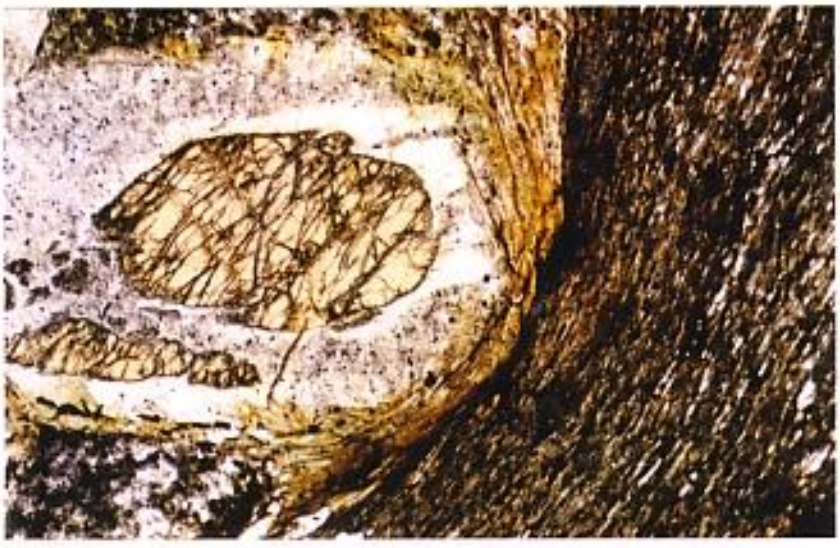
بخش هایی از بلور گارنت هنوز باقی مانده و کاملا محو نشده اند. قسمت سفید رنگ دارای برجستگی کم در قسمت گارنت مربوط به شرایط تهیه مقطع بوده و در اثر کنده شدن گارنت ها حاصل شده است.

در این مقطع پزودومورفیسم (جایگزینی یک کانی به جای کانی دیگر)، با حفظ شکل اولیه کانی مشخص است، به نحوی که کلریت بدون تغییر فرم بلوری گارنت و بر هم زدن آن، جایگزین گارنت شده است.

پزودومورفیسم می تواند مانند این نمونه بخشی بوده، یا به طور کامل یک کانی را در برگیرد. کانی های ایلمنیت (بلورهای سیاه در حالت نیکول های موازی)، مسکویت، بیوتیت و کوارتز دیگر کانی های تشکیل دهنده سنگ هستند.

نمونه (۷۹)

دگرگونی برگشتی در استرولیت شیست



پدیده پنیتی شدن، یکی از شواهد دگرگونی برگشتی و نوعی پزودومورفیسم است که معمولا در کردیریت و استرولیت رخ می دهد. در طی این پدیده، بلور کردیریت یا استرولیت به طور کامل یا بخشی، توسط انبوهی از بلورهای بسیار ریز کلریت و سرسیت جایگزین می شوند.

در این نمونه، بلور استرولیت با رنگ زرد و برجستگی بالا در حالت نیکول های موازی پنیتی شده و بخش هایی از آن هنوز محفوظ مانده اند. بلورهای کلریت درشت در سمت راست بلور استرولیت قابل تشخیص هستند.

مسکویت، بیوتیت، کوارتز و گرافیت دیگر کانی های تشکیل دهنده سنگ هستند.

بزرگنمایی ۲۵×، منطقه همدان

تغییرات حرات و فشار

معمولا فرایند دگرگونی، بخصوص در دگرگونی ناحیه ای، به یک مرحله محدود نبوده و تغییرات حرارت و فشار در چند مرحله دیده می‌شود. تشخیص این مراحل و تفکیک آنها، مستلزم بررسی دقیق پاراژنز ها و ارتباط آنها با یکدیگر یا با فازهای کوهزایی است. در ادامه، نمونه هایی از تغییرات حرارت و فشار به عنوان مثال آورده می شوند.

نمونه ۸۰

تغییر رخساره اکلوژیت به رخساره آمفیبولیت

در این نمونه اکلوژیت، کانی های گارنت که در حالت نیکول های عمود ایزوتروپ هستند به همراه امفاسیت که در حالت نیکول های موازی بی رنگ است و در حالت نیکول های عمود زرد- نارنجی، بنفش و آبی می باشند، در کنار بلورهای آمفیبول که با رخ لوزی و چند رنگی سبز خود مشخص هستند، دیده می شوند. مقادیری اسفن و اپیدوت نیز به صورت پراکنده در سنگ وجود دارد. در حقیقت این نمونه یک اکلوژیت است که با کانی های گارنت از نوع پیروپ و امفاسیت شناخته می‌شود.

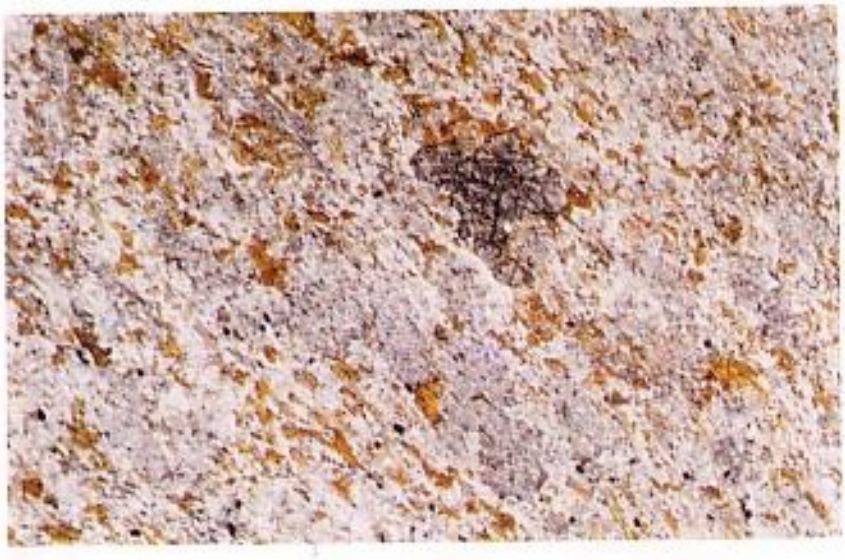
این سنگ در رخساره اکلوژیت دگرگون شده و سپس در شرایط رخساره آمفیبولیت قرار گرفته و کانی آمفیبول در آن رشد کرده است. وجود ادخال هایی از امفاسیت در داخل آمفیبول (مرکز عکس) می تواند دلیلی بر تاخیر تبلور آمفیبول نسبت به پیروکسن باشد.

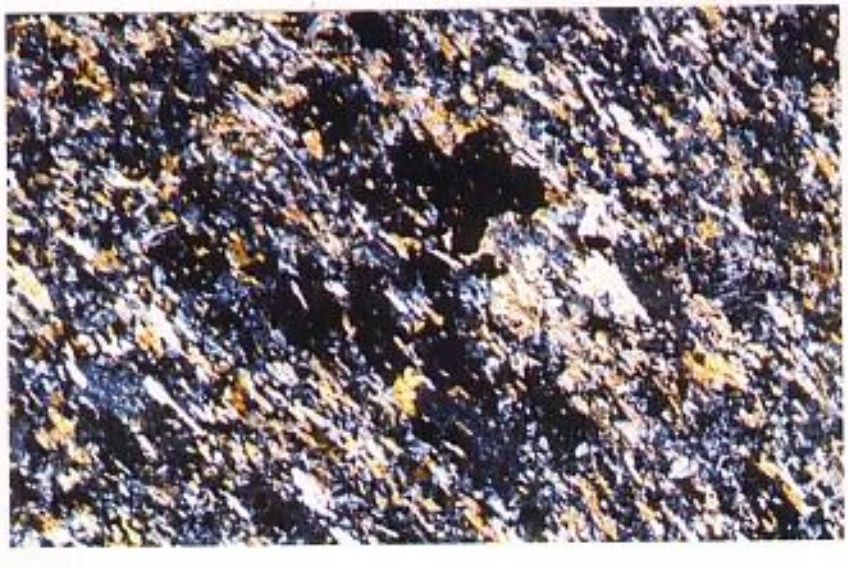
بزرگنمایی ۵۰×، منطقه بیرجند

نمونه (۸۱)

تغییراز دگرگونی مجاورتی به ناحیه ای

گارنت ـ کردیریت هورنفلس





بزرگنمایی ۵۰×، ناحیه ده سلم

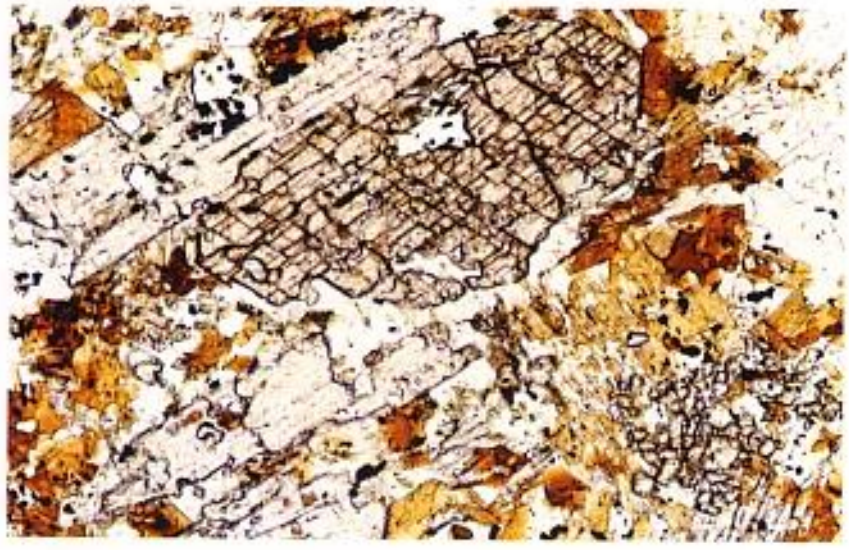
دراین نمونه ، کانی های گارنت و بیوتیت در رخساره دگرگونی ناحیه ای رشد کرده اند و اثراتی از جهت یافتگی در بیوتیت ها، گویای عملکرد یک دگرگونی ناحیه ای قبلی است.

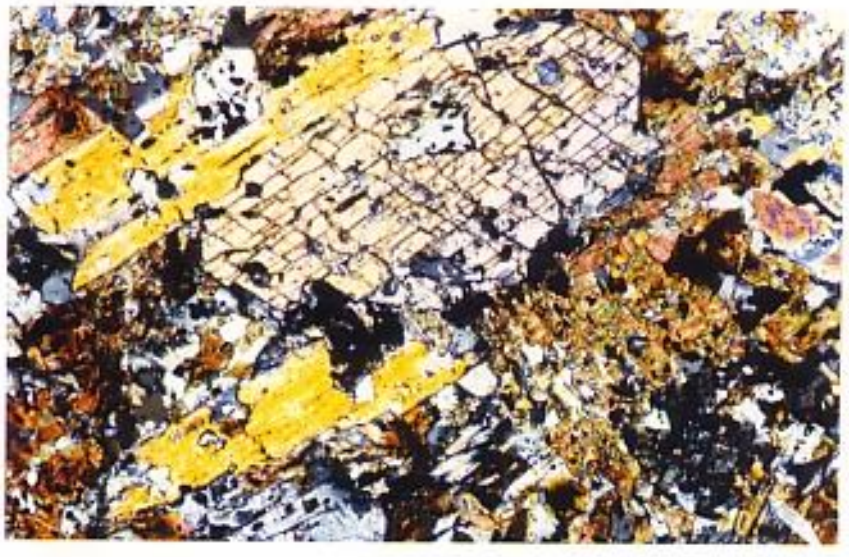
در مرحله بعد سنگ در مجاورت توده نفوذی قرار گرفته، در این حالت گارنت ناپایدار شده و بلورهای کردیریت فراوان که متن اصلی سنگ را تشکیل می دهند، رشد کرده اند، بلور گارنت با حواشی و برجستگی بالا در نور عادی دیده می‌شود و بلور های کردیریت با ادخوال های فراوان خود و بیرفرنژانس پایین قابل تشخیص هستند.

نمونه(۸۲)

تغییر دگرگونی حرارت بالا به فشار بالا

سیلیمانیت-کیانیت هورنفلس





در این نمونه هورنفلس پدیده پلی مورفیسم دیده می شود، به نحوی که بلورهای سیلیمانیت دارای حواشی خورده شده بوده و به بلور کیانیت اتومورف تبدیل شده اند.

کیانیت با توجه به وجود دو سری رخ و برجستگی بالا در حالت نیکول های موازی و بیرفرنژانس پایین مشخص است. سیلیمانیت ها دارای بیرفرنژانس خاکستری تا زرد بوده و نسبت به کیانیت برجستگی کمتری دارند.

در محل رشد کیانیت، سیلیمانیت بالای آن خورده شده و امتداد سیلیمانیت پایینی قطع شده است. این مسئله حاکی از تشکیل کیانیت به خرج سیلیمانیت می باشد و این پدیده یعنی تشکیل کیانیت به جای سیلیمانیت، حاکی از بالا رفتن فشار در منطقه است. بیوتیت، کوارتز، مسکویت و کانی های تیره، دیگر کانی های تشکیل دهنده سنگ هستند.

بزرگنمایی ۱۰۰×، منطقه همدان

منابع

- درویش زاده، علی، ۱۳۷۱. سنگ شناسی دگرگونی. انتشارات دانشگاه پیام نور. تهران.
- معین وزیری، حسین، ۱۳۷۸. پترولوژی سنگ های دگرگونی. دانشگاه تربیت معلم. تهران.
- یاردلی، بروس، ۱۳۷۲. پترولوژی سنگ های دگرگونی. ترجمه علی کنعانیان، حبیب الـــه قاســمی و عباس آسیابان ها. ماجد شماره ۵۲۹. تهران.

- Bard, J. P., 1986. Microtextures of igneous and metamorphic rocks. D. Reidel Publishing Company.
- Best, M. G., 1982. Igneous and metamorphic petrology. Freeman.
- Barker, J. P., 1991. Introduction to metamorphic textures and microstructures. Blackie, New York.
- Blatt, H. & Tracy, R. A., 1996. .Petrology, igneous, sedimentary and metamorphic. W. H. Freeman and Company.
- Bucher, K. & Fery, M., 1994. Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag.
- Miyashiro, A., 1973. Metamorphism and metamorphic belts. Georg Alten & Unwin.
- Miyashiro, A., 1994. Metamorphic petrology, New York.
- Passchier, C. W. & Trouw, R.A. J., 1996. Microtectonics, Springer, New York.
- Turner, F. J., 1981. Metamorphic petrology, 2nd ed., New York.
- Williams, H., Turner, F. J. and Gilbert, C. M., 1989. Petrology: An introduction to the study of rocks in thin section. 2nd ed. San Fransisco.
- Winkler, H. G. F., 1976. Petrogenesis of metamorphic rocks, 5th ed., New York.

راهنمای موضوعی

ارتو ۱۵

اسلیت ۱۶، ٤٦

اکلوژیت ۱۶، ٤٤، ۸۵، ۱۰۷

آمفیبولیت ۱۵، ۱۶، ۳۱، ٤٤، ۵۰، ۵۱، ۵۳، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۱۰۷

اولترامیلونیت ۳۸

بافت ۲۳

پارا ۱۵

پروتولیت ٤۳

پروتومیلونیت ۳٦

پره تکتونیک ۹۳، ۹٤، ۹۵، ۹٦، ۹۷

پست تکتونیک ۹۳، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰

پورفیروبلاست ۲٤، ۲۶، ۳٤، ٤۰، ۷۹، ۸۳

پورفیروگرانولیتیک ۲٤، ۳۲، ٤۲، ۵۷

پوئی کیلولیتیک ۲٤، ۳۰، ۳۹، ۵۳، ۸٦، ۱۰۲

چشمی ۲٤

رخساره دگرگونی ۲، ۲۱، ٤٤

ریزساختار ۲۳

ساخت ۲۳

سرپانتینیت ۱۳، ۱٤، ۱۶، ۸۹، ۹۰

سین تکتونیک ۹۳، ۹۷، ۹۸، ۹۹

شیست ٦، ۸، ۱۶، ۲۷، ۲۸، ۳۲، ٤۰، ٤٦، ٤۷، ٤۸، ٤۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۵، ٦۳، ٦٦، ٦۸، ۷۸، ۷۹، ۸٤، ۸۹، ۹۰، ۹٦، ۹۷، ۹۸، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰٤، ۱۰۵، ۱۰٦

شیستوزیته ۱۸، ۹۳، ۹٦

فولیاسیون ۲، ۱۵، ۱٦، ۲۳، ۹۳، ۹٦، ۹۷، ۹۸، ۹۹

فیلیت ۱٦، ٤۷

کاتاکلاستیک ۲، ۲٤، ۳۵

کالک سیلیکات ۳۰، ۷۰، ۷۱

کالک سیلیکاته ۱٦، ٦۳، ٦۵

کوارتزیت ۱٦، ٦۰

کلیواژ ۹۳

گرانوبلاستیک ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۳۲، ۳٤، ٤۸، ۵٤، ۵۷، ٦۰، ٦٦، ٦۷، ٦۹، ۷۰، ۷۲، ۷۳، ۸۱، ۸۲، ۸۵، ۸۸

گرانوفلس ۱٦، ۸۰

گرانولپیدوبلاستیک ۲٤، ۳۲، ٤۸

گرانولیت ۱٦، ٤٤

گرانونماتوبلاستیک ۲٤، ۳۲

گرین اشتون ۱٦، ۸۰

گنیس ۱۵، ۱٦، ۳۲، ۵۹، ٦٤

لپیدوبلاستیک ۲۳، ۲٤، ۲۶، ۲۷، ۳۲، ۳٦، ٤۷، ٤۸، ۵۱، ٦۳

لیناسیون ۱٦، ۲۳، ۹۳

متا ۱۵

مرمر ۵، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱٦، ۲۵، ۳٤، ٤۲، ٦٦، ٦۷، ٦۹، ۷۲، ۷۳، ۷٤

موزایک ۲٤

میگماتیت ۱٦

میلونیت ۱٦، ۳۷، ۹٤، ۹۵

نماتوبلاستیک ۲٤، ۲۶، ۲۸، ۸٤

نودولار ۲٤، ۳۹، ٤۰

هتروگرانولار ۲٤، ۲۵، ۵٤، ٦۷، ۷۰، ۷۳، ۸۷

هورنفلس ٤، ۱۵، ۱٦، ۱۸، ۵٦، ۵۷، ۵۸، ۷۳، ۸٦، ۸۷، ۸۸، ۱۰۳، ۱۰۸، ۱۰۹

Atlas of

METAMORPHIC ROCKS

F. Masoudi – A.A. Baharifar

۱۲۲۷۳
دانشگاه تهران (۳)