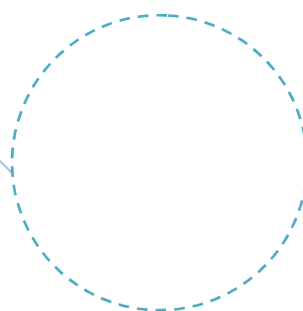
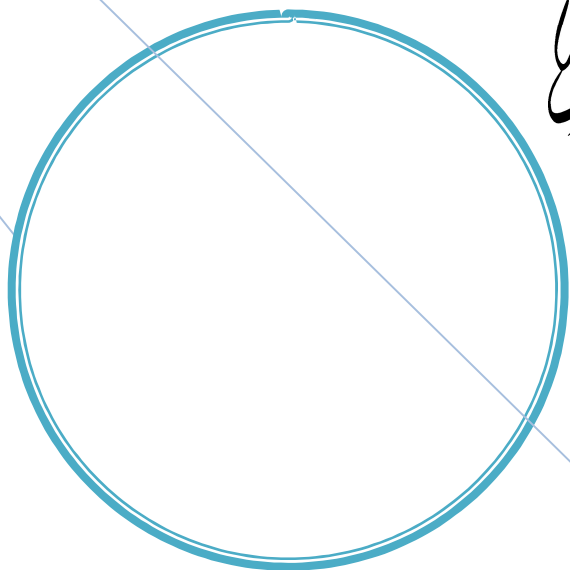


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



**ZaminAzmoon Group**

جزوات وقف عام گروه زمین آزمون

غیر قابل فروش



## سنگ‌شناسی دگرگونی

جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین‌شناسی

تألیف: دکتر رامین صمدی

**تذکر:** گروه مولفین زمین آزمون مطابق حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب مجلس محترم شورای اسلامی با افراد حقیقی یا حقوقی که از نام یا محتوای جزوات تألیفی گروه زمین آزمون به صورت غیرقانونی و بدون مجوز جهت فروش استفاده و یا جزوات غیر قابل فروش گروه را در شبکه‌های مجازی و یا موسسات به فروش برسانند از طریق مراجع قانونی برخورد مقتضی را خواهد نمود. فروش کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین‌شناسی گروه آموزشی زمین آزمون توسط افراد حقیقی یا حقوقی و یا مؤسسات آموزشی ممنوع و این جزوات وقف عام است.

بسمه تعالی

پيامبر خدا (صلی الله علیه وآله وسلم) فرمودند:

حرگاه مؤمن یک برکه که روی آن علمی نوشته شده باشد از خود بر جای گذارد، روز قیامت آن برکه پرده میان او و آتش می شود و خداوند تبارک و تعالی به ازای حر حرمتی که روی آن نوشته شده، شمری بهشت برابر پستو تر از دنیا به او می دهد.

سلام علیکم؛

ایزدانار پاس می گویم که ما ریاکاری بخشید تا بتوانیم در زمینه تحقق آرمان های علمی و میهنی خویش، گامی دیگر برداریم. «زمین آزمون» با هدف ایجاد بانک اطلاعاتی جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی و نیز کمک به دانشجویان و محققین این رشته در سال ۱۳۸۶ آغاز به فعالیت نمود. در این راه استادان و دانشجویان و پژوهشگران محترمی با هم فکری خود به مایاری رسانده اند که اگر این هم فکری و کمک ها نبود شاید این مهم ناتمام می ماند.

اکنون به پاس ۱۰ سال تلاش صادقانه گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون، هزاران امید و تلاش به ثمر نشسته است و فریختگان بسیاری همراه ما با موفقیت در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی تحصیل نموده اند. برای پاسداشت علم و ترویج علم مقدس زمین شناسی، گروه زمین آزمون کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی خود را به صورت وقف عام به همه فریختگان جامعه علمی زمین شناسی ایران تقدیم می نماید. شایسته است از زحمات آقای مهندس مجتبی رجبی، خانم دکتر زکریا شیردشت زاده، خانم مهندس یسرا محمودزاده، آقای مهندس رسول صادقی و دیگر بزرگواران تقدیر گردد. بی گمان این مجموعه از کاستی ها و نواقص احتمالی مبری نیست ولی می تواند مسیری روشن را پیرامون داوطلبان محترم و پژوهشگران کرامی بگشاید. پیروزی و موفقیت شمارا در تمامی آزمون های زندگی آرزو مندیم.

مدیر گروه مؤلفین زمین آزمون

دکتر امین صدیقی

## سنگ‌شناسی دگرگونی

اهداف سنگ‌شناسی دگرگونی

### ۱- شناسایی شرایط تشکیل کانی و سنگ‌ها:

مطالعه‌های پاراژنهای دگرگونی منجر به شناسایی دگرگونی، درجات دگرگونی و نهایتاً شرایط تشکیل کانی‌ها و سنگ‌ها خواهد شد. واضح است که هر پاراژنز در محدوده به خصوصی از شرایط فیزیکی محیط پایدار خواهد بود، با مشاهده هر مجموعه در یک سنگ دگرگونی، می‌توان شرایط تشکیل آن نمونه را تشخیص داد.

به‌عنوان مثال فراوانی ژادیت در مقایسه با آلپیت در یک سنگ، معرف فشار بالاتر در محل تشکیل سنگ دگرگونی است، در حالی که فراوانی آلپیت نسبت به ژادیت نشان‌دهنده بالا بودن حرارت و پایین بودن فشار خواهد بود.

### ۲- شناسایی ترکیب فاز سیال:

با توجه به ترکیب کانی‌شناسی یک سنگ دگرگونی، می‌توان اطلاعاتی را در خصوص ترکیب فاز سیال در حین دگرگونی به دست آورد؛ به‌عنوان مثال کربنات‌هایی هم چون کلسیت و دولومیت در شرایط حضور  $PCO_2$  تشکیل می‌شوند در حالی که حضور کانی تورمالین معرف وجود  $PB_2$  یا  $PF_2$  در حین دگرگونی خواهد بود.

### ۳- شناسایی سنگ منشأ:

از اهداف مهم پترولوژی دگرگونی، شناسایی سنگ منشأ یا سنگ مادر خواهد بود. شناسایی سنگ منشأ به‌طور کلی توسط شناسایی کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های دگرگونی صورت می‌پذیرد؛ بدین معنی که هر نوع سنگ دگرگونی، حاوی کانی‌های خاصی خواهد بود اما از آنجایی که ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های اولیه متنوع است، در نتیجه ترکیب کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های دگرگونی دارای تنوع فراوان و پیچیدگی‌های زیادی است که از این نظر مطالعه این نوع سنگ‌ها را برای پترولوژیست‌های علاقه‌مند، بیش از پیش جالب توجه می‌نماید.

### ۴- تعیین شرایط زمین‌شناسی گذشته:

ارتباط بین بوم‌های دگرگونی و مناطق تکتونیکی به‌خصوص پس از ارائه الگوی تکتونیک صفحه‌ای Plate tectonic پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است به‌عنوان مثال سنگ‌های رخساره گلوکوفان شیبست در مرزهای همگرایی صفحات دیده شده‌اند که از این نظر شناسایی آن‌ها در یک محل به‌خصوص می‌تواند اطلاعاتی را در این مورد نتیجه بخشد.

### ۵- اهمیت اقتصادی و کاربردی سنگ‌های دگرگونی:

سنگ‌های دگرگونی حاوی مواد باارزشی هستند که مطالعه آن‌ها را پیش از پیش سودمند کرده به‌عنوان مثال:

(الف) سنگ‌های دگرگونی از نوع اسکارن حاوی آهن، سرب، روی، طلا، نقره و تنگستن

(ب) مرمر در صنایع سنگ نما و مجسمه‌سازی

(ج) زئولیت‌های دگرگونی در تهیه صافی‌های صنعتی

(د) تالک برای ساخت لوازم آرایشی، بهداشتی و تولید رنگ‌های مرغوب

(ه) گارنت، الیوین، کزندوم در جواهرسازی

(و) گرافیت صنایع الکتریکی و الکترونیکی

(ز) مواد دیرگداز هم چون منیزیت، پریکلاز، سیلیکات‌های آلومین

(ج) انواع آزیست در نسوزها

دگرگونی سنگ‌ها را باید به‌عنوان فرآیندی در نظر گرفت که در سنگ‌های جامد یک منطقه و تقریباً در دمایی کمتر از دمای گداختگی انجام می‌شود. از عوامل مهم کنترل‌کننده این فرآیند می‌توان؛ دما، فشار همه‌جانبه، فعالیت شیمیایی آب، تغییر شکل و زمان را نام برد.

فرآیندهایی که در حرارت بیشتر از  $150^{\circ}C$  و بیش از ۱ kbar فشار رخ می‌دهد، جزو دگرگونی است.

### توجه:

- ۱- پارا (Para): اگر سنگ دگرگونی از یک سنگ رسوبی به وجود آید.
- ۲- اورتو (Ortho): اگر سنگ دگرگونی از یک سنگ آذرین به وجود آید.
- ۳- متا (Meta): اگر سنگ آذرین و رسوبی کاملاً دگرگون نشوند.
- ۴- فولیاسیون: قرار گرفتن کانی‌ها به موازات هم مانند حالت نواری در گنایس‌ها.
- ۵- شیتوزیته: قرار گرفتن کانی‌های گروه میکا (صفحه‌ای) به موازات هم را گویند.
- ۶- لینه‌آسیون: قرار گرفتن عناصر خطی (Hlb) به موازات یکدیگر را گویند.

### عوامل مؤثر در ایجاد دگرگونی:

۱- حرارت (T):

الف) تغییر سیستم دگرگونی: مشاهده در کانی‌های پلی‌مورف مانند گروه کوارتز

ب) از دست دادن آب: حذف آب تبلور مانند تبدیل  $Hbl \leftarrow Px$

ج) تغییر در کانی‌های ایزومورف: به‌خصوص در پلاژیو کلازاها

د) تغییر در نسبت‌های ایزوتوپی: مثلاً با افزایش حرارت نسبت  $O^{18}/O^{16}$  کاهش می‌یابد.

ح) تغییر شیمیایی در برخی کانی‌ها: مثلاً در بیوتیت جانشینی Mg با Fe.

۲- فشار (P):

الف) فشار لیتواستاتیک یا بار همه‌جانبه: کاهش حجم و افزایش چگالی، به‌طور مثال: گابرو و بازالت ← اکلوزیت (گارت پیروپ و پیروکسن اومفاسیت).

ب) فشار یک‌جانبه یا استرس: سبب تغییر ساخت و بافت‌ها می‌شود، مانند تورق در اسلیت، فیلیت، شیست‌ها و گنایس‌ها.

ج) فشار سیال یا فلوید: سیالاتی مانند  $O_2$  و  $CO_2$  و بخار آب، به‌طور مثال طی تشکیل اسکارن‌ها بر اثر دگرگونی مجاورتی:  $(CO_2 + ولاستونیت \rightarrow کوارتز + کلسیت)$ .

یا مثلاً در فشار اکسیژن کم یون فرو ( $Fe^{2+}$ ) و در فشار زیاد یون فریک ( $Fe^{3+}$ ) تشکیل می‌گردد.  
۳- نقش آب (انواع آب):

الف) آب فسیلی: محبوس در سنگ‌های متخلخل قدیمی مانند شیل.

ب) آب جوی: مانند نزولات جوی.

ج) آب‌های جوان: بخار آب ماگما که سرد شده و به آن ژونیل (Juvenile) نیز می‌گویند.

د) آب‌های کانی‌ساز: بر اثر تبدیل کانی‌ها به هم ایجاد می‌شوند ( $Amph \rightarrow Px$ )

### نکات:

پارامورفیسیم: با تغییر درجه حرارت و فشار یک کانی بدون تغییر شکل خارجی به کانی دیگری مبدل می‌شود.

به‌طور مثال تبدیل کوارتز  $\alpha \leftarrow \beta$  در محدوده حرارت  $573^{\circ}C$ .

متداول‌ترین پلی‌مورف‌های سیلیکات آلومینیم ( $Al_2SiO_5$ ) شامل:

آندالوزیت  $\leftarrow T \uparrow$       کیانیت  $\leftarrow P \uparrow$       سیلیمانیت  $\leftarrow P$  و  $T \uparrow$

شرایط متاستابل: شرایطی که در آن یک کانی در خارج قلمرو پایداری خود تشکیل می‌شود مانند تشکیل آراگونیت در چشمه‌های آهک‌ساز که پس از مدتی با کم شدن Mg, Sr کلسیت جایگزین آراگونیت می‌گردد.

کانی‌های لاوسونیت ( $c$  ۱۵۰)، لامونتیت ( $c$  ۱۷۵) و گلاکوفان ( $c$  ۲۰۰) نشانه آغاز دگرگونی می‌باشند.

• کانی‌های پلی‌مورف (مثل کوارتز) دارای سیستم مختلف‌اند.

• کانی‌های ایزومورف (مثل پلاژیوکلاز) دارای ترکیب شیمیایی مختلف‌اند.

✓ افزایش حرارت (T): تشکیل کانی با حجم بزرگ‌تر و وزن حجمی کمتر

✓ افزایش فشار (P): تشکیل کانی با حجم کوچک‌تر و وزن حجمی بیشتر

### توجه:

#### در دگرگونی آلوشیمی:

- تبادل یونی داریم که سبب تغییر ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی می‌شود.

- نمونه شایع آن متاسوماتوز است (اسکارن)

#### در دگرگونی ایزوشیمی یا توپوشیمی:

- تبادل یونی نداریم که سبب تغییر ترکیب کانی‌شناسی شده ولی ترکیب شیمیایی ثابت است.

- دگرگونی ایزوشیمی تبادل یونی با خارج ندارد (بازالت و گابرو  $\leftarrow$  اکلوزیت)

- دگرگونی ایزوشیمی یک امر نسبی است، پس ایزوشیمی واقعی وجود ندارد.

پاراژنز: مجموعه کانی‌های که شرایط تشکیل یکسان داشته و با هم در تعادل‌اند. طبق نظر گلدشمیت تعداد فاز یا کانی یک سنگ برابر با تعداد اکسیدها یا کمتر از آن است.

### دگرشکلی سنگ‌ها:

اگر ماده بدون تغییر حجم، بر اثر استرس تغییر شکل دهد، دگرشکلی را لغزشی یا برشی گویند.

### انواع دگرشکلی:

- ۱- الاستیک: بازگشت به شکل اولیه پس از حذف نیرو.
- ۲- پلاستیک: عدم بازگشت به شکل اولیه پس از حذف نیرو.
- ۳- شکست: بیشترین تحمل استرس تا قبل از شکست جسم (مقاومت نهایی).

### انواع استرس $\sigma$ :

- ۱- کششی: افزایش حجم، مانند ساخت سوسیسی یا بودین.
- ۲- فشردگی: کاهش حجم، مانند چین خوردگی.
- ۳- لغزشی: شکل ظاهری تغییر ولی حجم ثابت است.

### خزش یا Creep (تغییر شکل پلاستیک):

- ۱- لغزش انتقالی یا لغزش: شکل خارجی بلور تغییر می‌نماید ولی کانی جدیدی به وجود نمی‌آید.
- ۲- لغزش دوقلو یا دوقلوی مکانیکی: بخشی از ساختمان نسبت به بخش مجاور جابه‌جا می‌شود ولی نسبت به آن همانند تصویر در آینه به حالت متقارن باقی می‌ماند (مانند Pig). جریان تراوشی یا انحلال بر اثر فشار: ذرات از مناطق پرفشار به کم‌فشار نقل مکان می‌کنند.

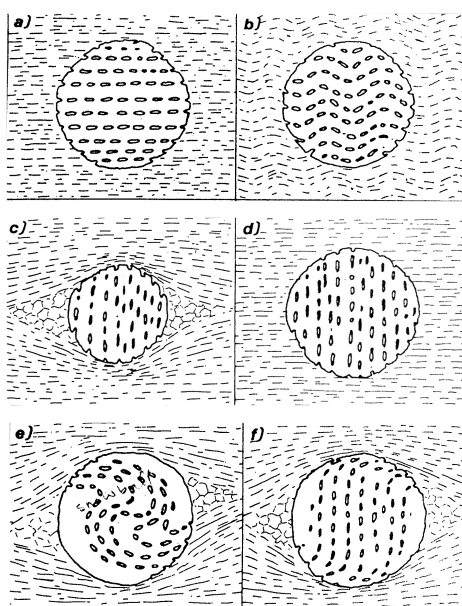
### مکانیسم رشد کانی‌ها:

- ۱- تراوشی: رشد کانی‌ها در فضای خالی سنگ که در جهت کاهش انرژی و ثبات بیشتر در سنگ صورت می‌گیرد. (مثل عدسی‌های کوارتز در میکاشیست)
- ۲- رشد کنکرسینیونی: رشد بلورها با کنارزدن بلورهای مجاور که در این محیط نیروی تبلور بالاست و محیط فوق اشباع است. (مثل چشم‌ها در ساخت چشمی)  
توجه: در رشد تراوشی جا برای رشد وجود دارد ولی در رشد کنکرسینیونی بلور باید جا باز کند.
- ۳- رشد جانیشینی: جابجایی بلورها و اشغال حجم کانی دیگر (در جانیشینی پیچیده دوطرفه، انرژی آزاد با اهمیت است و به سمتی می‌رود که انرژی کل سیستم کاهش یابد). (مثل بافت غربالی)

نکته:

- ❖ جانشینی سبب می‌شود که مواد یا بلورهای دیگر در داخل بلور در حال رشد به دام بیافتند (انکلوزیون) و اگر تعداد این انکلوزیون‌ها زیاد باشد، ایجاد ساخت غربالی می‌نماید که به آن ساخت پویی کیلوبلاستیک گویند.
- ❖ انحلال فشارشی = اصل ریگی = خزش کوبل = خزش ناباروهرینگ = حل شدن در نقطه بیشترین فشار و ته‌نشینی در نقطه کمترین فشار را گویند.
- ❖ سه کانی کوارتز، ایلمنیت و گرانیت از کانی‌های ویژه‌ای هستند که در تشکیل شیستوزیته داخلی شرکت دارند.
- ❖ ایجاد ساخت غربالی و ساخت پویی کیلوبلاست به وسیله جانشینی است.

### رشد پورفیر و بلاستها:



۱- بعد از حادثه تکتونیک (Posttectonic): اول تکتونیک سبب تشکیل شیستوزیته شده و سپس پورفیر و بلاست رشد می‌کند.

۲- قبل از حادثه تکتونیک (Pretectonic): حادثه دگرگونی رخ داده و فقط شیستوزیته کمی تغییر می‌کند و روی پورفیر و بلاست‌ها تأثیری ندارد.

۳- همزمان با تکتونیک (Syntectonic): یک حالت چرخشی یا دورانی در شیستوزیته داخلی دیده می‌شود.

### نام‌گذاری سنگ‌های دگرگونی:

\* بر اساس ترکیب سنگ اولیه:

به بقایای سنگ اولیه پرتولیت گویند

اگر پرتولیت سنگ دگرگونی باشد پیشوند ← متا

اگر پرتولیت سنگ آذرین باشد پیشوند ← ارتو

اگر پرتولیت سنگ رسوبی باشد پیشوند ← پارا

\* بر اساس ساخت سنگ:

- سنگ‌های فاقد شیستوزیته: مانند هورنفلس - اسکارن - کوارتزیت و مرمر.

- سنگ‌هایی دارای شیستوزیته: حالت شیستی و نواری

توجه: دگرگونی در سنگ‌های رسوبی:

۱- پلیتی باشند: ایزوشیمیایی یا توپوشیمیایی، زون‌های منظم



۲- آهکی باشند: آلوشیمیایی یا متاسوماتیسم، زون‌ها نامنظم

### ضخامت هاله در سنگ‌های دگرگونی:

هر چه دمای سنگ میزبان کمتر باشد، ضخامت هاله بیشتر است.

آذرین < دگرگونی > ماسه‌سنگ‌ها < سنگ‌های پلیتی (ایزوشیمیایی) و آهکی (آلوشیمیایی)>

→ کاهش ضخامت هاله دگرگونی

### قانون فازها (گیبس):

$V + P = C + 2 \rightarrow$ سیستم‌های ۱ تشکیل دهنده	$V =$ واریانس یا تعداد متغیرها
$V + P = C + 1 \ (\downarrow P, \uparrow V) \rightarrow$ سیستم‌های ۲ تشکیل دهنده	$P =$ تعداد فازها
$V + P = C + 1 \rightarrow$ سیستم‌های ۳ تشکیل دهنده	$C =$ تعداد تشکیل دهنده‌ها

### پاراژنز:

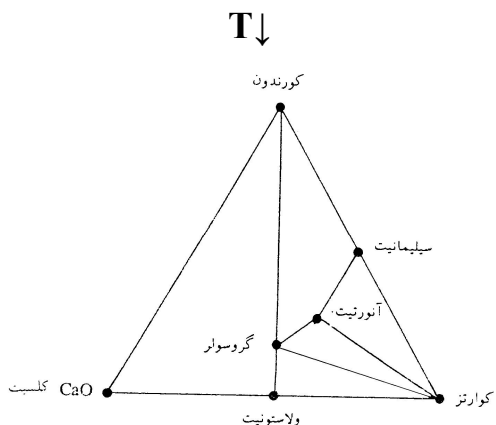
مجموعه کانی‌هایی که شرایط تشکیل و پایداری آن‌ها مشابه بوده و با هم در تعادل شیمیایی و ترمودینامیکی می‌باشند.

در یک سنگ دگرگونی، کوارتز با الیون Mg دار و هماتیت با گرافیت دیده نمی‌شود.

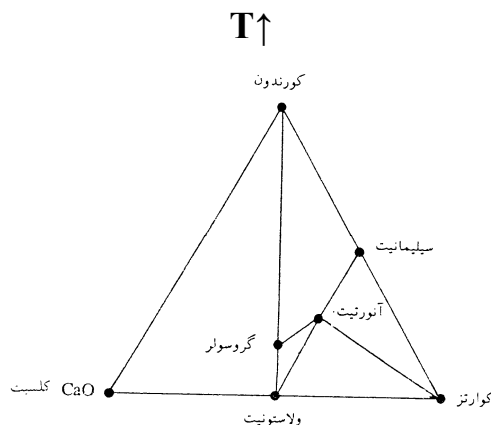
در مثلث کانی‌هایی که در سه رأس یک مثلث قرار می‌گیرند، می‌توانند به صورت پاراژنز یافت شوند.

پاراژنز کانی‌های همزیست در سیستم سه‌تایی  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ :

{ کورندون =  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، کوارتز =  $\text{SiO}_2$ ، کلسیت =  $\text{CaO}$  }



اگر با ثابت بودن فشار P، حرارت T را کاهش دهیم: خط گروسولار - کوارتز ایجاد خواهد شد

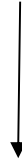


اگر با ثابت بودن فشار P، حرارت T را افزایش دهیم:

خط ولاستونیت - آنورتیت حذف خواهد شد

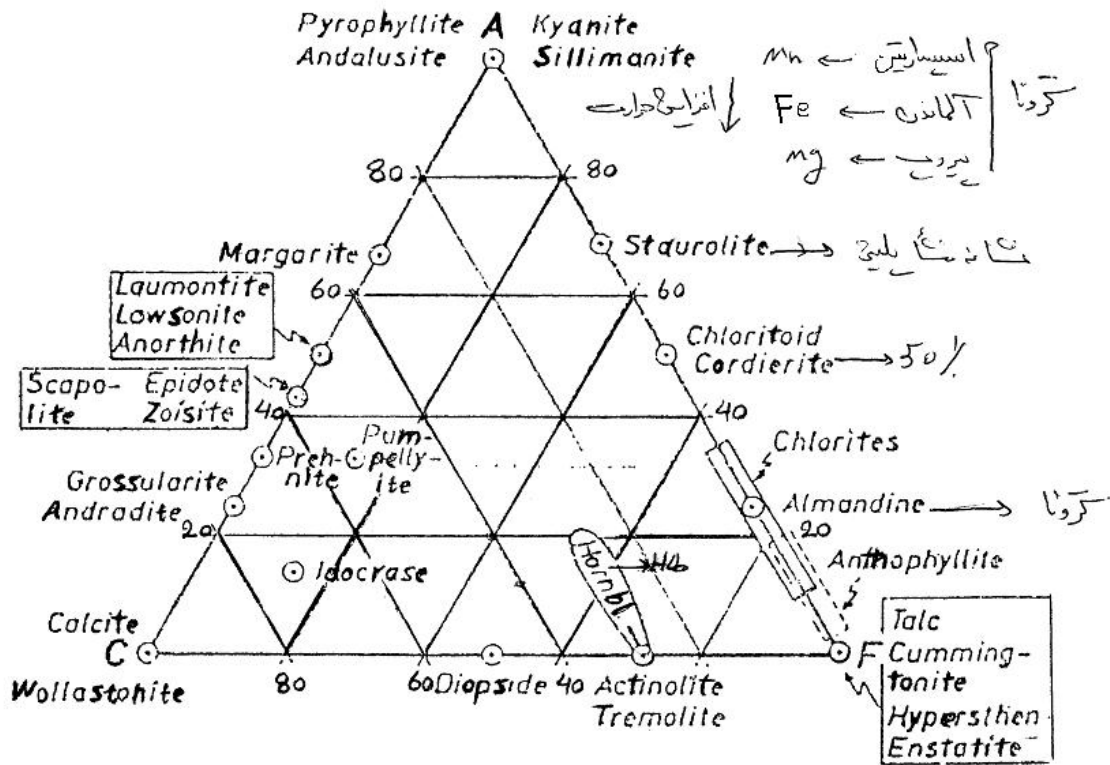
خط گروسولار - کوارتز حذف خواهد شد.

خط ولاستونیت - آنورتیت ایجاد خواهد شد



گرونا }  
 ← اسپسارتین Mn  
 ← آلماندن Fe  
 ← پیروپ Mg

دیاگرام ACF جهت پلات کردن کانی‌ها:



ابتدا نسبت مولکولی اکسیدها را محاسبه می‌کنیم (به  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $SiO_2$  توجهی نمی‌کنیم):

$$\text{نسبت مولکولی اکسید} = \frac{\text{درصد وزنی اکسید}}{\text{جرم مولکولی اکسید}}$$

اما در صورت وجود:	در حالت عادی	
$A = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) - (Na_2O + K_2O)$	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	قطب A
$C = CaO - 3.3P_2O_5 - CO_2$	CaO	قطب C

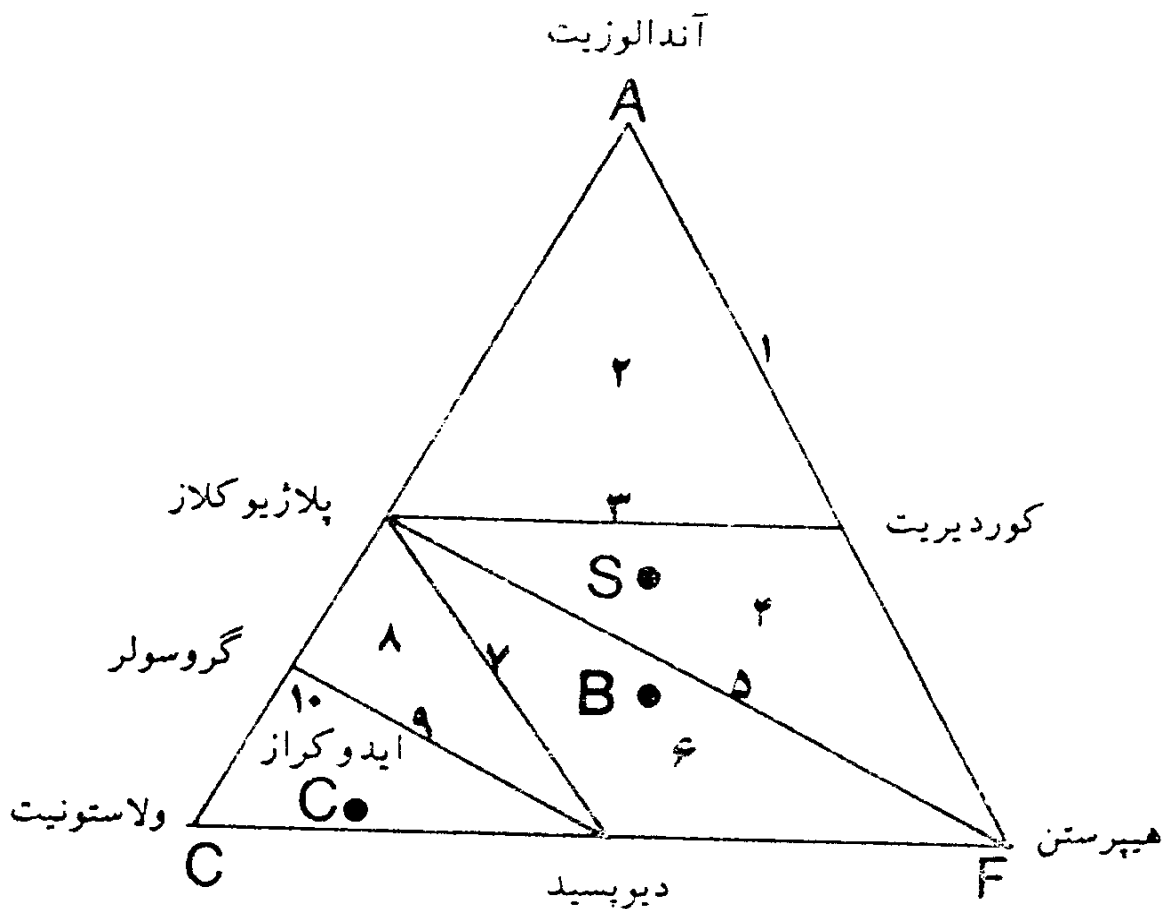
<p>مگنتیت و ایلمنیت در سنگ:  <math>F = MnO + MgO + \hat{Fe}O</math>  <math>\hat{Fe}O = FeO + TiO_2 + Fe_2O_3</math></p>	<p><math>MnO + MgO + FeO</math></p>	<p>قطب F</p>
---	-------------------------------------	--------------

به کمک دیاگرام ACF می‌توان ۱۰ نوع هورنفلس را که با شماره مشخص شده‌اند را نشان داد.  
 در این شکل:

ترکیب متوسط‌ها با S،

پوسته اقیانوسی با حرف B

و سنگ‌های آهکی با حروف C نشان داده شده‌اند: (رده‌بندی گلدشمیت).

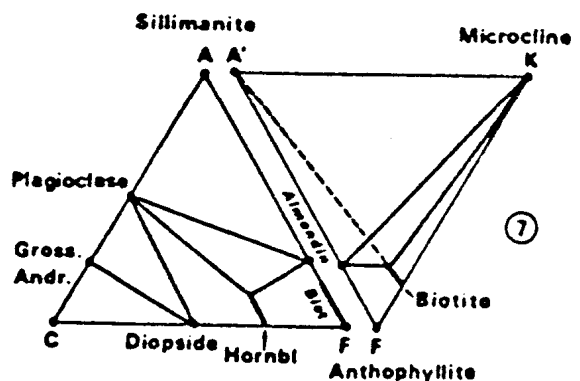
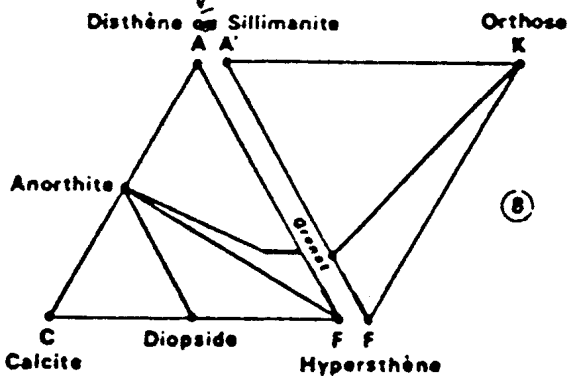
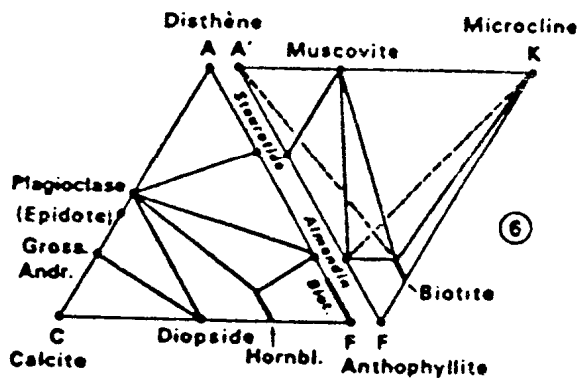
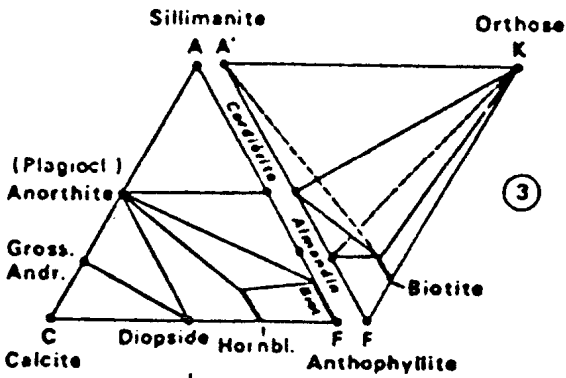
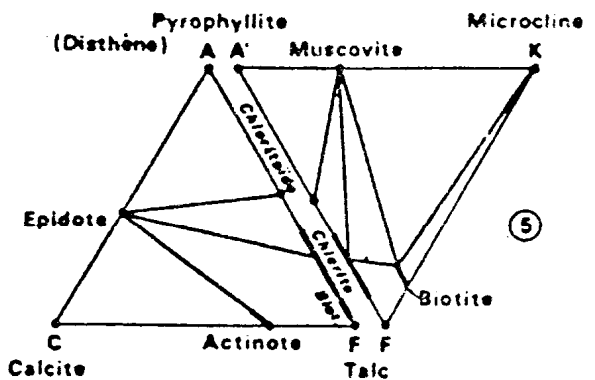
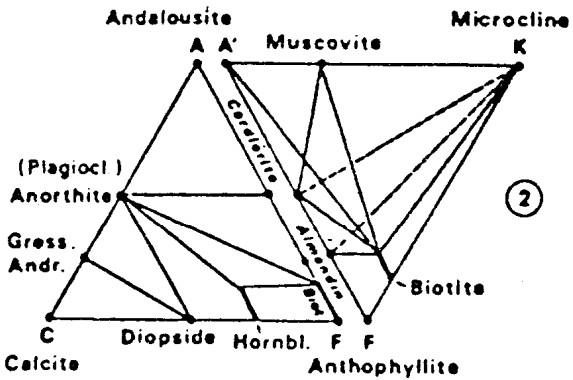
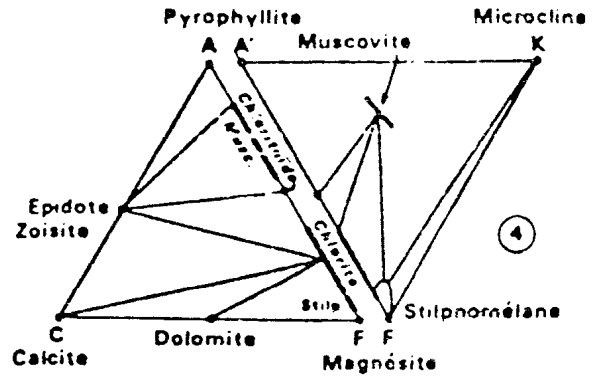
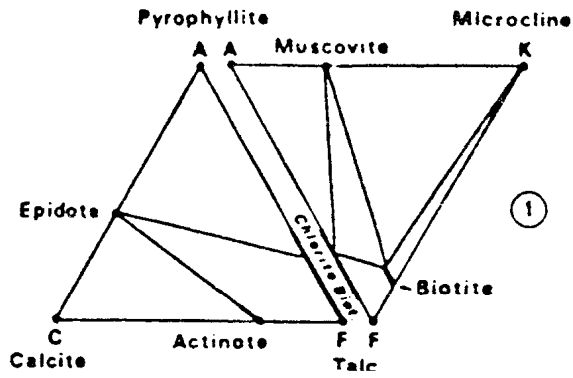


در تصویر صفحه بعد:

دیاگرام‌های ۱ و ۲ و ۳ مربوط به سری رخساره‌های آندالوزیت - سیلیمانیت دار است.

دیاگرام‌های ۴ و ۵ و ۶ و ۷ مربوط به سری رخساره دیستن - سیلیمانیت دار است.

دیاگرام ۸ مربوط به رخساره گرانولیت است (که خود برحسب شرایط شامل دو سری سیلیمانیت؟ دیستن است).



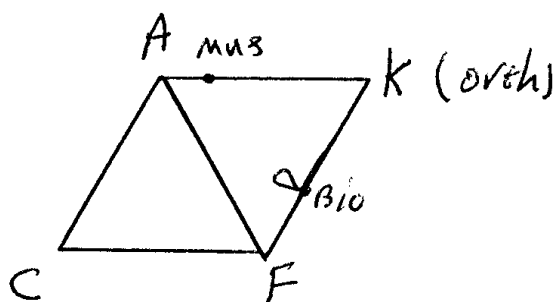
**دیاگرام AFK یا A'FK (تامپسون یا متبازیت):**

از این دیاگرام جهت پلات کردن، موسکوویت، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم و استلپینوملان استفاده می‌شود.

$$A' \text{ قطب} \Rightarrow A' = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) - (Na_2O + K_2O + CaO)$$

$$K \text{ قطب} \Rightarrow K = K_2O$$

$$F \text{ قطب} \Rightarrow F = FeO + MgO + MnO$$


**نکات:**

◀ دو دیاگرام ACF و A'FK در مورد کانی‌های فرعی مانیتیت، همتیت، آپاتیت، ایلمینیت، اسفن و روتیل اطلاعاتی به ما نمی‌دهند.

◀ اما برای سنگ‌های متبازیت که سنگ اولیه‌شان مافیک بوده و بر اثر دگرگونی به هورنفلس تبدیل می‌شوند با توجه به کانی‌های دیوپسید، هیپرستن، هورنبلند، اکتینولیت، آنورتیت و غیره موجود در آن‌ها دیاگرام‌های مناسبی هستند.

◀ در دیاگرام‌های ACF و A'FK آلایت نداریم.

◀ شرایط وجود آلایت (Ab): کمبود Al و Ca برای ساختن Plg.

**دیاگرام AFM یا متاپلایت:**

در این دیاگرام کانی‌های Mg و Fe دار از هم تفکیک شده‌اند.

$$A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO) \quad A = Al_2O_3 - 2K_2O$$

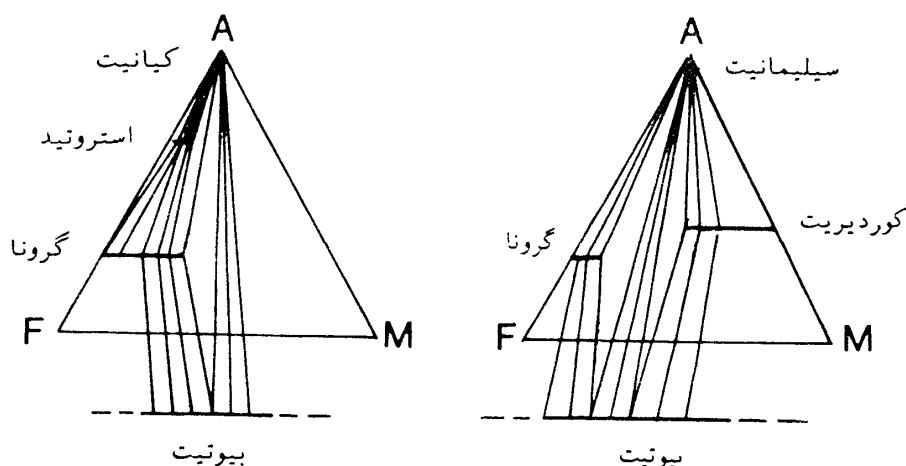
$$F = FeO + MnO$$

$$M = MgO$$

**نکات:**

◀ دیاگرام AFM: برای نمایش مجموعه کانی و سنگ‌های دگرگونی مشتق از رسوبات شیل ها و ماسه‌های شیلی بسیار مفید است.

◀ دیاگرام SCM: می‌توان کانی‌های ولاستونیت کلسیت دولومیت منیزیت بروسیت پریکلاز فورستریت سرپانتین ترمولیت و دیگر سیلیکات‌ها را پلات نمود.



**توجه:** دیاگرام‌های AFM برای مجموعه بیوتیت + دیستن + استروئید (زون دیستن) و مجموعه سیلیمانیت + گرونا + بیوتیت (زون سیلیمانیت) در هر دو شکل Bio در خارج از مثلث است. خطوط فشرده معرف ترکیبات کانی‌ها بر اثر جانشینی‌های Mg و Fe است.

درصد کانی‌های فرعی که به طریق زیر از تجزیه شیمیایی در دیاگرام ACF کم می‌کنیم:

۱- به میزان مساوی وزن هماتیت از  $Fe_2O_3$

۲- به میزان ۳۰٪ وزن اسفن از CaO

۳- به میزان ۳۰٪ وزن منیتیت از FeO

۴- به میزان ۷۰٪ وزن منیتیت از  $Fe_2O_3$

۵- به میزان ۵۰٪ وزن ایلمینیت از FeO

درصد وزن اکسید

نسبت مولکولی اکسیدها =

وزن مولکولی اکسید

### اقسام دگرگونی:

#### ❖ ناحیه‌ای یا عمومی یا دینا موترمال یا دینامیکی:

- ۱- هر دو عامل فشار و حرارت از کم تا زیاد در آن مؤثرند.
- ۲- اکثر سنگ‌های آن تورق دارند (آن ایزوتروپ).
- ۳- گسترش آن زیاد است.
- ۴- شامل دگرگونی‌های ناحیه‌ای - تدفینی و اتوماتورفیسیم می‌باشد.
- ۵- دگرگونی ناحیه‌ای به هنگام انجام کوه‌زایی که با حرکت صفحات لیتوسفر همگرا توأم است انجام می‌شود.
- ۶- دگرگونی ناحیه‌ای = سین تکتونیک = همزمان با تکتونیک، مانند زون سنندج - سیرجان که در سیمین پیشین به وقوع پیوسته است.

#### ❖ دگرگونی حرارتی یا همبری یا مجاورتی:

۱- عامل مهم حرارت است.

۲- حرارت از توده نفوذی و ماگمایی است.

۳- ناحیه آن محدود است.

۴- تورق آن کم می باشد.

#### ❖ دگرگونی دفنی یا تدفینی:

ساخت ثابت مانده و ترکیب کانی‌شناسی تغییر می کند، فاقد فشار جهت دار است و عموماً فشار همه‌جانبه می باشد (در کل تأثیر حرارت بیشتر از فشار است).

#### ❖ دگرگونی حرکتی یا پویا یا کاتاکلاستیک:

بر اثر حرکت گسل (فشار و حرارت کم) ایجاد می شود. در آن تغییرات کانی‌شناسی مثل دفنی اصلاً نداریم ولی بافت تغییر کرده و سنگ خرد می شود.

#### ❖ دگرگونی اتومتامورفیسم یا کف اقیانوسی:

آب در ریفت های میان اقیانوسی نفوذ (۲ c)، سپس گاز  $SO_2$  در آن حل شده و خاصیت اسیدی می یابد (PH کاهش می یابد)، سپس وارد شکستگی سنگ های فوق بازیک شده (پریدوتیت) و آن ها را به سرپانتینیت و اسپیلیت دگرگون می کند.

اسموکو: مواد حاصل از انحلال در آب (خاکستر) در محل پشته میان اقیانوسی به سطح می آید و به صورت ستونی از ذرات معلق و بخار آب از کف دریا فوران می کند.

توجه: در ریفت های اقیانوسی رخساره پرهنیت - پامپلی ئیت که باید بین رخساره زئولیتی و شیست سبز باشد یافت نمی شود.

متاسوماتوز: تغییر ترکیب شیمیایی سنگ در حالتی که پیوسته جامد است.

#### مهاجرت:

متاسوماتیسم انتشاری: مهاجرت از راه انتشار، حرکت در جهتی که تمرکز کم است

متاسوماتیسم تراوشی: مهاجرت از راه تراوش، مواد محلول در اطراف نفوذ می کند.

توجه: پدیده متاسوماتیسم تراوشی گسترش بیشتری دارد.

فینیتی شدن: نوعی متاسوماتیسم که در اطراف توده نفوذی کربناتیته به وجود می آید.

#### ❖ دگرگونی چندباره یا مرکب:

۱- پیش رونده یا پروگراد: شدت دگرگونی دوم از اول بیشتر است.

۲- پس رونده یا رتروگراد یا دیافتورز: شدت دگرگونی دوم از اول کمتر است.

#### ❖ دگرگونی ایزوشیمی و آلوشیمی:

- ایزوشیمی: عمل دگرگونی در سیستم بسته و تبادل یونی برقرار نبوده و ترکیب کانی‌شناسی متغیر ترکیب شیمیایی ثابت است. به طور مثال: بازالت و گابرو ← اکلوزیت
  - آلوشیمی: تبادلات یونی داریم، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی متغیر است، به طور مثال: آهک ← اسکارن.
- توپوشیمیایی = ایزوشیمیایی  
آلوشیمیایی = متاسوماتیک

### نکات:

- درجه زمین‌شناسی فشاری در پوسته ۲۷ مگا پاسکال و در گوشته ۳۳ مگا پاسکال است.
  - اگر  $p_f = p_l$  درجه زمین‌فشارشی یا رابطه بین عمق و فشار برقرار است.
  - اگر  $p_f > p_l$  درجه زمین‌فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار نیست.
- در دگرگونی دینامیکی یا کاتا کلاستیکی:

کاتا کلازیت ← میلونیت ← الترامیلونیت ← پسدوتاکی لیت  
← افزایش خردشدگی

- در دگرگونی تدفینی ترکیب کانی‌شناسی تغییر، ولی ساخت اولیه حفظ می‌شود.
- دگرگونی استاتیک همان تدفینی است که بر اثر درجات حرارت و فشار سیالات به وجود می‌آید.
- در دگرگونی اقیانوسی یا اتوماتامورفیزم به علت فشار پایین، رخساره پرهنیت - پامپلی‌تیت را نداریم.
- در متاسوماتوز: جانشینی مواد در حالتی روی می‌دهد که سنگ پیوسته جامد است.
- در مقابل سیالات ماگمایی کربناته کوارتز ناپایدار ولی فلدسپات پایدار است.
- عامل اصلی در دگرگونی پیش‌رونده و پس‌رونده (مرکب)، حرارت می‌باشد.

### کانی‌های ردیاب:

تعیین زون‌های دگرگونی به روش بارو

سیلیمانیت → دیستن → استروئید → گرونا → بیوتیت → کلریت  
↑  
افزایش درجه دگرگونی

### شرایط استفاده از کانی‌های ردیاب عبارت‌اند:

- ۱- کانی‌ها پورفیرو بلاست باشند.
  - ۲- ترکیب شیمیایی سنگ پلیتی ثابت باشد.
- جانشینی در دگرگونی قهقرایی:
- ۱- کلریت به جای گرونا
  - ۲- آمفیبول به جای پیروکسن
  - ۳- موسکوویت به جای آندالوزیت یا کیانیت (دیستن)
- جانشینی در دگرگونی‌های مرکب:
- ۱- گارنت ← با کلریت



۲- Amph ← با Px

۳- Mus ← با آندالوزیت، کیانیت (دیستن)

۴- ارتوز ← با لوسیت

۵- آلپیت ← با نفلین

۶- استروئید ← با میکا

**نگاهی به زون‌های دگرگونی:**

سنگ دگرگونی	تغییر و تحولات دگرگونی (کانی‌شناسی)	شدت دگرگونی	منطقه دگرگونی
گرین شیسیت (اپیدوت و کلریت و اکتینوت)  بلوشیسیت (گلاکوفان)  وایت شیسیت (Mus و تالک)	وجود کانی‌های مثل تالک، سرسیت، اکتینو، اپیدوت، Mus، کلریت و کلریتوئید. با افزایش Na گلاکوفان رشد می‌کند، کوارتز ریز تا بسیار ریز و Plg (Na).	بسیار ضعیف تا ضعیف	ابی زون
میکاشیسیت	رشد کوارتز (متوسط)، Plg کمی کلسیم‌دار، تالک و کلریک از بین رفته و تره مولیت و بیوتیت جانشین می‌شوند. کانی رسی تماماً حذف شده و به آندالوزیت استارولیت، گارنت و کیانیت تبدیل می‌شود.	متوسط	مزوزون
گنایس میکادار	Mus کاملاً از بین می‌رود، ارتوکلاز و سیلیمانیت مشاهده می‌گردد. Bio هنوز باقی است، کوارتز درشت و Plg (Ca)، گارنت و کیانیت تبدیل می‌شود	قوی	کاتازون
گنایس بدون میکا یا گرانولیت	سنگ فاقد کانی آبدار است، Bio از بین رفته و بجای آن Hlb و اوژیت و هیپرستن جانشین شده است. وجود دیوپسید (Px50%) نشان‌دهنده Ca بسیار بالا، بنابراین Plg(Ca) زیاد است.	بسیار قوی	الترازون

**مطالعه رخساره‌های دگرگونی:**

**رخساره دگرگونی:**

۱- ترکیب شیمیایی متفاوت

۲- شرایط ترمودینامیکی ثابت

**زون دگرگونی:**

۱- ترکیب شیمیایی ثابت

۲- شرایط ترمودینامیکی متغیر

یک رخساره دگرگونی، شامل سنگ‌هایی با ترکیب شیمیایی متفاوت است که در طی دگرگونی، تحت شرایط فیزیکی یکسان به تعادل شیمیایی رسیده‌اند.

**اقسام مهم رخساره‌های دگرگونی:**

نام رخساره	ترکیب کانی شناسی
دگرگونی تدفینی	۱- زئولیتی زئولیت‌ها بویژه لومونتیت و هولاندیت و همچنین آنالسیم مجموعه کانیها عبارتند از کوارتز + لومونتیت + کلریت
	۲- پرهنیت - پومپله‌ایت پرهنیت ± پومپله‌ایت + کوارتز اصلی هستند (بدون زئولیت یا گلوکوفان یا لاوسونیت)
	۳- شیت گلوکوفان - گلوکوفان + لاوسونیت و همچنین زاده‌ایت + کواتز + لاوسونیت یا شیت‌های آراگونیت آبی
دگرگونی ناحیه‌ای	۴- شیت سبز آلبیت + اپیدوت + آکتینوت ± کلریت ± کلسیت در سنگهای مافیک و پیروفیلیت در سنگهای پلیتی
	۵- آمفیبولیت هورنبلاند + پلاژیوکلاز (درصد آنورتیت بیش از ۲۰ درصد) در سنگهای بازیک و دیستن در سنگهای پلیتی
دگرگونی ناحیه‌ای	۶- گرانولیت اوزیت + ارتوپیروکسن + پلاژیوکلاز و همچنین گرونا‌ی آهن و منیزیم دار
	۷- اکلوزیت مجموعه کانیهای بدون فلدسپاتی که با حضور کلینوپیروکسن سرشار از زاده‌ایت و گرونا‌ی سرشار از پیروپ در سنگهای بازیک.
دگرگونی مجاورتی	رخساره‌ها مجاورتی مشابه با رخساره‌های شیت سبز و آمفیبولیت بوده ولی تنها در مجاورت توده آذرین نفوذی دیده می‌شوند. در سنگهای پلیتی آندالوزیت هم بوجود می‌آید.

**توجه:**

۱- رخساره سانیدینیت: حرارت بالا (همبری یا مجاورتی)

۲- رخساره اکلوژیت: فشار بالا (ناحیه ای یا سین تکتونیک)

### انواع رخساره‌های دگرگونی ناحیه ای: (عوامل فشار و حرارت مؤثرند)

۱- رخساره شپست سبز:

بیشترین رخنمون در سطح زمین را دارد، حرارت ۳۰۰ تا ۵۰۰، کانی‌های شاخص آن: اپیدوت، کلریت، آلبیت، اکتینولیت، بیوتیت، گارنت، پیروفیلیت، موسکوویت و کمتر کلریتوئید. شاخص این رخساره رخ اسلیتی و شیستوزیته است. مرز بالای آن قبل از ظهور استارولیت و دیوپسید مشخص می‌شود.

۲- رخساره گارنت - آمفیبولیت یا آمفیبولیت:

- کانی‌های آن استارولیت، کیانیت، سیلیمانیت، موسکوویت، آنتوفیلیت و دیوپسید حرارت ۵۲۵ تا ۸۰۰

آمفیبولیت در دگرگونی ناحیه ای و همبری تشکیل می‌شود.

- بهترین مناطقی که این رخساره رخنمون دارد، زون‌های تصادم قاره است.

- این رخساره بر اساس تغییرات فشار به ۳ بخش تقسیم می‌شود.

۱- فشار کم ← شامل کردیریت + آندالوزیت

۲- فشار متوسط ← سیلیمانیت

۳- فشار زیاد ← کیانیت

۳- رخساره آمفیبولیت در سنگ‌های مختلف:

الف) سنگ‌های مافیکی: Plg (با بیش از ۲۵٪ آنورتیت)، هورنبلند سبز و اپیدوت در زون استارولیت و هورنبلند

قهوه‌ای در زون‌های بالاتر، دیوپسید، در سنگ‌های غنی از Bio, Ca در سنگ‌های غنی از پتاسیم.

ب) سنگ‌های اولترامافیکی: آنتی گوریت در زون اول، دیوپسید، استارولیت، آنتوفیلیت، الوین و اکتینولیت.

ج) گری وک و ماسه‌سنگ: پلاژیوکلاز با بیش از ۲۵٪ An, Mic در زون اول، ارتوکلاز در زون‌های بالاتر، بیوتیت

و موسکوویت.

د) شیلها: Plg, Qtz, Mic در زون اول، ارتوکلاز در زون بالاتر، استارولیت، کیانیت، سیلیمانیت، موسکوویت،

بیوتیت و کوردیریت.

ه) سنگ‌های کربناته: کلسیت، دیوپسید، گروسولاریت، آندرادیت، ترمولیت، هورنبلند، پلاژیوکلاز (۲۵٪ An)،

آیدوکرز، اپیدوت در زون پایین.

۴- رخساره گرانولیت: (فاقد کانی آبدار)

- بافت سنگ‌های رخساره گرانولیت دانه متوسط تا دانه درشت است و این سنگ‌ها به گنیس معروف هستند.

- رخساره گرانولیت شامل ۲ زون می‌باشد:

الف) زون هورنبلند - ارتوپیروکسن: حاوی میکاها، آمفیبولها و پیروکسن.

(ب) زون ارتوپروکسناها: حاوی ارتوپروکسن.

۵- رخساره اکلوزیت: (معادل حرارتی ندارد)

- کانی‌های شاخص آن گارنت قرمز رنگ (پیروپ) و پیروکسن (امفاسیت) می باشد.
- دانشمندان معتقدند رخساره اکلوزیت در شرایط جبهه فوقانی، اعماق پوسته تحتانی و زون فرورانش تشکیل شده است.

مقایسه دگرگونی ناحیه ای در سنگ‌های رسوبی غنی از کانی‌های رسی، سنگ‌های آذرین و کربناته:

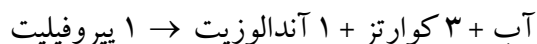
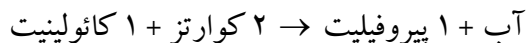
رخساره دگرگونی	سنگهای مافیکی	سنگهای اولترامافیکی	سنگهای رسی	سنگهای کربناته
زنولیت	زنولیت، زونیزیت، آلبیت پرهنیت	سریانتین، بروسیت، کلریت، دولومیت و مگنیزیت	کانیهای رسی و کوارتز کوارتز، آلبیت و کلریت	کلسیت، دولومیت کوارتز
شیت سبز	کلریت، اکتینولیت، اپیدوت زونیزیت، آلبیت	سریانتین، تالک، تره‌مولیت بروسیت، دیوبسید، کلریت	کوارتز، بلاژیوکلاز/کلریت مسکویت، بیوتیت، گارنت و پیروفیلیت	کلسیت، دولومیت مسکویت و بیوتیت
پرهنیت - پامپلی‌تیت	کلریت، پرهنیت، آلبیت پامپلی‌تیت، اپیدوت	سریانتین، تالک، فورستریت، تره‌مولیت، کلریت	کوارتز، ایلیت، مسکویت، آنت و کلریت	کلسیت، دولومیت، کوارتز تالک و مسکویت
اپیدوت - آمفیبولیت	هورنبلند، اکتینولیت بلاژیوکلاز و اپیدوت یا زونیزیت	فورستریت، تره‌مولیت، تالک سریانتین و کلریت	کوارتز، بلاژیوکلاز، کلریت مسکویت و بیوتیت	کلسیت، دولومیت، مسکویت بیوتیت و تره‌مولیت
آمفیبولیت	هورنبلند، بلاژیوکلاز	فورستریت، تره‌مولیت، آنتوفیلیت کلریت و ارتوپروکسن	کوارتز، بلاژیوکلاز، کلریت، مسکویت، بیوتیت، گارنت استارولیت و کینایت	کلسیت، دولومیت، کوارتز، دیوبسید بیوتیت، تره‌مولیت، فورستریت و بلاژیوکلاز
گرانولیت	هورنبلند، اوژیت، ارتوپروکسن بلاژیوکلاز	فورستریت، ارتوپروکسن، اوژیت هورنبلند، گارنت اسپینل	کوارتز، بلاژیوکلاز، ارتوکلاز گارنت، کوردیریت سیلیمانیت	کلسیت، کوارتز، فورستریت دیوبسید، ولاستونیت و هومیت
شیت آبی	گلاکوفان، لاسونیت، آلبیت آراگونیت، کلریت و زونیزیت	فورستریت، سریانتین و دیوبسید	کوارتز، بلاژیوکلاز، مسکویت کارفولیت، تالک، کلرتونید و کینایت	کلسیت، آراگونیت، کوارتز دیوبسید، تره‌مولیت
اکلوزیت	گارنت غنی از منیزیم، امفاسیت، کینایت	فورستریت، ارتوپروکسن اوژیت و گارنت	کوارتز، تالک، کینایت و گارنت فنجیت و گارنت	کلسیت، آراگونیت، کوارتز فورستریت و دیوبسید

انواع رخساره‌های دگرگونی همبری یا مجاورتی:

در این گروه دگرگونی از فشار صرف نظر می کنند.

۱- رخساره آلبیت - اپیدوت هورنفلس:

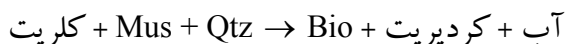
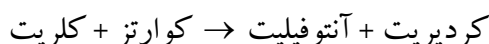
- حرارت مابین ۳۵۰ تا ۵۰۰ که شامل واکنش‌های:



- دانه‌ریز بوده و دارای کانی‌های اپیدوت و آلبیت می باشد.

۲- رخساره هورنبلند هورنفلس:

- حرارت  $15 \pm 350^{\circ}\text{C}$  که شامل واکنش‌های:

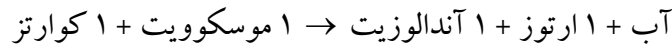


- در این مرحله کلریت حذف و آنتوفیلیت ایجاد می شود.

- Hlb جانشین اپیدوت و آلبیت شده است.

## ۳- رخساره پیروکسن هورنفلز:

- حرارت مابین  $605^{\circ}\text{C}$  -  $580^{\circ}\text{C}$  که شامل واکنش:



- این رخساره فقط در حاشیه توده بازیگ یافت می‌شود.

- شدیدترین رخساره حرارتی است. کانی‌های آن: هیپرستن، کردیریت، دیوپسید، آندرادیت (گارنت Ca دار).

- نام دیگر آن کردیریت فلدسپات است.

- وجود هیپرستن نشان‌دهنده سنگ بازیگ اولیه است، وجود کردیریت و آندالوزیت نشان‌دهنده سنگ اولیه

پلیتی (رسوبی آواری) و وجود دیوپسید (Px) و گارنت کلسیم‌دار نشان‌دهنده کربنات کلسیم زیاد است و

سنگ اولیه می‌تواند آهک یا مارن باشد.

## ۴) رخساره سانیدینیت:

- حرارت آن  $800^{\circ}\text{C}$ ، در دگرگونی ترمومتامورفیسم (حرارتی بالا)

- بوکیت:  $\text{Plg} + \text{Opx}$  + کردیریت + کانی اوپک در خمیره شیشه‌ای

## مقایسه رخساره‌های دگرگونی ناحیه ای با دگرگونی همبری:

دگرگونی ناحیه ای دگرگونی همبری
رخساره زئولیت - رخساره شیست سبز
آلیت، اپیدوت هورن فلز - رخساره آمفیبولیت
هورنبلند هورن فلز - رخساره گرانولیت
پیروکسن هورن فلز - سانیدینیت

## نکات:

- سنگ‌هایی با منشأ پلیتی در رخساره شیست سبز دارای میکا می‌باشند.
- در دگرگونی ناحیه ای: آمفیبول (آکتینولیت - تره مولیت) معرف رخساره شیست سبز و جداکننده این رخساره از آمفیبولیت است.
- ساخت‌های شیست سبز:

الف) لپیدوبلاستیک ← کلریت

ب) لپیدونما توبلاستیک ← کلریت + آکتینولیت

ج) گرانونما توبلاستیک ← کلریت + آکتینولیت + اپیدوت

مقایسه دگرگونی همبری در سنگ‌های رسوبی غنی از کانی‌های رسی، سنگ‌های آذرین و سنگ کربناته (بلت و

تریسی، ۱۹۹۶):

سنگهای کربناته	سنگهای رسی	سنگهای اولترامافیکی	سنگهای مافیکی	رخساره دگرگونی
کلسیت، دولومیت، کوارتز	کوارتز، پلاژیوکلاز، مسکویت	سربانتین، تالک، ترمولیت	آلبیت، اپیدوت یا زونیزیت	آلبیت-اپیدوت
تره‌موبیت، تالک و فورستریت	کلریت و کوردیوریت	کلریت	کتینوئیت و کلریت	هورن‌فلس
کلسیت، دولومیت، کوارتز	کوارتز، پلاژیوکلاز، مسکویت	فورستریت، ارتوپروکسن	هورنبلند، پلاژیوکلاز	هورنبلند هورن‌فلس
دیوپسید و فورستریت	بیوتیت، کوردیوریت و آندالوزیت	هورنبلند و کلریت	ارتوپروکسن و گارنت	
کلسیت، کوارتز، دیوپسید	کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز	فورستریت، ارتوپروکسن، اوژیت	ارتوپروکسن، اوژیت	پروکسن هورن‌فلس
فورستریت و ولاستونیت	آندالوزیت، سیلیمانیت، کوردیوریت	پلاژیوکلاز و A1-اسپینل	پلاژیوکلاز و (گارنت)	
کلسیت، کوارتز، فورستریت، دیوپسید	کوارتز، پلاژیوکلاز، سیلیمانیت،	فورستریت، ارتوپروکسن اوژیت و	ارتوپروکسن، اوژیت،	سانیدینیت
ولاستونیت، مونتسلیت و آکرماتیت	کوردیوریت، ارتوپروکسن و A1-اسپینل	پلاژیوکلاز	پلاژیوکلاز	

### انواع رخساره‌های دگرگونی دینی یا تدفینی:

#### (۱) رخساره زئولیت:

✓ لامونیت مهم‌ترین کانی شاخص رخساره زئولیت است. کانی‌های استیلیت، موردنیت و هولاندیت که در سنگ‌های غیر دگرگونی یافت می‌شوند، در رخساره زئولیت به کانی لامونیت تبدیل می‌شوند این رخساره در محدوده حرارت 200 - 300 پایدار است.

✓ معادل دگرگونی درجه خیلی پایین و فاقد رخ اسلیتی است. مرز بالای رخساره زئولیت بر اساس تبدیل لامونیت به آنورتیت و تبدیل کائولینیت به پیروفیلیت مشخص می‌شود.

✓ شامل زیر رخساره‌های زیر می‌باشد:

الف) زیر رخساره لامونیت - پره‌نیت: آغاز دگرگونی با تشکیل لامونیت

ب) زیر رخساره پره‌نیت - پامپلی‌تیت: لامونیت از بین رفته و پره‌نیت

توجه: رخساره زئولیتی معرف پایان دیاژنز و آغاز دگرگونی است (لومونیت - پره‌نیت)

#### (۲) رخساره گلاکوفان شیست یا شیست آبی:

✓ در زون فرورانش تشکیل می‌شود. کمترین گرادیان حرارتی در منطقه گودال‌های عمیق زون فرورانش علت اصلی تشکیل شیست‌های آبی است.

✓ رخساره شیست آبی به زون فشار بالا (لاسونیت) و زون فشار پایین (ژادئیت) تقسیم می‌شود.

✓ پامپلی‌تیت نمی‌تواند در زون فشار پایین پایدار باشد، کانی‌های ژادئیت، امفاسیت و آراگونیت در زون فشار بالا پایدار هستند.

✓ گلاکوفان در رخساره شیست آبی پایدار است.

✓ شامل زیر رخساره‌های زیر می‌باشد:

الف) زیر رخساره آلبیت - لاوسونیت

ب) زیر رخساره لاوسونیت - گلاکوفان

**مطالعه کمر بند دگرگونی توسط میاشیرو:**

- الف) کمر بند داخلی (طرف قاره): حاوی آندالوزیت - کلدیریت = آبوکوما.  
ب) کمر بند خارجی (طرف اقیانوس): حاوی گلاکوفان - کیانیت و سیلیمانیت = بارووین.

**در محل فرورانش:**

- الف) سرعت فرورانش زیاد ( $P \uparrow$ ): سری ژاده ایت و گلاکوفان  
ب) سرعت فرورانش کم: سری کیانیت و سیلیمانیت (بارووین یا دالراین)  
ج) محل فرورانش سمت قاره ( $T \uparrow$ ): سری آندالوزیت و سیلیمانیت (آبوکوما)

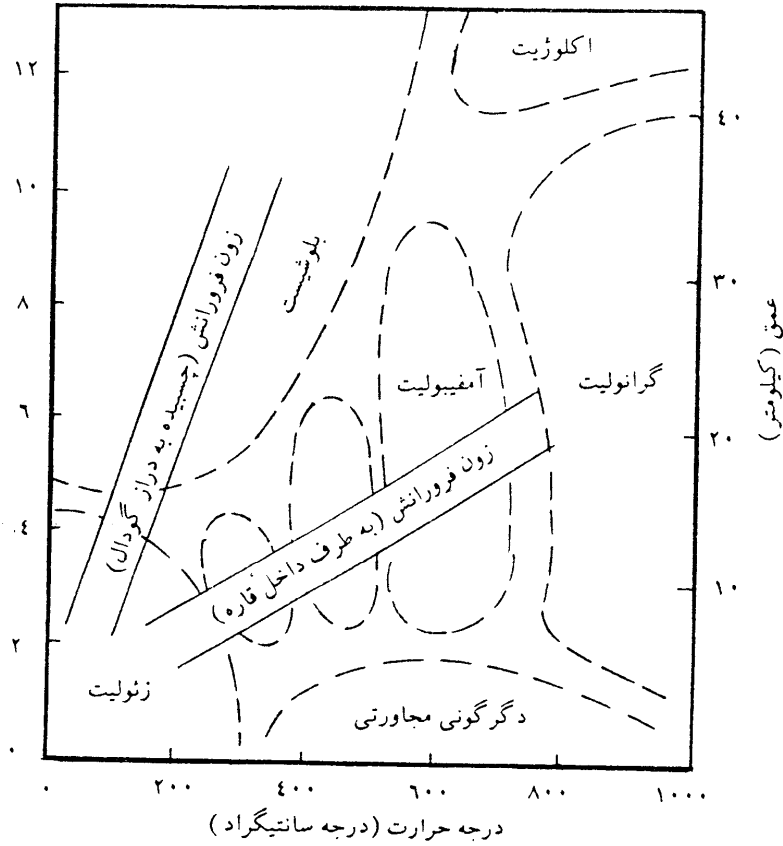
**توجه:**

- I) بارووین: دگرگونی سیلیمانیت - کیانیت  $\leftarrow$  فشار بالا (کانی فشارسنج) و حرارت پایین  
II) آبوکوما: دگرگونی آندالوزیت - کلدیریت  $\leftarrow$  حرارت بالا (کانی حرارتسنج) و فشار پایین

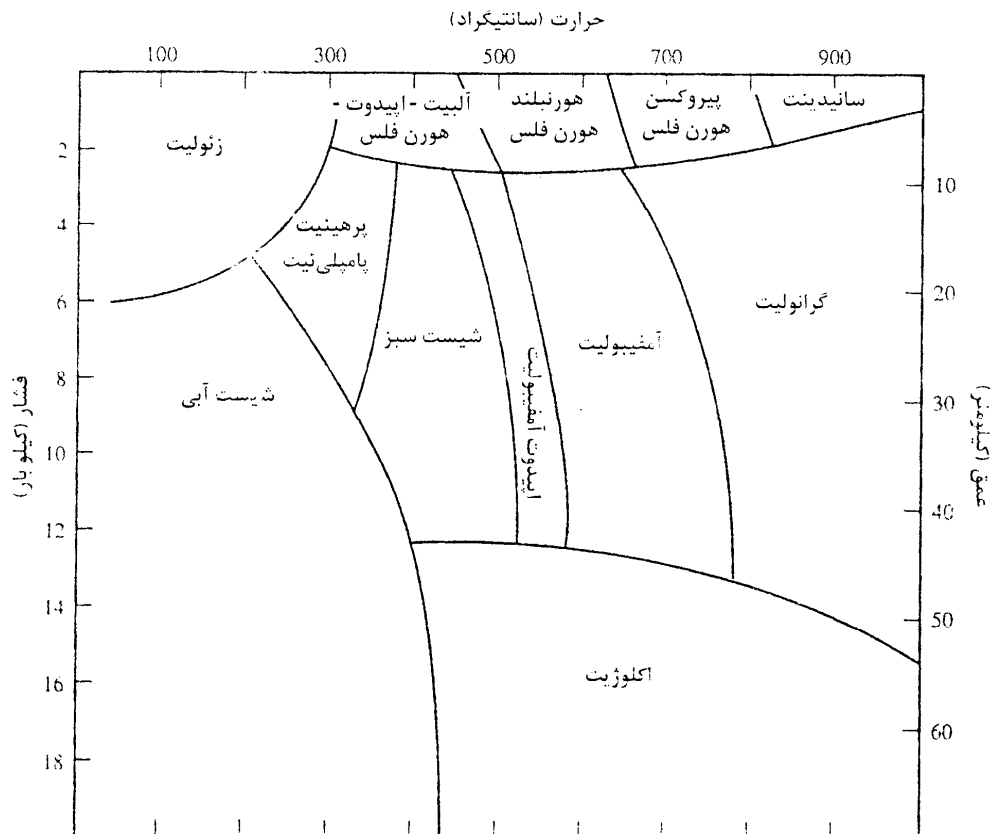
**سری رخساره‌ای به وابستگی بین رخساره‌ها می‌گویند:**

- الف) سری آندالوزیت - سیلیمانیت: فشار کم، حرارت بالا  $\leftarrow$  آبوکوما  
ب) سری سیلیمانیت - دیستن: فشار و حرارت متوسط  $\leftarrow$  بارووین یا دالراین  
ج) سری ژاده ایت - گلاکوفان: فشار زیاد، دما کم مطابق رخساره تدفینی  $\leftarrow$  سری فرانسیسکن

رخساره‌های دگرگونی و سری رخساره‌هایی که در هر یک از نوارها دوگانه دیده می‌شود:



نمودار نمایش محدوده رخساره‌های دگرگونی (بالت و تریسی، ۱۹۹۶):





**بافت و ساخت در سنگ‌های دگرگونی:**

بافت (تکستور) و ساخت (استروکتور)، عموماً در آذرین کاربرد دارند. فابریک عموماً در دگرگونی استفاده می‌شود و عبارت است از بررسی شکل و ترکیب فضایی کانی‌های هر سنگ که شکل اولیه خود را از دست داده و دگرگون شده است. بررسی فابریک: (ساخت + بافت)

الف) ایزوتروپ: دگرگونی همبری ← فشار زیاد مطرح نیست ← گرانوبلاست ← در نمونه دستی ماسیو  
ب) آن ایزوتروپ: دگرگونی ناحیه ای ← فشار جهت دار ← ایجاد فولیاسیون  
بلاست: پیشوند بلاست در سنگ‌های دگرگونی برای مشخص کردن بافت قدیمی سنگ والد مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه کلمه بلاست به صورت پسوند بکار رود معرف بافتی است که بر اثر دگرگونی در سنگ به وجود آمده است.

بلاستوپورفیر ← پورفیر طی آذرین به وجود آمده است  
پورفیروبلاست ← پورفیر طی دگرگونی به وجود آمده است  
کریستالوبلاست: بلور هر کانی که در نتیجه دگرگونی به وجود آید که شامل:  
۱- ایدئوبلاست: بلاست خود شکل  
۲- هیپیدئوبلاست: بلاست نیمه خود شکل  
۳- گزنوبلاست: بلاست بی شکل یا نیمه خود شکل به صورت سوزنی

**توجه:**

الف) بافت فولیاسیون: کانی‌های موازی هم  
ب) ساخت فولیاسیون: لایه‌های موازی هم

**اشکال کلی کانی‌های سنگ دگرگونی:**

- ۱- منشوری: یک بعد بزرگ‌تر از بقیه ابعاد.
- ۲- سوزنی: شبیه منشوری ولی اختلاف ابعاد فوق در آن خیلی زیادتر است. (فراوانی سوزنی و منشوری سبب ایجاد بافت نماتوبلاست می‌شود)
- ۳- تیغه‌ای: بلور دارای سه بعد متفاوت است.
- ۴- صفحه‌ای: دو بعد بزرگ‌تر از بعد سوم می‌باشند.
- ۵- عدسی: بلور در وسط یا میانه ضخیم و در کنارها نازک است.
- ۶- متساوی‌البعاد: ابعاد بلور در همه جهات یکسان است.

**انواع بافت‌های دگرگونی:**

- ۱- گرانوبلاست: کانی‌های تقریباً هم‌اندازه (درشت‌دانه یا ریزدانه)
- ۲- پورفیروبلاست: کانی‌های درشت در زمینه<sup>۴</sup> ای از کانی‌های ریز

- ۳- لپیدوبلاست: گروه میکا فراوان است
- ۴- نماتوبلاست: کانی‌های گروه آمفیبول Hlb و تره موآکتینولیت و یا سیلیمانیت
- ۵- چشمی یا آوگن: فقط در گنایس، فلدسپات آلکالن F یا Plg چشمی است
- ۶- وب یا شبکه‌ای: در سنگ‌های سرپانتینی دیده می‌شود
- ۷- کاتا کلاستیک و میونیتی: در سنگ‌های گسل خورده (کاتا کلاستیک: خردشدگی کم؛ میونیتی: خردشدگی زیاد)
- ۸- موزایکی: بافت استثنائی گرانوبلاست است که در مرمر و کوارتزیت دیده می‌شود
- ۹- حلزونی یا هلستیکی: رشد مواد کربن دار در گارنت
- ۱۰- فیلیتی: سنگی دانه‌ریز و دارای دگرگونی ضعیف (در فیلیت و اسلیت)

**نکات:**

فابریک درهم‌رفته یا مضرسی: متشکل از دانه‌های مساوی و عدسی با مرز مضرسی.  
بافت ساروجی یا مورتار: نوعی بافت میونیتی که به علت خردشدگی ناقص، سنگ دارای دانه‌های ریز و درشت می‌باشد.

**سری کریستالوبلاستی:**

معرف درجه خود شکلی کانی‌های یک سنگ دگرگونی است.

(ارتوسیلیکاتها) اسفن - روتیل ...

سیلیکاتهای زنجیره‌ای (اپیدوت و ...)

سیلیکاتهای صفحه‌ای

(تکتوسیلیکاتها) سیلیکات با شبکه یونی باز (Qtz, Plg و ...)

در سنگ‌های دگرگونی Plg و Qtz بی شکل هستند.

**نکته‌ای درباره ترکیب شیمیایی:**

- ✓ سنگ‌های سرشار از رس (Al) دگرگونی پلیتی (حاوی کردیریت و آندالوزیت)
- ✓ سنگ‌های کربناته رس دار یا کوارتز ← سنگ‌های کالک سیلیکات
- ✓ سنگ‌های آذرین بازیک یا رسوبات (Ca, Mg, Fe) ↑ ← سنگ‌های دگرگونی مافیک.

**نشانه‌های غیر آذرین بودن سنگ اولیه:**

- ✓ وجود کانی‌های استروئید، دیستن، آندالوزیت، سیلیمانیت و ولاستونیت یا
- ✓ اگر کوارتز ۵۰٪ >، موسکوویت ۲۵٪ >، گرونا‌ی کلسیم‌دار ۲۵٪ >، کلسیت ۲۵٪ >، کائولینیت، مونتموریونیت، پیروفیلیت ۲۵٪ >.

✓ نسبت  $Fe/mg$

Mg: سنگ سفید (منشأ غیر آذرین)

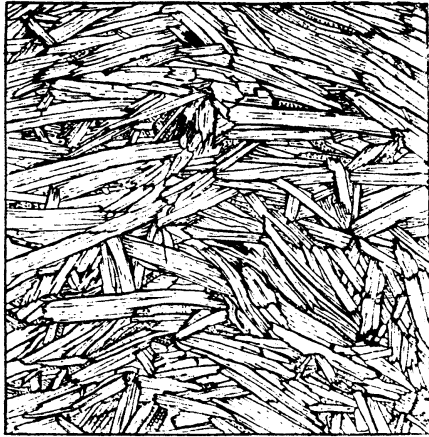
Fe: سنگ تیره (منشأ آذرین)

**توجه:**

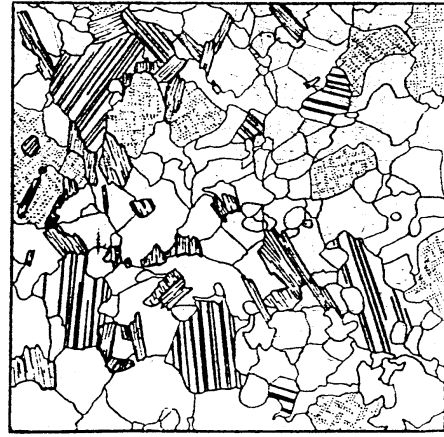
الف) بافت نماتوبلاست؛ سوزنی ( $L \rangle I = S$ )

ب) بافت لپیدوبلاست؛ صفحه‌ای ( $L = I \rangle S$ )

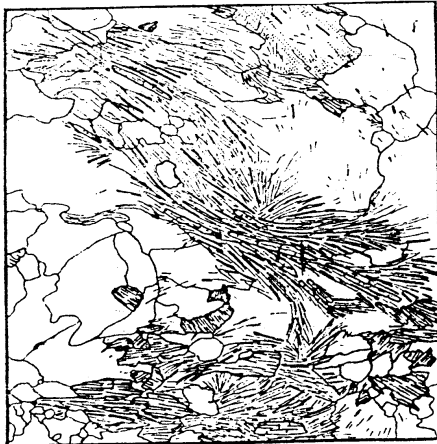
تصاویر بافت‌های دگرگونی:



بافت لپیدو بلاستیک



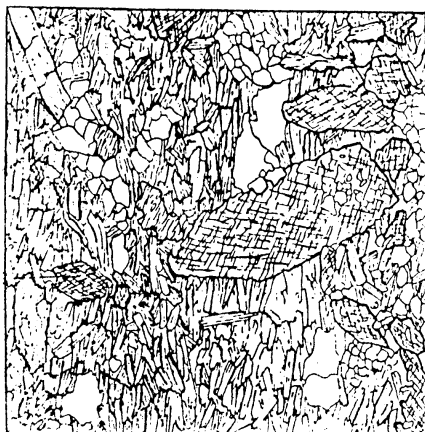
بافت گرانوبلاستیک در گنیس بیوتیت



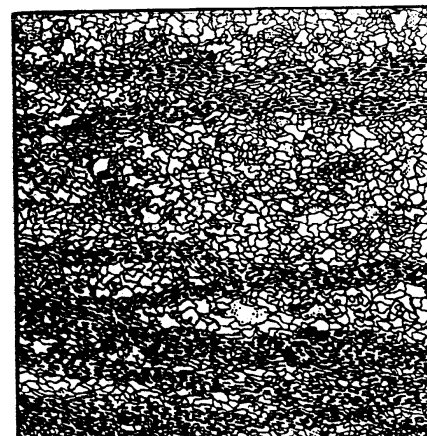
بافت گرانو بلاست و نماتو بلاست



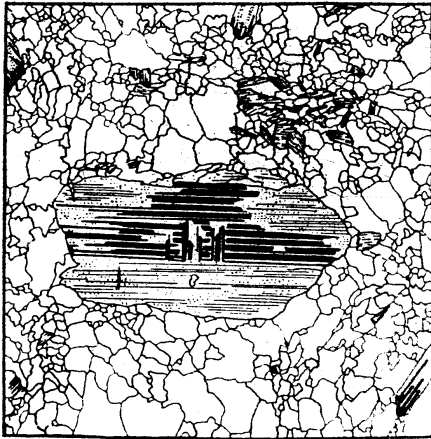
بافت نماتو بلاست



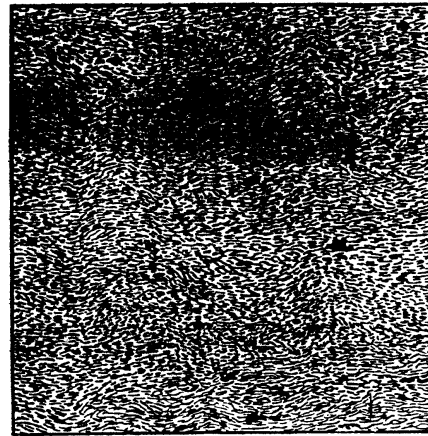
بافت پورفیرو بلاستیک در شیست اکتینوت دار



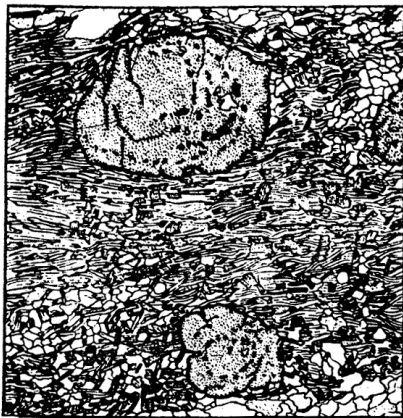
شیست کوارتز و سرسیت دار با بافت گرانوبلاستیک



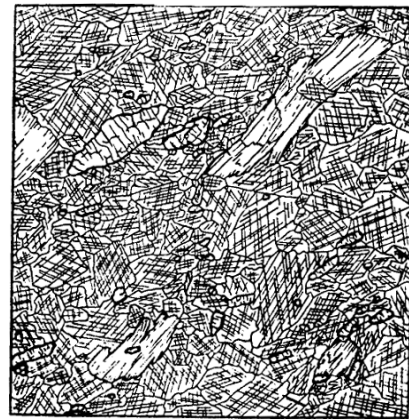
بافت چشمی در گنیس چشمی



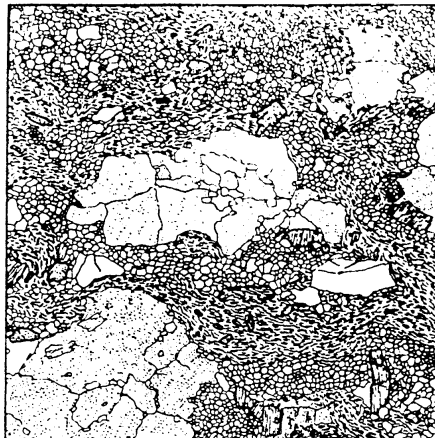
شیست سرسیت دار، بافت فیلیتی



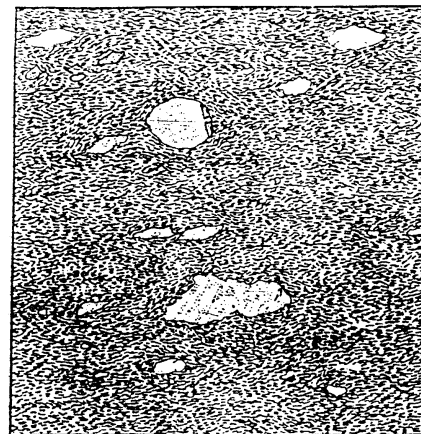
بافت حلزونی (ادخال در گارنت)



مرمرفلو گوپیت دار، بافت موزاییکی



گرانیت با بافت کاتاکلاستیک



میلونیت

❖ بررسی سکانس‌های دگرگونی ناحیه ای:

(۱) سکانس پلیتی:

نام سنگ	تغییرات ساختی و کانی‌شناسی	درجه دگرگونی
اسلیت (سنگ‌لوح) یا آردواز	سنگ پلیت تغییر کانی‌شناسی پیدا نمی‌کند، فقط مقداری تورق در سنگ به وجود می‌آید.	نا دگرگونی
فیلیت یا سرسیت کلریت شیست، تالک شیست، شیست براق و فیلاد	کانی‌های کلریت و تالک رشد می‌کنند و سنگ حالت تورق دارد، پولک‌های Mus مشاهده می‌شود.	(ضعیف) اپی زون
انواع شیست	از این مرحله کانی‌های دگرگونی رشد می‌کند، گارنت، استارولیت، آندالوزیت و کیانیت و ایجاد شیستوزیته	مزوزون (متوسط) محدوده شیست
گنایس سیلیمانیت دار یا گنایس	حالت نواری یا لیتاژ جانشین شیستوزیته می‌گردد، فلدسپاتها با چشم دیده می‌شوند، سیلیمانیت رشد می‌کند، استارولیت آندالوزیت و کیانیت (دیستن) از بین می‌روند.	کاتازون منطقه گنایس
گرانولیت	کلاً فولیاسیون حذف، بیوتیت و سیلیمانیت از بین می‌روند و کانی‌های بی‌آب مثل ارتو کلاز و هیپرستن رشد می‌کنند.	الترازون (بسیار قوی) گرانولیت

تفاوت شیست و گنایس:

- ۱- فولیاسیون در شیست شیستوزیته و فولیاسیون در گنایس لیتاژ یا نواری است.
- ۲- در گنایس فلدسپاتها با چشم قابل رؤیت است.
- ۳- بلور کوارتز در شیست‌ها با ذره‌بین دیده می‌شوند.
- ۴- گنایس در کاتازون و شیست در مزوزون دیده می‌شود.
- ۵- شرایط دگرگونی گنایس قوی‌تر از شیست است.
- ۶- گنایس دارای سیلیمانیت و شیست فاقد آن است.

(۲) سکانس آهکی: آهک بر اثر دگرگونی ناحیه ای مرمر تولید می‌کند

(۳) سکانس آهکی - رسی یا مارنی:

- ۳-۱- منطقه نا دگرگونی: تورق اندک و کربنات‌ها جهت‌یابی می‌گیرند که به این سنگ شیست آهکی یا کالک شیست گویند.
- ۳-۲- منطقه اپی زون: حاوی کانی سبز کلریت، اپیدوت و آمفیبول که به این سنگ شیست سبز یا گرین شیست می‌گویند.

تعریف پرازینیت: نمونه‌ای از شیست سبز (آلبیت + کلریت  $\frac{1}{3}$  + آمفیبول  $\frac{1}{3}$  + اپیدوت  $\frac{1}{3}$ ).

۳-۳- منطقه مزون: حاوی آلبیت + اپیدوت و Hlb که سنگ آمفیبولیت تشکیل می‌شود.

۳-۴- منطقه کاتازون تا الترازون: از دگرگونی مارن سنگ‌های پیروکسنیت (دیوپسید و ولاستونیت) به وجود می‌آید.

۴) **سکانس سنگ‌های آذرین خروجی** (ریولیت ← اسیدی، بازالت ← بازی).

۴-۱- دگرگونی ریولیت یا سنگ‌های خروجی اسیدی:

۴-۱-۱- دگرگونی ضعیف (ابی زون): کانی‌ها فقط خرد می‌شوند و به میلونیت تبدیل می‌گردند.

۴-۱-۲- دگرگونی متوسط (مزوزون): گنایس

۴-۱-۳- دگرگونی متوسط به بالا (کاتازون و الترازون): گرانولیت

۴-۲- دگرگونی بازالت یا سنگ‌های بازیکی خروجی:

مشابه مارن‌ها بوده و به ترتیب شیست سبز، آمفیبولیت و پیروکسنیت از شرایط ضعیف تا قوی در این سنگ‌ها به وجود می‌آید.

۵) **سکانس ماسه‌سنگ‌ها:**

الف) ماسه‌سنگ خالص: کوارتزیت ← بافت گرانوبلاست و موزاییکی

ب) ماسه‌سنگ ناخالص: آركوز (ناخالصی فلدسپات) دگرگونی دوباره ← کوارتزیت

### ❖ بررسی سکانس‌های دگرگونی حرارتی:

۱- سکانس پلیتی:

۱-۱- منطقه شیست های رسی: مقداری تورق حاصل می‌شود.

۱-۲- منطقه شیست های لکه‌دار: تورق از بین می‌رود، آندالوزیت و کردیریت رشد می‌کنند (معادل این زون در دگرگونی ناحیه ای)

۱-۳- منطقه کورنن میکادار یا هورنفلس:

تعریف کرنن: دارای بافت گرانوبلاست، آندالوزیت و کردیریت ← معادل دگرگونی منطقه مزوزون در ناحیه ای.

۱-۴- منطقه کرنن فلدسپات دار: به توده نفوذی کاملاً نزدیک و فاقد کانی آبدار، Mus از بین رفته و به جای آن فلدسپات های پتاسیم (Mic, Orth) جانشین می‌شوند.

Mus + Si ← فلدسپات پتاسیم + آندالوزیت ← سنگ اولیه کائولن

Mus + Si ← فلدسپات پتاسیم + کردیریت ← سنگ اولیه کلریت

۲) **سکانس مارنی یا پلیتی - آهکی:**

در دگرگونی حرارتی مارن‌ها به اسکارن و تاکتیت تبدیل می‌شوند.

اسکارن: دانه‌درشت، تشکیل در سیستم باز ← آلوشیمی ← متاسوماتیسم

تاکتیت: دانه‌ریز تر، تشکیل در سیستم بسته ← ایزوشیمی یا توپوشیمی

۳) **سکانس سنگ‌های آذرین خروجی:**

برخلاف دگرگونی ناحیه ای سنگ‌های خروجی به سنگ خاصی تبدیل نمی‌شوند که شواهد آن عبارت‌اند از: میکرولیت سنگ که در ریولیت و تراکیت، سانیدین و در آندزیت و بازالت، پلاژیوکلاز است.

### ❖ حالت‌های مختلف جهت یافتگی صفحه‌ای:

**لیناژ:** تناوب لایه‌ها با کانی‌شناسی متفاوت که در طی دگرگونی از تفریق موضعی حاصل شده است.  
**کلیواژ شکستگی یا درزه‌ای:** در نتیجه لغزش مکانیکی، سنگ به صورت ورقه‌های نازک و ظریف درمی‌آید.  
**کلیواژ اسلیتی:** در سنگ‌های آفانتیک، فاصله بین سطوح تورق کم و دارای جلا.  
**کلیواژ جریانی یا اسلیتی:** تفاوت آن در تورق آسان‌تر در امتداد سطوح کلیواژ (رخ) می‌باشد. به آن‌ها کلیواژ قبل از تبلور هم می‌گویند.

**کلیواژ لغزشی:** در امتداد سطح تورق، جابه‌جایی نیز صورت گرفته است.

**کلیواژ خطی:** در نتیجه آن سنگ به صورت بخش‌های قطعات باریک ولی طویل ظاهر می‌شود (لینه آسیون).  
شیستوزیته یا فابریک شستی: (فانریتیک)

\* قرار گرفتن کانی‌های ورقه‌ای (میکا) به موازات هم را گویند.

\* کلیه موارد بالا به‌غیر از کلیواژ خطی یا لینه آسیون جزو شیستوزیته است.

\* کلمه فولیاسیون اغلب معادل شیستوزیته است ولی منظور آن نوعی شیستوزیته جریانی است که در پی افزایش درجه حرارت با تبلور مجدد کانی‌ها هم‌زمان است.

### توجه:

۱- میلونیت و کلیواژ اسلیتی: آفانتیک ← دانه‌ریز

۲- شیستوزیته و کلیواژ جریانی: فانریتیک ← دانه‌درشت

\* کلیواژ درزه‌ای و اسلیتی بلور لایه نیست.

**بلور لایه:** انتظام متناوب ورقه‌های کانی در سنگ

**فابریک نواری:** در نتیجه تفریق دگرگونی و رشد بلورهای دانه‌ای با اختلاف در ترکیب لایه‌های سنگ مادر می‌باشد.

**فابریک گنایس:** نوعی فابریک نواری که دارای نوار روشن  $Fld+Qtz$  و نوار تیره  $Mica+Amph+Px$  است.

**فابریک چشمی یا آوگن:** فلدسپات، کوارتز، گرونا به صورت چشم رشد می‌کنند دارای چشم بلاستی می‌باشند.

**فابریک فلیرز:** قرار گرفتن توده‌ای عدسی شکل یا لایه اولیه و یا کانی‌های دانه‌ای نسبتاً سالم سنگ در خمیره‌ای از قطعات شدیداً خرد شده را گویند، دارای چشم‌های کلاستی می‌باشند.

**بودیناژ یا فابریک سوسیسی:** ظاهر شدن ستون‌های موازی با مقاطع عدسی شکل در سنگ. علت تشکیل آن قرار گرفتن طبقات مقاوم در داخل طبقات نا مقاوم تحت کشش می‌باشد.

**لینه آسیون:** موازی قرار گرفتن عناصر خطی در سنگ‌های دگرگونی را گویند.

\* در کلیواژ درزه‌ای توازی کانی‌ها موجود نبوده، ولی در کلیواژ اسلیتی دیده می‌شود.

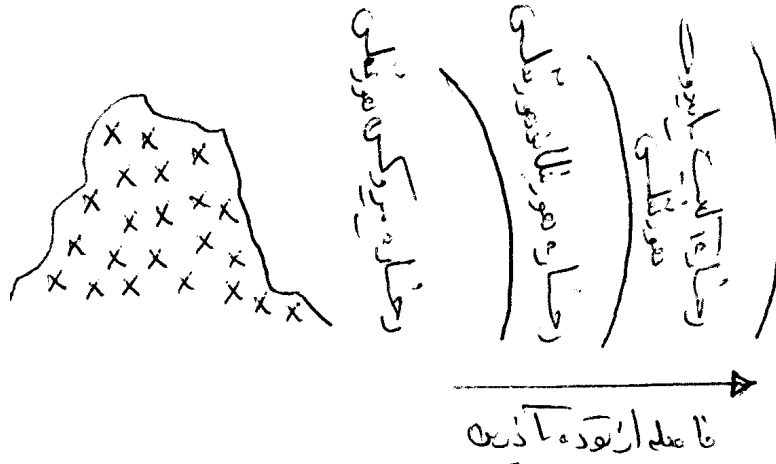




❖ اقسام سنگ‌های دگرگونی:

(۱) سنگ‌های دگرگونی مجاورتی یا همبری:

در این دگرگونی سنگ حاصل هورنفلس و در صورت ترکیب مناسب، شیست لکه‌دار است.  
هورنفلس: سخت، دانه‌ریز و متراکم، همراه با شکستگی صدفی.



به ترتیب فاصله از توده آذرین:

رخساره پیروکسن هورنفلس - رخساره هورنبلند هورنفلس - رخساره آلپیت، اپیدوت هورنفلس

⊗ مشخصات یک دگرگونی مجاورتی:

- ✓ هر چه به توده نزدیک‌تر باشد، دانه‌درشت‌تر و مقاومت بیشتری دارند. اکثر هورنفلس‌ها بافت موزایکی دارند (بافت هورنفلسی یا گرانوبلاستی)
- ✓ بعضی از کانی‌ها مثل آندالوزیت و کردیریت در هورنفلس‌ها به صورت پورفیروبلاست دیده می‌شوند که در این صورت هورنفلسهایی با بافت دوگانه گرانوبلاست و پورفیروبلاست خواهیم داشت.
- ✓ به علت عدم تأثیر جدی فشارهای جهت‌دار بقایای بافت اولیه آن‌ها قابل تشخیص است.
- ✓ شیست یا اسلیت لکه‌دار: اسلیت یا شیستی که در معرض دگرگونی مجاورتی ضعیف قرار بگیرد و با پورفیروبلاستهایی مثل آندالوزیت و کردیریت منظره‌ای گره‌دار یا لکه‌دار به خود بگیرد.
- ✓ شیست‌های لکه‌دار: رخساره هورنبلند هورنفلس (کائولینیت: آندالوزیت، کلریت: کردیریت)

⊗ انواع هورنفلس (بر حسب نوع سنگ مادر):

(۱) هورنفلس‌های پلیتی:

- ✓ دارای  $Al_2O_3$  بالا که سبب تبلور آندالوزیت و کردیریت (به صورت پورفیروبلاست).
  - ✓ تعیین رخساره با توجه به نوع کانی‌ها:
- ۱- رخساره هورنبلند - هورنفلس: فاقد کلریت، دارای کردیریت به صورت پورفیروبلاست، حضور میکا در این رخساره.

- ۲- رخساره آلپیت - اپیدوت هورنفلس: این رخساره فقط به وسیله شواهد صحرایی از رخساره شیست سبز تفکیک می‌گردد.
- ۳- رخساره پیروکسن هورنفلس: فاقد Mus، دارای (Plg) و فلدسپات.
- ۴- رخساره سانیدینیت: امکان مشاهده هنگامی که سنگ‌های پلیتی به صورت آنکلاو در گدازه بازالتی مشاهده شوند، مقدور است.
- ✓ **بوکیت:** اگر بخشی از آنکلاو مزبور ذوب گردد، سنگی حد واسط آذرین و دگرگونی به وجود می‌آید.
- ✓ در کلیه هورنفلس‌های پلیتی، بیوتیت قرمز قهوه‌ای دیده می‌شوند و Mus فقط در رخساره هورنبلند هورنفلس مشاهده می‌گردد.
- ✓ **آدینول:** آلپیتی شدن رسوبات رسی در حاشیه یک توده نفوذی سرشار از سدیم Na ↑.
- ✓ **آرژیلیت:** آفانتیک، دارای شکستگی صدفی، بدون جهت یافتگی که در اثر تبلور مجدد مادستون به وجود می‌آید.

#### ۲) هورنفلس‌های کوارتز و فلدسپاتی:

- ✓ کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم دار از کانی‌های عمده ماسه‌سنگ و سنگ آذرین سیلیس دار (ریولیت، داسیت و...) می‌باشد. این کانی‌ها در رخساره‌های پیروکسن هورنفلس و هورنبلند هورنفلس پایدار است. پس هورنفلس‌های حاصل از این سنگ‌ها اساساً بافت موزاییکی گرانوبلاستیک داشته و در آن کوارتز و فلدسپات وجود دارد.
- ✓ کوارتزیت‌ها:
- به‌طور کلی از دگرگونی سنگ‌های رسوبی به وجود می‌آیند. در همه رخساره‌ها به‌غیر از رخساره سانیدینیت پایدار است. بافت آن موزاییکی، حاصل دگرگونی مجاورتی (فاقد فولیاسیون) و دگرگونی ناحیه ای (دارای فولیاسیون).
- ✓ کوارتزیت خالص حالت ماسیو داشته و حالت شیستی در آن‌ها کم دیده می‌شود.
- ✓ در کوارتزیت:
- ناخالصی رسی: تبلور کلریت و Mus
- ناخالصی آهک: سیلیکات‌های کلسیم و منیزیم
- ✓ کوارتزیت:
- گارنت و ترمولیت - اکتینولیت: معرف درجه شدید دگرگونی
- اپیدوت دار: معرف درجه ضعیف دگرگونی
- ✓ کوارتزیت:

کلسیم‌دار: اسفن (Ti)

بدون کلسیم: روتیل

✓ ناخالصی رسی:

۱- در درجه ضعیف: ایجاد میکا

۲- در درجه قوی: ایجاد گرونا

۳) هورنفلس های آهکی:

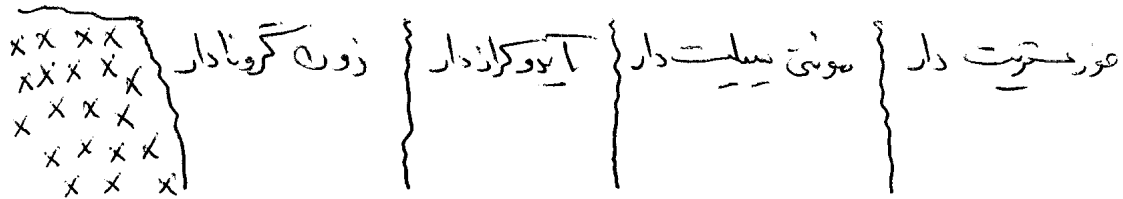
مرمر یا سیپولن: سنگ آهک دگرگون شده دارای فابریک گرانوبلاستی و شاید فولیاسیون

۴) هورنفلس کالک سیلیکات یا اسکارن:

ایجاد بر اثر دگرگونی آهک رس دار و مارن

۴-۱- تاکتیت: دگرگونی مجاورتی و متاسوماتیسم سنگ‌های کربناته، بافت آن دانه‌درشت و موزاییکی، حاوی گرونا، Px، اپیدوت، ولاستونیت.

۴-۲- اسکارن: متاسوماتیسم حاصل از آهک، شامل آهن سه‌ظرفیتی و سیلیکات Mg دار، در محل تماس توده نفوذی گرم با سنگ آهک مجاور به وجود می‌آیند.



✓ با توجه به ترکیب سنگ‌های آهکی اسکارن منیزیم دار که سنگ آهک دولومیت است.

اسکارن آهکی که سنگ مجاور از نوع کربنات کلسیم است.

✓ گرایزن: مجموعه گرانوبلاستی از کوارتز و مسکوویت (لپیدولیت) که از متاسوماتیسم گرانیته‌ها به وجود می‌آید (حاوی فلئورین بالا)

✓ توجه: هورنفلس پگماتیته = کالک سیلیکاته‌ها = اسکارن = نهشته پیرومتاسوماتیک.

۵) هورنفلس های بازیک:

چنانچه سنگ بازیک در معرض دگرگونی شدید قرار گیرد، دارای بافت موزاییکی، لابرادور، دیوپسید هیپرستن می‌شود.

❖ سنگ‌های دگرگونی دینامیکی (حرکتی = پویا = کاتا کلاستیک)

در نام‌گذاری آن‌ها فابریک دارای اهمیت بالایی می‌باشد.

۱- برش گسلی: قطعات درشت درزمینه<sup>۱</sup> ای از ذرات ریزتر.

۲- میلونیت:

الف) پروتومیلونیت: دارای پورفیر و کلاستهای زیاد

ب) الترامیلونیت: دارای پورفیر و کلاستهای اندک یا فاقد آن

۳- کاتاکلازیت: دارای اختصاصات دگرشکلی کاتاکلاستیک اند، ولی فاقد ریزدانگی میلونیت ها می‌باشند.

✓ پزدوتاکی لیت: میلونیت هایی که خردشدگی بسیار شدید دارند و ظاهری شیشه مانند و تیره دارد.

✓ بافت ساروجی یا مورتار: کوارتز دانه درشت، بین آن خرد شده و در بعضی جاها رشد کرده است.

✓ پروتوزن یا پروتوزین: سنگی گرانیتی مخصوص مناطق آلبی و دارای ساخت گنیسی.

✓ گنیس چشمی: هنگامی که فیلیت، اسلیت و شیست تحت دگرگونی حرکتی قرار گیرند، سنگی خرد شده بنام فیلونیت یا اسلیت تکتونیک یا هارت شیفر به وجود می‌آید.

✓ فلیزر گابرو یا فلیزر گرانیت: قطعاتی از کانی‌های اصلی یا دست‌نخورده گابرو گرانیت که درزمینه ای از مواد خرد شده و سائیده شده قرار گرفته و سنگ حالت جریان یافته دارد.

✓ سمی شیست یا نیمه شیست: کاتاکلازیتی که از گریوک ها و ماسه‌سنگ و توف به وجود آید و ظاهری مابین سنگ اصلی و شیست داشته باشد (دارای Qtz و F با حاشیه خرد شده و خاموشی موجی).

### ❖ سنگ‌های دگرگونی اصابتی یا ضربه‌ای (شهاب‌سنگ‌ها):

۱- سوئویت: قطعات شیشه آن کم است و بیشتر قطعات خرده‌سنگی دارند. تشکیل در نتیجه برخورد و دگرگونی ضربه‌ای، بخش ذوب شده سیمان را تشکیل و بخش ذوب نشده را به هم متصل می‌کند.

۲- ایمپکتیت: قطعات شیشه آن زیاد است و کمتر قطعات خرده‌سنگی دارند.

توجه:

در کاتاکلاستیک: قطعات خرد شده کامل

در کاتاکلازیت: قطعات دانه‌ای

میلونیت واقعی، الترامیلونیت می‌باشد.

### ❖ سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای:

درجه دگرگونی ناحیه‌ای ضعیف: رخساره شیست سبز و آمفیبولیت

درجه دگرگونی ناحیه‌ای شدید: رخساره آمفیبولیت، گرانولیت و اکلوزیت

(۱) اسلیت:

دانه‌ریز و عموماً از منشأ رسوبات پلیتی (کانی اصلی Qtz، Col، Mus)

ناخالصی اسلیت	رنگ اسلیت
---------------	-----------

سبز	آهن دو ظرفیتی
قرمز و ارغوانی	آهن سه ظرفیتی
سیاه	پیریت
سیاه	مواد آلی

✓ دگرشکلی پیش از تبلور: کلیواژ اسلیتی و جریانی

✓ دگرشکلی بعد از تبلور: کلیواژ شکستگی یا درزه‌ای

✓ آردواز: معادل فرانسوی اسلیت، معادل فارسی آن سنگ‌لوح، دانه‌ریز و دارای شیستوزیته که از تغییر شکل شیل‌های سیلتی در درجات دگرگونی ضعیف به وجود می‌آید.

✓ سمی شیست: شیست‌های آردوازیه که نوعی آردواز با شیستوزیته بسیار ظریف است، از نظر دگرگونی بین سنگ‌های پلیتی (دگرگون نشده) و اسلیت قرار می‌گیرند.

### (۲) فیلیت:

دانه‌درشت تر از اسلیت‌ها، حاوی سرسیت، کوارتز و کلریت.

فیلاذ (فرانسوی): شیست دگرگون شده سرشار از میکا.

فیلیت گرافیتی: حاصل دگرگونی شیل‌های زغال دار می‌باشد.

### (۳) شیست‌ها:

سنگ دگرگونی فولیاسیون دار که کانی‌های آن با چشم قابل تشخیص باشد.

### انواع شیست‌ها:

۱- میکا شیست: دگرگونی رسوبات رسی

۲- کالک شیست: دگرگونی کربنات‌ها

۳- شیست سبز: سنگ‌های بازیگ و نیمه بازیگ در حرارت کم

۴- شیست منیزیوم دار: دگرگونی سنگ‌های اولترابازیک (آمفیبول آن عمدتاً تره مواکتینولیت)

۵- شیست گلاکوفان دار: بیشتر با توده‌های نفوذی سنگ‌های سرپانتیتی همراه هستند

۶- شیست آبی: از دگرگونی سنگ‌هایی که با گودال اقیانوسی در ارتباط اند دیده می‌شود

### نکات:

- حضور استروئید معرف آهن زیاد در محیط است.
- کانی‌های غیر استرسی: کردیریت، آندالوزیت
- کانی استرسی: استروئید، گرونا
- پوازیبیت: نوعی شیست سبز دارای اکتینوت یا هورنبلند سبز، کلریت و اپیدوت با نسبت تقریباً مساوی و تقریباً فاقد کوارتز.
- کانی سرپانتین تمام شیست‌های منیزیوم دار از نوع آنتی گوریت است.
- آمفیبول عمده شیست‌های منیزیوم دار اکتینوت سبز کم رنگ یا تره مولیت بی‌رنگ است.

## ۴- آمفیبولیت‌ها (Hlb + Plg)

از دگرگونی سنگ‌های آذرین بازیک در حد رخساره شیبست سبز، گرینستون یا سنگ سبز به وجود می‌آید که سنگی آفانتیک است.

✓ آمفیبولیت از منشأ:

۱- سنگ‌های آذرین بازیک:  $Hlb = Plg$

۲- سنگ‌های کربناته ناخالص:  $Hlb > Plg$

۳- سنگ‌های الترابازیک: فاقد Plg می‌باشد

✓ اپی دیوریت: آمفیبول از منشأ گابرو یا دیاباز، به شرط آنکه ساخت درونی آن چندان تغییر نیافته و فولیاسیون آن ضعیف باشد.

✓ آمفیبولیت شیبستی: سنگی دگرگونی دارای Plg, Hlb و دارای فولیاسیون ظریف.

## ۵) گنیس‌ها:

✓ سنگ‌های دگرگونی فلدسپات دار، دارای فولیاسیون، توجه داشته باشید که در هر رخساره که فلدسپات در آن پایدار باشد، گنیس به وجود می‌آید.

✓ تقسیم‌بندی گنیس‌ها با توجه به دانه‌بندی و ترکیب کانی‌شناسی:

۱- هموزن: پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت یکنواخت دارد.

۲- هتروژن: پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت یکنواخت ندارد.

✓ حضور فلدسپات با Mus در گنیس دلیل متاسوماتوز است.

## ✓ انواع گنیس:

۱- گنیس کربندون دار: از دگرگونی سنگ‌های بوکسیتی یا لاتریتی بوجود می‌آیند.

۲- گنیس دیستن دار: فشار بالا و حرارت کم نسبت به گنیس سیلیمانیت دار.

۳- گنیس کردیریت دار: معرف درجه شدید دگرگونی سنگ‌های رسی غنی از کلریت و مونت موریونیت است و غالباً همراه سیلیمانیت است.

۴- گنیس گروندار: حاوی آلماندن و پیروپ Mg دار

۵- گنیس گرافیتی: حاوی پیریت

۶- گنیس پیروکسن دار: دگرگونی سنگ‌های آذرین بازیک در رخساره گرانولیت که حاوی کانی‌های بی‌آب بوده و به آن گرانولیت بازیک هم می‌گویند.

## ۶) گرانولیت‌ها:

گرانولیت سنگی حاوی کانی‌های بی‌آب، فاقد فولیاسیون و دارای منشأ پلیتی است.

✓ گرانوفلس: سنگ‌های توده‌ای شکل با فابریک گرانوبلاستی.

✓ گرانولیت بازیک: گنیسی حاوی پیروکسن و کانی‌های بی‌آب.

✓ لپی تنیت: گنایسی فاقد کانی‌های میکایی و فقیر از Fe و Mg.

✓ به انواع دانه‌ریز لپی تنیت، هالفلیتتا گویند.

✓ گرانولیت گنایس پیروکسن دار: معادل آذرین بازیگ، با کانی بی‌آب

✓ گرانولیت گنایس شارنوکیته: معادل آذرین اسیدی، با کانی آبدار

(۷) شارنوکیته یا چارنوکیته:

گرانیت هپیرستن دار، در حد رخساره گرانولیت (حرارت و فشار زیاد)

✓ سری شارنوکیته: سنگ‌های دارای ترکیب گرانیت تا گرانودیوریت، دارای بافت گرانوبلاستی و

کانی‌های Fe و Mg دار بی‌آب (Opx + Cpx)

✓ توجه: آندربیت ← چنانچه  $Plg > Fld(K)$

✓ رشته‌های موئی روتیل در بلور کوارتز از مشخصات شارنوکیته می‌باشد.

(۸) اکلوزیت:

✓ سنگی به صورت آنکلاو در کیمبرلیت یا بازالتها

✓ شامل: گارنت پیروپ + پیروکسن اومفاسیت + دیوپسید ± روتیل

✓ حاشیه کیفیتی: حاشیه هم‌رشدی از Hlb و Plg که در اکلوزیت در اثر دگرگونی قهقرایی

وجود می‌آید.

✓ سری شارنوکیته:

۱- فلدسپات پتاسیم = شارنوکیته  $F(k) > Plg$

۲- فلدسپات سدیم = آندربیت  $Plg > F(k)$

### ❖ سنگ‌های مربوط به دگرگونی زیر کف اقیانوسی:

✓ رخساره پره‌نیت - پامپلی‌تیت در این منطقه اصلاً وجود ندارد.

✓ وجود اسمکتیت به جای خمیره شیشه‌ای در بازالت مشخص‌کننده ضعیف‌ترین درجه دگرگونی است.

✓ در دگرگونی درجه ضعیف به جای اسمکتیت، کوارتز و کلریت داریم.

✓ در دگرگونی درجه متوسط هورنبلند جای آکتینوت را می‌گیرد، کلریت محو می‌شود + دیوپسید (Cpx).

✓ متابازالت آفانتیک: دانه‌ها قابل تشخیص نیست ← گرینستون

✓ متابازالت فانریتیک: دانه‌ها قابل تشخیص است ← آمفیبولیت

✓ اسپیلیت: یک گرینستون دارای بافت بازالتی با کانی‌های درجه دگرگونی ضعیف و دارای آثاری از پیروکسن

سنگ اولیه است.

✓ سرپانتینیت‌ها: سنگ‌های مجموعه افیولیتی (پریدوتیت، دونیت، هارزبورژیت) با درجات متفاوت بر اثر پدیده

سرپانتینیتی شدن با درجات متفاوت به سرپانتینیت تبدیل می‌شود.



- ✓ کانی سرپانتینیت از سه کانی بنام آنتیگوریت، لیزاردیت و کریزوتیل ساخته شده که نسبت به هم از نظر شیمیایی و ترکیب ساختمانی متفاوت‌اند (دو کانی اول ورقه‌ای و سومی رشته‌ای است).
- ✓ سرپانتینیت حاوی بروسیت (اگر Si کم باشد) و تالک (اگر Si زیاد باشد).
- ✓ رودنگیت یا رودنژیت: نوعی متاسوماتیسم کلسیک در نتیجه تأثیر سیالات سرشار از کلسیم بر سنگ‌های گابرویی یا دیابازی است.

### ❖ سنگ‌های دگرگونی هیدروترمالی:

- ۱- آلپیتیت: ناشی از متاسوماتیک محلول‌های پس مانده Na دار.
- ۲- آدینول: نفوذ محلول هیدروترمال Na دار در رسوبات رسی که سنگی سرشار از آلپیت می‌سازد.
- ۳- اپیدوتیت یا اپیدوزیت: حاوی اپیدوت و بافت افیتی و از دگرگونی بازالتها و گابروها.
- ۴- پروپیلیتی شدن: در حد رخساره شیست سبز معمولاً از دگرسانی آندزیتها بوجود می‌آید.
- ۵- سرسیتی شدن: خروج عناصر Mg, Ca, Na مربوط به حرارت کم.
- ۶- آرژیلی شدن: در محیط اسیدی، عناصر آلکالی سیلیکات‌ها مانند Ca, k, Na فلدسپاتها از محیط خارج شده و به جای آن کانی رسی بوجود می‌آید.
- ۷- دگرسانی پتاسیک: در مجاورت توده‌ها، در اثر دخالت محلول‌های پتاسیم دار، بعضی از کانی‌ها به ارتوز تبدیل می‌شوند.

### ❖ سنگ‌های درجات دگرگونی بسیار شدید:

#### میگماتیت:

آفاتکسی: معرف درجه شدید دگرگونی می باشد

ذوب آفاتکسی: ماده حاصل از ذوب بر جای بماند: میگماتیت

ماده حاصل از ذوب جابه‌جا شود: گرانیت پالین ژنتیک

۱- بخش گرانیتی (روشن): منقول یا مجموعه روشن یا لوکوسام

۲- بخش گنایسی (تیره): رستیت یا باقیمانده یا ملانوسام یا پالئوسام

#### انواع میگماتیت:

۱- آگماتیک: دارای ساخت برشی

۲- فلیبیتی: دارای رگه

۳- نبولیتی: حالت شبح و ابر مانند

۴- شلیرن: دارای کانی‌های دیرگداز با چین‌های متعدد

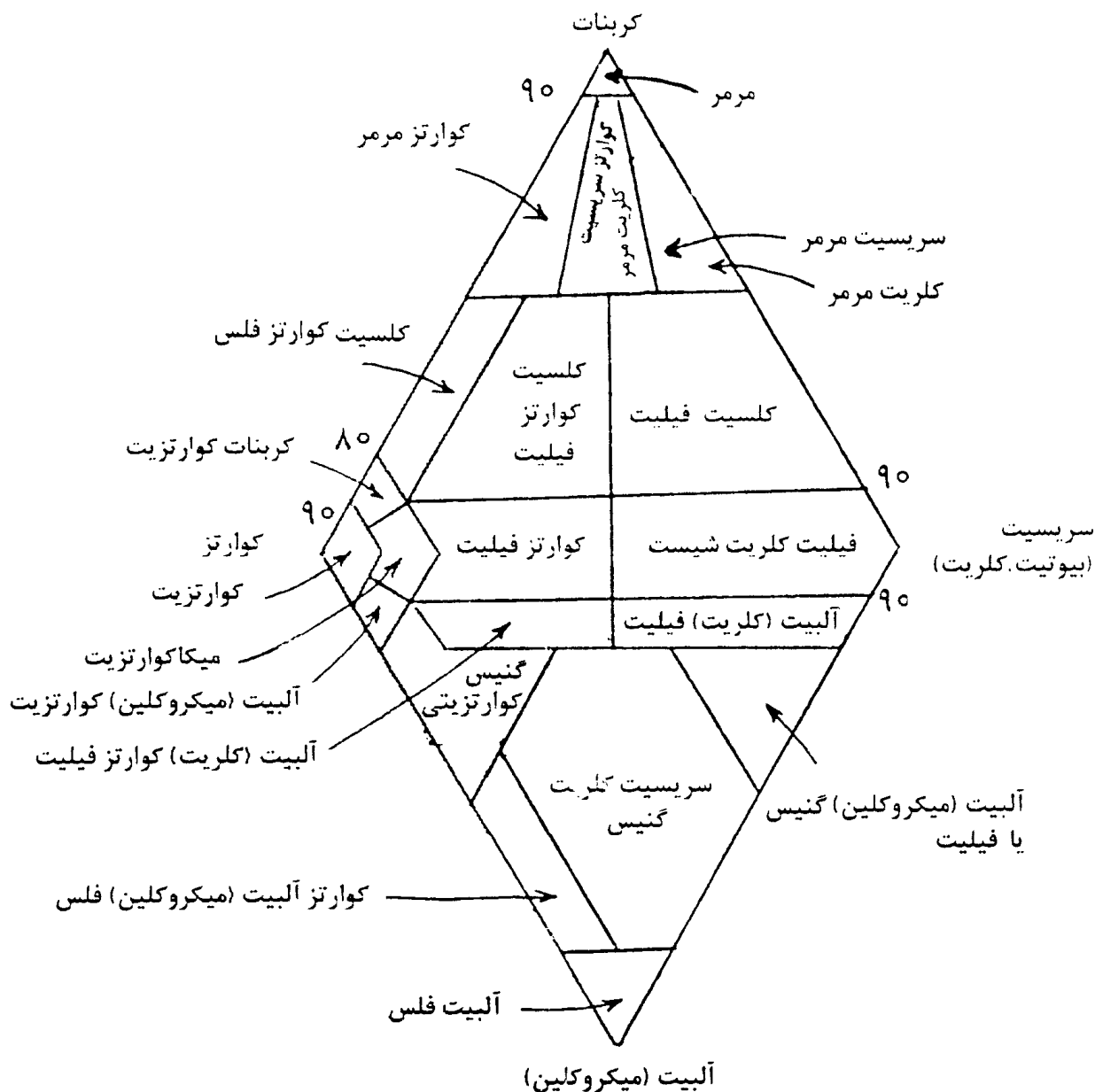
۵- افتالمیتی: پر از اشکال بادامی و چشمی

۶- امبرشیست یا امبرکیت: نوعی میگماتیت با ساخت چشمی است.

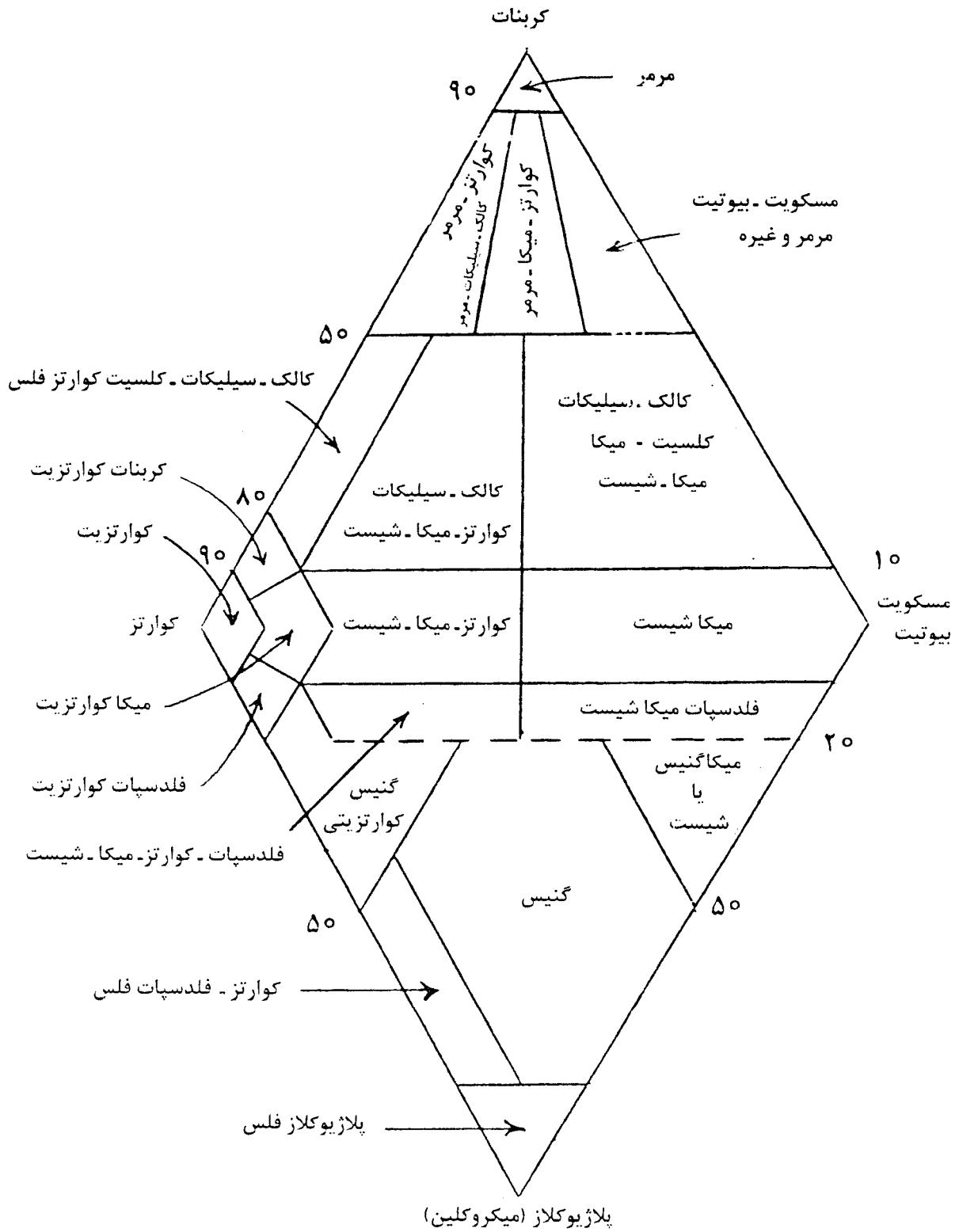
**تعریف متاسوماتیسم:**

هر نوع جانشینی ماده در سنگ که با تغییر ترکیب شیمیایی همراه بوده و به موجب آن کانی‌های قدیمی به حالت محلول از محیط خارج و به جای آن کانی‌های جدیدی بوجود می‌آیند. این دو عمل به قسمی همزمان انجام می‌شود که در طی آن حالت جامد سنگ پیوسته محفوظ می‌ماند.

**طبقه‌بندی سنگ‌های دگرگونی درجه حرارت پایین (وینکلر، ۱۹۷۹):**



طبقه‌بندی سنگ‌های دگرگونی درجه حرارت بالا:



جدول رده‌بندی سنگ‌های دگرگونی بر اساس نوع سنگ مادر، کانی‌های اساسی سازنده و اندازه دانه‌های متشکله:

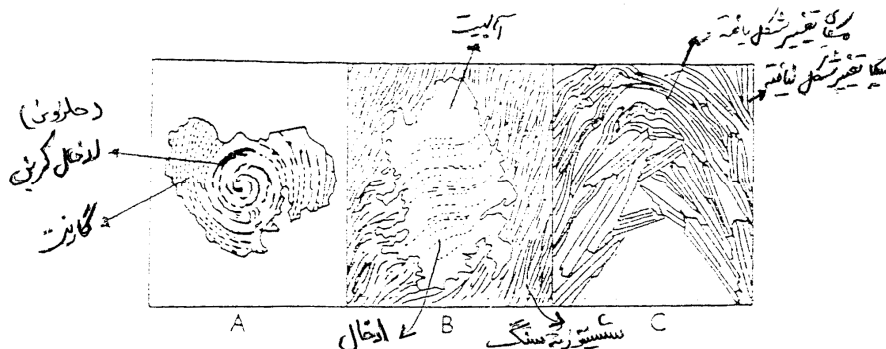
نام سنگ			دانه ریز دانه متوسط بین دانه درشت بزرگتر از یک میلی‌متر	کانی‌های سازنده اصلی	نوع سنگ اولیه
دانه درشت بزرگتر از یک میلی‌متر	دانه متوسط بین دانه درشت بزرگتر از یک میلی‌متر	دانه ریز دانه متوسط بین دانه درشت بزرگتر از یک میلی‌متر			
نواری	یکنواخت	۰/۱ تا ۱ میلی‌متر	اسلیت	فیلسیلیکات، کوارتز	شیل یا سنگ‌های پلیتی
گنیس	شیست	فیلیت	کوارتزیت	کوارتز	ماسه سنگ، سنگ‌های پсамیتی
کوارتزیت نواری گنیس کوارتزیتی	کوارتزیت	کوارتزیت	مرمر	کلسیت، دولومیت	آهک
گنیس آهکی	کالک شیست	فیلیت آهکی	اسلیت آهکی	فیلسیلیکات کلسیت، دولومیت	مارن
گنیس	شیست نیمه پلیتی <sup>۲</sup>	فیلیت نیمه پلیتی <sup>۱</sup>	اسلیت کوارتزی کوارتزیت متورق	کوارتز، فیلسیلیکات	شیل ماسه‌ای، سنگ‌های نیمه پلیتی
گنیس هورنبلاند گنیس پیروکسن	آمفیبولیت	آمفیبولیت	شیست سبز سنگ سبز <sup>۳</sup>	آمفیبول، پلاژیوکلاز فلدسپات	بازالت، گابرو
گنیس گرانیتی	گنیس گرانیتی	گنیس گرانیتی	هالفلینتا <sup>۴</sup>	فلدسپات پتاسیم کوارتز فیلسیلیکات	ریولیت، گرانیت
گنیس اولترا- مافیک	تالک شیست	تالک شیست سنگ صابون <sup>۵</sup> سرپانتینیت	سرپانتینیت	سرپانتین، تالک آمفیبول منیزیم دار	دونیت، پیروکسنیت پریدوتیت

1. Semi- pelitic phyllite    2. Semi- pelitic schist    3. Greenstone    4. Halleflinta

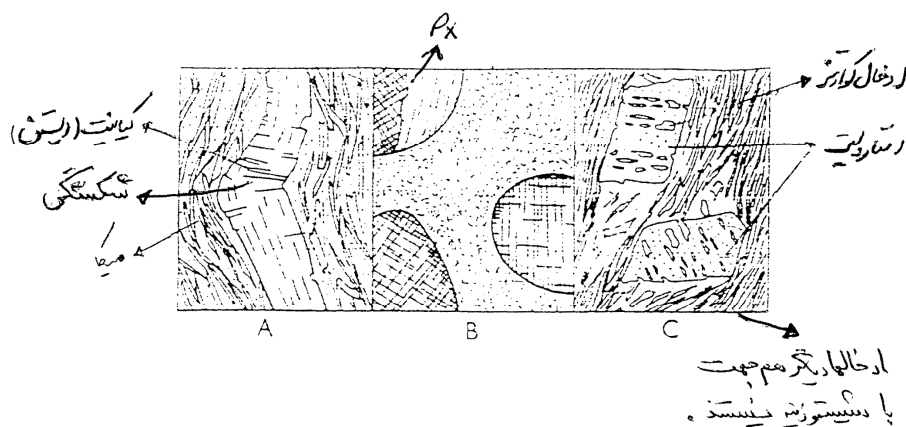
5. Soapstone

### ارتباط دگرگونی با تکتونیک (شواهد)

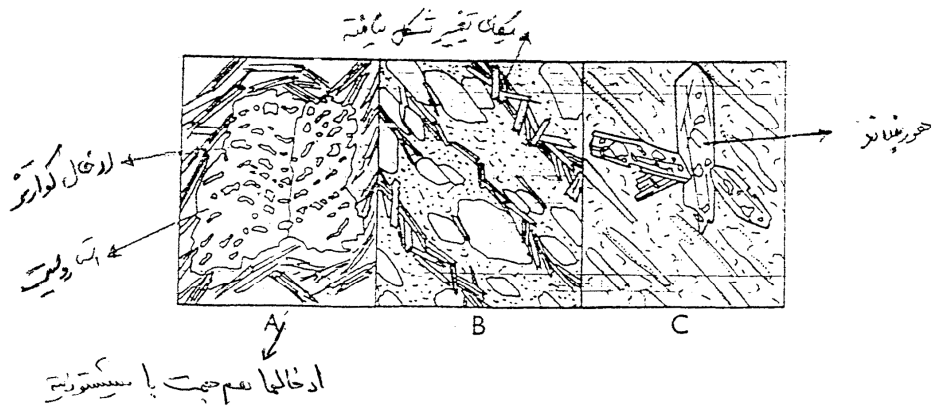
۱- اثر فشار و حرکت همزمان با دگرگونی: وجود بافت حلزونی و ادخال‌های موجود در برخی از کانی‌ها (Ab) هم‌جهت با شیستوزیته سنگ.



۲- اثر فشار و حرکات بعد از تبلور مجدد یا دگرگونی: وجود شکستگی در کیانیت، حالت دوار در پیروکسن‌ها. توجه داشته باشید که جهت یافتگی ادخال‌های موجود در برخی از کانی‌ها مانند استارولیت برخلاف جهت یافتگی شیستوزیته سنگ است.



۳- اثر فشار و حرکات قبل از دگرگونی: ادخال‌های موجود در استارولیت هم‌جهت با شیستوزیته است ولی کانی استارولیت شیستوزیته را قطع می‌کند. میکاها جهت یافتگی خاصی ندارند، کانی‌های غیر دگرگونی مثل Hlb همانند میکاها شیستوزیته سنگ را در جهات مختلف قطع می‌کند.



### نگاهی به نکات سنگ‌شناسی دگرگونی:

واکنش‌های دگرگونی معمولاً به دو شکل دیده می‌شوند:

۱- واکنش‌های دانه-دانه

همان واکنش بین کانی‌های سنگ‌ساز است که این فرایندها بیشتر سبب تغییر ساختمان و در بعضی موارد باعث تغییرات شیمیایی می‌شوند.

۲- واکنش سیال-دانه

یا فرایندهای بین کانی‌ها و سیالات اطراف آن‌ها که بیشتر، تغییرات شیمیایی و به‌ندرت تغییرات ساختمانی دگرگونی را در کنترل دارد.

در اثر فرایند دگرگونی پیوند میانی بعضی از اتم‌های موجود در کانی‌ها شکسته می‌شود و اتم‌ها آرایش جدید می‌یابند؛ به عبارت دیگر در کانی‌های ناپایدار پیوند میان بعضی از اتم‌ها شکسته می‌شود. یون‌های آزاد شده به نقاط دیگری از کانی رفته و یا با کانی‌های دیگر پیوند می‌خورند و در نتیجه ممکن است کانی‌های جدیدی بوجود آیند؛ بنابراین در سنگ‌ها ممکن است در اثر فرایندهای شیمیایی، کانی‌های جدید جایگزین کانی‌های اولیه شود و ممکن است آب و گاز کربنیک نیز آزاد گردد. در اثر عملکرد دگرگونی تمام پیوندها قطع نمی‌شود. در صورتی که پیوند تمام اتم‌ها در کانی‌ها شکسته شود، سنگ ذوب می‌گردد.

از جمله تغییرات فابریکی Fabric changes یا ساختمانی دگرگونی می‌توان به واکنش زیر اشاره کرد:

اسلیت (slate) > شیل (Shale)

در تبدیل شیل به اسلیت بدون انجام تغییرات کانی‌شناسی، یک تغییر ساختمانی روی داده است بدین صورت که کانی‌های رسی که در شیل به صورت اتفاقی پراکنده شده و لامیناسیون را به وجود آورده‌اند در اثر دگرگونی، موازی هم قرار گرفته و تشکیل رخ اسلیتی را داده‌اند.

از تغییرات کانی‌شناسی Mineralogic changes دگرگونی که ممکن است تغییرات فابریکی را به دنبال نداشته باشد، می‌توان به واکنش زیر اشاره کرد:

مسکویت > سربیسیت



تبدیل شیست به گنایس از جمله مرکب Compound changes یا هم زمانی کانی‌شناسی و ساختمان دگرگونی است: گنایس >----- شیست  
تبدیل کانی‌های صفحه‌ای شیست به کانی‌های دانه‌ای گنایس از جمله تغییرات کانی‌شناسی واکنش فوق است (مثل تبدیل مسکوویت به فلدسپار پتاسیم) نتیجه انجام این گونه واکنش‌ها از نظر ساختمانی، تبدیل شیستوزیته Schistosity به گنایسوزیته gneissosity خواهد بود.

### حدود دگرگونی

اصولاً برای آغاز واکنش‌های دگرگونی، شرایط فیزیکی و محیطی را در نظر می‌گیرند که پیشرفته‌تر از دیاژنز است، این شرایط که به‌عنوان شرایط آغاز دگرگونی معرفی می‌شوند عبارت‌اند از:

- حرارت ۲۰۰-۱۵۰ درجه سلسیوس
- فشار ۱/۵-۰/۵ کیلو بار
- عمق ۲-۵ کیلومتر

البته در مناطقی که گردایان ژئوترمال بالاست این عمق به حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری می‌رسد. واضح است که شرایط فوق جهت تمایز دگرگونی دفنی یا ناحیه‌ای از دیاژنز مطرح شده است.  
در طی عمل دیاژنز افزایش عمق و به دنبال آن افزایش شرایط فیزیکی محیط (P,T) باعث انجام واکنش‌های آبدهی Dehydration، متراکم شدن Compaction، سیمانی شدن Cementation و حتی تبلور مجدد Recrystalliation آنها می‌شود که تمام این فرایندها موجب تغییرات ساختمانی و شیمیایی می‌گردد اما چون این واکنش در شرایطی به مراتب پایین‌تر از شرایط دگرگونی به صورت علمی انجام شده است، شرایط تشکیل کانی‌های دگرگونی درجه خیلی پایین (معمولاً خانواده زئولیت) به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است.

### مرز پایینی دگرگونی Lower Limit of metamorphism

این مرز به وسیله ظهور اولین بار کانی‌هایی که معمولاً جزء کانی‌های دیاژنتیک (Diagenetic minerals) نیستند مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال کاریت یا اپیدوت در سنگ‌های مافیک یا مسکوویت در سنگ‌های رسی می‌توانند معرف آغاز واکنش‌های دگرگونی باشند.

از کانی‌های شاخص دیگر می‌توان به کارفولیت آهن و منیزیم دار، ایلیت (مرز دیاژنز و دگرگونی)، لائوسونیت (Lawsonite)، آلپیت، پاراگونیت، پره‌نیت، پومپلی‌ت یا استیلپنوملان

190-200

$H_2O + \text{کوارتز} + \text{لامونیت} \text{ laumntite} \text{ } \xrightarrow{p \ll 3kbar}$  هلندیت (Heulandite)

190-200

لائوسونیت  $\xrightarrow{p \ll 3kbar}$  هلندیت

آب + آلپیت >-----کوارتز + آنالسیم

همچنان که در بالا اشاره شد یکی از شاخص‌های شروع دگرگونی تبلور ایلیت است که غالباً به‌عنوان مرز دیاژنز و دگرگونی بکار می‌رود. اندازه‌گیری پیشرفت تبلور ایلیت (تحول کریستالوگرافی تدریجی) که از فازهای رسی بوجود می‌آید و فازهای رسی نیز در دیاژنز موجود هستند، شاخص شروع پیشرفت دگرگونی است. این تحول از یک مرحله حد واسط عبور می‌کند که به آن آنشی متامورفیسم Anchimetamorphisme می‌گویند. این مرحله نشانه پایان دیاژنز و یا اولین اثرات دگرگونی به حساب می‌آید.

### مرز بالایی دگرگونی Upper Limit of Metamorphism

مرز بالایی دگرگونی را باید جایی دانست که عمل (melting) آغاز می‌شود چرا که در تعریف دگرگونی، شرط انجام واکنش‌های دگرگونی در حالت جامد پذیرفته شده است. واضح است که با توجه به اختلاف کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های منشأ مرز نهایی دگرگونی نمی‌تواند یک مرز کاملاً مشخص (Sharp) باشد، بلکه مسلماً عمق آغاز عمل ذوب در سنگ‌ها که به صورت ذوب بخشی Partial melting است، متفاوت خواهد بود. به‌عنوان مثال سنگ‌های رسی در حرارت کمتر از ۶۵۰ درجه سلسیوس شروع به ذوب می‌کنند درحالی که بسیاری از سنگ‌های مافیک و نیز سنگ‌های کوارتز و فلدسپات آلومین دار در حرارت‌های بالاتر نیز حالت جامد خود را حفظ کرده و در حرارت ۸۰۰ درجه و یا بیشتر شروع به ذوب می‌نمایند. شایان ذکر است که دمای ذوب تقریباً به فشار، ترکیب سنگ و مقدار آب موجود بستگی دارد.

ذوب بخشی گرانیت در ۶۶۰<sup>oC</sup> صورت می‌گیرد = در حضور یک سیال آبدار P=5Kbar

ذوب بخشی سنگ‌های بازالتی ۸۰۰<sup>oC</sup> صورت می‌گیرد = در حضور یک سیال آبدار P=5Kbar

در شرایط خشک (بدون آب) ذوب بخشی برای گرانیت ۱۰۰۰<sup>oC</sup> و برای بازالت ۱۱۲۰<sup>oC</sup> است.

تبدیل آندالوزیت ← سیلیمانیت (کاهش حجم)

تبدیل کیانیت ← سیلیمانیت (افزایش حجم)

پورفیروبلاست یا پورفیروبلاستیک: بلورهای درشت در زمینه‌ای ریز

پورفیروکلاست یا پورفیروکلاستیک: بلورهای درشت خرد شده و به هم جوش خورده‌اند

### گنیس:

✓ ارتوگنیس: منشأ آذرین

✓ پاراگنیس: منشأ رسوبی (ناهمگن تر)

۱- آپلیتی: کوارتز + ارتوز

۲- گرانیتی: کوارتز + میکروکلین



۳- گرانودیوریتی: الیگو کلاز یا آندزین + کوارتز

(آنیت)  $Fe \rightarrow$  بیوتیت  $\leftarrow Mg$  (فلوگوپیت)

(آلماندن)  $Fe \rightarrow$  گرونا  $\leftarrow Mg$  (پیروپ)

✓ تقسیم‌بندی اپی، مزو، کاتا و الترازون بر اساس عمق (زونوگرافی) می باشد.

✓ اگر:  $pf = pl$  درجه زمین فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار است.

✓ اگر:  $pf > pl$  درجه زمین فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار نیست.

✓ متاسوماتیسم انتشاری: حرکت به سمت نقاط کم تمرکز (محدود)

✓ متاسوماتیسم تراوشی: نفوذ به اطراف (گسترده)

✓ دگرگونی مرکب پیش‌رونده یا پروگراد: خروج آب

✓ دگرگونی مرکب پس‌رونده یا رتروگراد: وجود آب

✓ رخساره آمفیبولیت یا کردیریت - آمفیبولیت: فشار کم تا متوسط

✓ رخساره آمفیبولیت یا آلماندن - آمفیبولیت: فشار زیاد

✓ حد نهایی دگرگونی با حضور بخار آب: میگماتیت

✓ حد نهایی دگرگونی بدون بخار آب: گرانولیت

✓ سری‌های رخساره‌ای:

۱- آندالوزیت - سیلیمانیت: حرارت بالا (آبوکوما)

۲- دیستن - سیلیمانیت: حد واسط (بارووین)

۳- ژاده ایت - گلاکوفان: فشار بالا

✓ در منطقه دگرگونی:

۱- بخش بالایی: کلیواژ شکستگی

۲- بخش میانی: شیتوزیته یا کلیواژ جریان

۳- بخش زیرین: فولیاسیون

### آمفیبولیت:

۱- از منشأ سنگ بازیگ  $Hlb = Plg$

۲- از منشأ کربناته ناخالص  $Hlb > Plg$

۳- از منشأ الترابازیگ فاقد  $Plg$

✓ در دگرگونی قهقرایی گارنت تبدیل به  $\leftarrow$  کلریت

✓ در دگرگونی قهقرایی گابروی هیپرستن دار  $\leftarrow$  نوریت

✓ عامل اساسی در تعیین زون دگرگونی، ترکیب پلیتی سنگ مادر است.

- ✓ ساخت گلوله برفی در گرونا، رشد پورفیروبلاست همزمان با دگرگونی است.
- ✓ واژه بلاست (پسوند): تغییرات بافت در حین دگرگونی
- ✓ واژه بلاست (پیشوند): نشانه بافت اولیه دگرگونی
- ✓ اسکارن واکنشی: واکنش محلول‌ها با سنگ (کربناته)
- ✓ اسکارنوئید: فقط تحت تأثیر حرارت (ایزوشیمی)
- ✓ فابریک گنایسها: آن ایزوتروپ و غیر همگن
- ✓ فابریک هورن فلس‌ها: ایزوتروپ و غیر همگن
- ✓ توجه:

بافت غربالی ← جانشینی

عدسی کوارتز ← رشد تراوشی

بافت چشمی ← کنکرسیونی

✓ دیاگرام ACF ← کالک سیلیکات

✓ دیاگرام  $A'FK$  ← متاپلیت (رینهارد)

✓ دیاگرام AFM ← متابازیت (تامپسون)

✓ دیاگرام SCM ← متابازیت

✓ فابریک بلاستی: دگرگونی ناحیه ای؛ فابریک فلیرز: دگرگونی کاتاکلاستی

✓ جانشینی:

گارت ← کلریت

آمفیبول ← پیروکسن

موسکوویت ← آندالوزیت، کیانیت (دیستن)

استروئید ← میکا

ارتوز ← لوسیت

آلیت ← نفلین

✓ رخساره گرانولیت:  $Plg + Opx$  دارای

✓ رخساره اکلوزیت:  $Plg + Cpx$  فاقد

✓ آمفیبول دمای پایین ← اکتینولیت

✓ آمفیبول دمای بالا ← هورنبلند

✓ آمفیبول فشار بالا ← گلاکوفان

✓ در محیط بسته: کلسیت، دولومیت

- ✓ در محیط باز: ترمولیت، اکتینولیت
  - ✓ گرافیت: جلوگیری از افزایش دگرگونی
  - ✓ پیروکسن: باعث کاهش فولیاسیون
  - ✓ ساخت دیاپلکتیک: دگرگونی یا تغییرات در اثر برخورد جسم متحریتی
  - ✓ ساخت اوتاکستیک: ساخت ایگنمبریتی یا جوش خورده
  - ✓ بافت دیابلاستیک: در این بافت کانی‌ها در یکدیگر داخل شده و یکی، دیگری را سوراخ می‌نماید.
  - ✓ بافت نودولوز: کانی‌ها غیرعادی بزرگ، ولی اتورمورف نیستند.
  - ✓ بافت گرانیتوئید: در این بافت Plg اغلب اتورمورف بوده و میکروکلین آن را احاطه می‌کند.
  - ✓ بافت کرنن‌ها: گرانوبلاستیک یا هورن فلسیک
  - ✓ رخساره هورنبلند هورنفلس در حرارت کمتر و فشار بیشتر از رخساره پیروکسن هورنفلس تشکیل می‌شود
- یعنی:
- ✓ رخساره هورنبلند - هورنفلس: فشار بیشتر - حرارت کمتر
  - ✓ رخساره پیروکسن - هورنفلس: فشار کمتر - حرارت بیشتر
  - ✓ کرنن میکادار: منطقه مزوزون
  - ✓ کرنن فلدسپات دار: منطقه کاتازون
  - ✓ ظهور Plg نشانه ← رخساره هورنبلند هورنفلس
  - ✓ ظهور Cpx نشانه ← رخساره آمفیبولیت
  - ✓ در دیاگرام AFM (کوارتز + موسکوویت) یک فاز است.
  - ✓ در دیاگرام Bio، AFM خارج دیاگرام است ←  $K_2O \uparrow$  و فقیر از  $Al_2O_3$
  - ✓ بوکیت (رخساره سانیدینیت):  $Plg + Opx +$  کردیریت + مولیت + خمیره شیشه‌ای.
  - ✓ آبوکوما: آندالوزیت - سیلیمانیت
  - ✓ آبوکوما: آندالوزیت - کردیریت
  - ✓ معادل‌های تیپ دگرگونی وینکلر:
- حرارتی ← مجاورتی
- تدفینی یا انباشتی ← لائوسونیت - گلاکوفان
- نوع بارو ← دیستن ← سیلیمانیت (فشار بالا) ← به سمت خارج قاره
- نوع آبوکوما ← آندالوزیت - سیلیمانیت (حرارت بالا) ← به سمت داخل قاره
- ✓ ساخت در آذرین: در مقیاس وسیع مطرح است.
  - ✓ ساخت در دگرگونی: در مقیاس دستی مطرح است.

## نکات سنگ‌شناسی دگرگونی

- ✓ سنگ دگرگونی سنگی است که از تغییر شکل سنگ‌های قبلی در حالت جامد به علت تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی پدید می‌آیند. دگرگونی پاسخ سنگ در مقابل تغییرات محیط است.
- ✓ دگرگونی در حد بین دیاژنز، هوازدگی و ذوب قرار دارد.
- ✓ ظهور میگماتیت حد بین ماگماتیسیم و دگرگونی درجات شدید است.
- ✓ شرایط هوازدگی عبارت‌اند از حرارت کمتر از ۱۵۰ درجه و فشار کمتر یا مساوی ۱ کیلو بار.
- ✓ ظهور کانی‌های لومونتیت، لائوسونیت، گلاکوفان و پاراگونیت را شروع دگرگونی می‌دانند که آغاز دگرگونی به ترکیب اولیه سنگ بستگی دارد.
- ✓ پلی مورفیسیم یا چندشکلی حالتی است که در آن یک ماده تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت به بیش از یک شکل متبلور می‌شود.
- ✓ در دگرگونی شدید اکلوژیت، شارنوکیت (گرانولیت اسیدی) و آمفیبولیت را داریم و حد بالایی دگرگونی میگماتیت و گرانیت است.
- ✓ پایدارترین حالت پلی مورف زمانی است که کمترین انرژی را دارد.
- ✓ حالت متاستیبل حالتی است که طی آن یکی از فرم‌های متبلور در خارج از محدوده پایداری خود ظهور پیدا می‌کند و این به علت شرایط محیط شیمیایی است.
- ✓ پارامورفیسیم زمانی است که یک کانی در اثر تغییرات فشار و حرارت بدون آنکه شکل خارجی آن عوض شود به کانی دیگری تبدیل می‌شود.
- ✓ بر اثر واکنش‌های ناکامل در حالت جامد هاله‌ای از کانی‌های پایدار در اطراف کانی‌های ناپایدار را فرا می‌گیرد.
- ✓ با افزایش فشار کانی‌هایی با حجم کمتر (پیروکسن و اسپینل) و با افزایش حرارت کانی‌هایی با حجم بیشتر (پلاژیوکلازها) تولید می‌شوند.
- ✓ در تعادل دگرگونی تعداد کانی‌های اصلی سنگ محدود می‌شود.
- ✓ پاراژنز مجموعه‌ای از کانی‌هایی را که در شرایط شیمیایی و ترمودینامیکی مشابه ظاهر می‌شوند را گویند، این کانی‌ها دارای پایداری مشابهی نیز می‌باشند.
- ✓ در تعادل پاراژنزی مرز کانی‌ها مشخص است و کانی‌ها تبلور مجدد پیدا کرده‌اند، حالت زونه و جانشینی و تجزیه در کانی‌ها وجود ندارد.

- ✓ در سنگ دگرگونی تمام کانی‌ها همزمان باهم متبلور شده یا تبلور مجدد می‌یابند.
- ✓ دگرگونی بر دو نوع آلو شیمیایی (متاسوماتیسم) که با تغییر ترکیب سنگ و در سیستم باز ایجاد می‌شود و ایزو شیمیایی (توپوشیمیایی) که بدون تغییر ترکیب سنگ و در سیستم بسته رخ می‌دهد، می‌باشد.
- ✓ تبدیل شیست به شیست لکه‌دار (حاوی کربنیت) و سپس شیست نودولی میکادار و تبدیل آن به هورنفلس میکادار مثالی از یک دگرگونی توپوشیمیایی است.
- ✓ دگرگونی سنگ بر اثر تأثیر محلول‌های شیمیایی را متاسوماتوز گویند.
- ✓ قانون گلدشمیت بیان می‌کند که تعداد فازهای (کانی‌های) سنگ دگرگونی کمتر و یا مساوی تعداد اکسیدهای سنگ دگرگونی است.
- ✓ فشار بر چهار نوع است: ۱- همه‌جانبه (لیتواستاتیک) که حاصل وزن طبقات فوقانی است ( $P=d.h.g$ ) ۲- فشار جهت‌دار که چین‌ها و شکستگی‌ها را ایجاد می‌کند و کانی‌های ورقه‌ای را در حالت جهت‌دار قرار می‌دهد. ۳- فشار سیالات که فشار حاصل از سیالات هیدروترمال است و بیشتر در دگرگونی مجاورتی و طی متاسوماتیسم اهمیت پیدا می‌کند ۴- انحلال در اثر فشار که بر اثر فشار جهت‌دار و فشار سیالات رخ می‌دهد.
- ✓ فشار لیتواستاتیک ماده را متراکم کرده و وزن حجمی را زیاد می‌کند، افزایش تراکم و سرعت عبور امواج زلزله و افزایش نقطه ذوب کانی‌ها در اعماق معرف این گفته است.
- ✓ در اعماق زیاد سیالات کم‌ترند و  $P_2 > P_1$  است.
- ✓ جریان حرارتی در قاره‌ها کمتر از اقیانوس‌هاست M.O.R. دارای جریان حرارتی بیشتر از سایر نقاط است و در گودال‌های اقیانوسی کواترنر حداقل است.
- ✓ دگرگونی استاتیک در اثر فرو رفتن سنگ‌ها در اعماق ایجاد می‌شود و کانی‌های جدیدی را بوجود می‌آورد.
- ✓ اگر گرما به سنگ رسوبی برسد کانی‌ها تغییر می‌کنند و اگر به سنگ آذرین یا دگرگونی برسد باعث افزایش دمای سنگ می‌شود.
- ✓ زون‌های دگرگونی که وابسته به عمق است بر سه بخش است:
  - ۱- اپی زون (منطقه سطحی) حرارت کم تا متوسط (بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه)، فشار لیتواستاتیک کم و فشار جهت‌دار شدید و دارای آب زیاد است (اسلیت و فیلیت و سربیسیت و کلریت شیست)
  - ۲- مزوزون (منطقه میانی) حرارت، بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه دارد و فشار لیتواستاتیک و جهت‌دار متوسطی را دارد (شیست‌ها و آمفیبولیت)
  - ۳- کاتازون (منطقه عمقی) دارای فشار لیتواستاتیک و حرارت زیاد (۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه) دارد و خردشدگی حداقل دارد (گنیس و گرانولیت و اکلوزیت و آمفیبولیت درجه بالاتر).
- ✓ استرس یا تنش شدت نیروهای داخلی جسم است ( $P=F/A$ ) و استرین تغییر شکل نسبی حاصل از استرس را گویند.

- ✓ دگرشکلی بر سه نوع است الاستیک یا ارتجاعی، پلاستیک (عدم ارتجاع) و شکننده، که بین حالت الاستیک و پلاستیک را «حد الاستیک» و بین حالت پلاستیک و شکننده را «مقاومت نهایی» گویند.
- ✓ دگرشکلی لغزشی تغییر شکل ماده بدون تغییر حجم را گویند.
- ✓ انواع استرس: ۱- کششی که با افزایش حجم همراه است ۲- فشردگی که با کاهش حجم همراه است و ۳- لغزشی که با تغییر شکل همراه است.
- ✓ ساخت بودین یا سوسیسی بر اثر استرس کششی ایجاد می‌گردد.
- ✓ شکستگی کششی به موازات نیروهای وارده ایجاد می‌شود (مقاومت کمتر).
- ✓ با افزایش فشار همه‌جانبه مقاومت شکنندگی سنگ افزایش پیدا می‌کند (شکل‌پذیری و چین‌خوردگی).
- ✓ خزش در اثر اعمال فشار همه‌جانبه و تحت یک اختلاف تنش ثابت که باعث می‌شود جسم به‌طور پیوسته دگرشکلی پلاستیک نشان دهد.
- ✓ فشار، حرارت، زمان و میزان یکنواختی سنگ‌ها و محلول‌های درون خلل و فرج از عوامل مؤثر در تغییر شکل سنگ‌ها می‌باشند.
- ✓ افزایش حرارت باعث تسریع در تغییر شکل سنگ‌ها می‌شود (در اعماق کم شکننده و در اعماق زیاد پلاستیک).
- ✓ اگر زمان اعمال نیروها کم باشد (تأثیر ناگهانی) در جسم شکنندگی و اگر زمان تأثیر آن زیاد باشد مقاومت سنگ زیاد می‌رود.
- ✓ وجود سیالات در خلل و فرج بر فشار همه‌جانبه تأثیر می‌گذارد و گاهی بعضی کانی‌ها حل شده و برخی دیگر جایگزین می‌شوند.
- ✓ سنگ‌های یکنواخت در سه جهت فضایی ایزوتروپ عمل کرده و سنگ‌های لایه‌ای آنیزوتروپ اند.
- ✓ تغییر شکل شکننده به نوع و ترکیب شیمیایی سنگ و مقاومت آن‌ها بستگی دارد.
- ✓ در حالت تعادل برآیند نیروهای جاذبه و دافعه بین اتم‌ها صفر است (کانی متبلور کمترین انرژی را دارد).
- ✓ مکانیسم‌های عامل تغییر شکل پلاستیک:
  - ۱- لغزش انتقالی (جابجایی اتم‌ها و تغییر شکل خارجی بلور و عدم وجود کانی‌های جدید)
  - ۲- لغزش دوقلو یا ماکل (جابجایی نسبی بخشی از ساختمان که به‌صورت مکانیکی صورت می‌گیرد)
- ✓ تغییر شکل سنگ بر اثر فشار همه‌جانبه و حرارت می‌تواند باعث: ۱- جهت‌یافتگی فیزیکی (شکننده) و تشکیل میلونیت (کاتاکلاستیک) ۲- دگرشکلی شیمیایی که باعث تشکیل کانی‌های ورقه‌ای (لیپیدوبلاستیک) و یا منشوری (نماتوبلاستیک) می‌شود.
- ✓ انتشار یک ماده از محیط پراثری به کم انرژی از سه طریق صورت می‌گیرد: ۱- انتشار از خلال شبکه تبلور ۲- انتشار از طریق قشر خارجی دانه‌ها ۳- از طریق سیالات احاطه‌کننده.



- ✓ مکانیسم‌های عامل جهت یافتگی شامل دگرشکلی پلاستیک شبکه تبلور و پیدایش هسته‌های تبلور و رشد دانه‌ها در جهات معین و چرخش کانی‌های جهت‌دار مثل میکا و آمفیبول و انحلال در اثر فشار (انحلال در فشار زیاد و تبلور در فشار کم)، است.
- ✓ با کاهش انرژی محیط بلورها در حالت جامد رشد کرده (رشد کانی‌های جدید و تغییر کانی‌های قدیمی) و به پایداری بیشتر می‌رسند.
- ✓ دما و واکنش‌های شیمیایی و یا تأثیر همزمان آن‌ها از عوامل مؤثر بر رشد بلورهاست.
- ✓ بافت گرانوبلاستیک حالتی است که در آن بلورهای چندضلعی فشرده به هم کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و در سنگ‌های تک کانی مثل مرمر و آمفیبولیت و کوارتزیت بیشتر دیده می‌شوند.
- ✓ اگر اختلاف انرژی سطحی در جهات مختلف زیاد باشد، بلورها به صورت جهت‌دار رشد می‌کنند (بلورهای ورقه‌ای).
- ✓ با رشد بلورها انرژی سیستم کاهش پیدا می‌کند.
- ✓ مکانیسم‌های رشد کانی‌ها شامل
  - ۱- رشد تراوشی (در فضاها خالی)
  - ۲- رشد کنکرسیونی (کنار زدن بلورهای مجاور)
  - ۳- رشد جانشینی (جابجایی کانی‌ها).
- ✓ بر اثر رشد تراوشی کانی‌ها (تبلور در فضاها خالی) ممکن است سنگ ساخت نواری پیدا کند.
- ✓ ساخت چشمی در اثر رشد کنکرسیونی بلورها بوجود می‌آید.
- ✓ برای تشکیل نطفه یک بلور جدید باید محیط فیزیکی شیمیایی مساعد و فوق اشباع باشد.
- ✓ در اثر تبلور کنکرسیونی به تدریج با رشد بلور به انرژی آزاد بلور جدید اضافه شده و از انرژی آزاد محیط کم می‌شود تا برابر شوند.
- ✓ رشد جانشینی را می‌توان در سه کانی آندالوزیت-کیانیت-سیلیمانیت دید که در آن هدف کاهش انرژی محیط است.
- ✓ در دگرگونی پیش‌رونده، جانشینی موجب کاهش حجم می‌گردد و در دگرگونی قهقرایی جانشینی موجب افزایش حجم شده و فراوان‌تر است.
- ✓ ساخت غربالی یا پوئی کیلوبلاستیک در اثر رشد جانشینی بلورها بوجود می‌آید که در آندالوزیت و کردیریت و گارنت و بیوتیت و استرویتید و آلماندن دیده می‌شود.
- ✓ رشد پورفیرو بلاستها در یکی از سه حالت زیر رخ می‌دهد:
  - ۱- پست تکتونیک، بعد از حادثه تکتونیک تشکیل می‌شوند (شیستوزیته زمینه داخلی و خارجی با هم موازی‌اند)

- ۲- پر تکتونیک، نشانه دو دگرگونی (شیستوزیته داخلی عمود بر خارجی که گاهی با ساخت چشمی همراه است)
- ۳- سین تکتونیک: همزمان با تکتونیک (آنکلوژیونهای داخلی تاب‌خورده که گاهی با ساخت گلوله برفی همراه است).
- ✓ کواتز و ایلمنیت و گرافیت سازندگان شیستوزیته داخلی هستند.
  - ✓ دگرگونی بر دو نوع مجاورتی و ناحیه ای است که مجاورتی محدود بوده و در یک ناحیه خاص بر اثر توده آذرین و یا برخورد سنگ آسمانی ((اصابتی)) رخ می‌دهد و ناحیه ای یا عمومی در منطقه‌ای وسیع عمل کرده و یا به صورت دیناموترمال یا تدفینی (انباشتی) رخ می‌دهد.
  - ✓ دگرگونی ناحیه ای در حاشیه صفحات لیتوسفر (دینامیکی) دیده می‌شود.
  - ✓ در مناطق اپی زون دگرگونی کاتاکلاستیک یا مجاورتی و در کاتازون و مزوزون دگرگونی حرارتی یا متاسوماتوز صورت می‌گیرد.
  - ✓ دگرگونی ناحیه ای یک پلی متامورفیسم است (چند بار دگرگونی).
  - ✓ ترکیب آتشفشانهای قوسی قاره‌ای آندزیت، داسیت و یا ریولیت (اسیدی) و ترکیب آتشفشانهای قوسی اقیانوسی بازالت و یا آندزیت (بازیک) است.
  - ✓ اقسام دگرگونی عبارت‌اند از: اصابتی (ضربه‌ای)، مجاورتی (حرارتی)، دینامیکی (کاتاکلاستیک)، ناحیه ای (دیناموترمال)، انباشتی (تدفینی)، هیدروترمال و زیر کف اقیانوسی.
  - ✓ دگرگونی ضربه‌ای ناشی از برخورد متئوریت یا انفجار هسته‌ای زیرزمینی است.
  - ✓ فشار و حرارت زیاد ناشی از برخورد متئوریت موجب ایجاد مخروط‌های خردشدگی می‌گردد (در سنگ‌های دانه‌ریز).
  - ✓ اگر حجم و وزن و سرعت سنگ آسمانی زیاد باشد موجب ذوب یا تبخیر سنگ می‌گردد.
  - ✓ کانی‌های فشار بالا نظیر کوئزیت و استیشوویت در حد بین ذوب و مخروط‌های خردشدگی تشکیل می‌گردد.
  - ✓ سوئویت پوششی است از مواد پرتابی در محل اصابت متئوریت و به عبارت دیگر سنگی است حاصل دگرگونی اصابتی و ذوب بخشی سنگ.
  - ✓ دگرگونی مجاورتی در پیرامون توده‌های نفوذی با دامنه محدودی ایجاد شده و ایجاد هورنفلس می‌کند که دارای کانی‌های بی‌نظم و ترتیب است.
  - ✓ ضخامت هاله دگرگونی در توده نفوذی درونی بیشتر از گدازه بیرونی است.
  - ✓ ضخامت هاله دگرگونی در پلت و آهک بیشتر از ماسه‌سنگ است.
  - ✓ در مجاورت سنگ‌های پلتنی زون‌های دگرگونی دارای هاله منظم هستند و در مجاورت آهک‌ها بی‌نظم هستند.
  - ✓ میزان آب و تراوایی سنگ میزبان با ضخامت هاله نسبت مستقیم دارد.



- ✓ معمولاً دمای هاله برابر ۶۰٪ دمای توده نفوذی است.
- ✓ حجم توده با ضخامت هاله نسبت مستقیم دارد.
- ✓ هرچه عمق توده کمتر باشد، ضخامت هاله کمتر است.
- ✓ دگرگونی دینامیکی (کاتاکلاستیک) معمولاً با گسل‌ها یا روراندها در ارتباط بوده و در اعماق میلونیت و در سطح برش گسلی را می‌سازد.
- ✓ با افزایش عمق بر اثر حرکات شدید سنگ‌ها به ترتیب خرد شدن، تبلور دوباره و ذوب اتفاق می‌افتد.
- ✓ برش گسلی محل مناسبی برای نفوذ آب می‌باشد که باعث تخریب سنگ‌ها و رسی شدن آن‌ها می‌گردد (ایجاد کوژ گسلی).
- ✓ در سنگ میزبان توده‌ای و مقاوم بر اثر دگرگونی دینامیکی میلونیت (پورفیروکلاستها در خمیره دانه‌ریز) و شیل، اسلیت، شیستها و به‌طور کلی سنگ‌های ورقه‌ای به اسلیت تکتونیک (فیلونیت) و میلونیت یا فیلونیت به پسودوتاکی لیت تبدیل می‌شوند.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای (دیناموترمال) دارای گسترش زیاد بوده و خاص نوارهای کوهزایی است (حرارت و فشار جهت‌دار) و به‌صورت سین تکتونیک رخ می‌دهند.
- ✓ در دگرگونی ناحیه ای شدید ذوب بخشی هم اتفاق می‌افتد.
- ✓ در اثر دگرگونی ناحیه ای در اعماق کم‌خرد شدگی، چین‌خوردگی و روراندها و در اعماق زیاد جابجایی، تبلور مجدد و فابریک‌های آنیزوتروپ ایجاد می‌گردد.
- ✓ هر چه اندازه دانه‌ها درشت‌تر باشد شدت دگرگونی هم بیشتر است.
- ✓ روش بارو، ردیابی و نقشه‌برداری درجات دگرگونی ناحیه ای با استفاده از کانی‌های ردیاب است که منجر به تشخیص زون‌ها می‌شود.
- ✓ از زون کلریت به طرف زون‌های بیوتیت، گرونا، استروئید، کیانیت و سیلیمانیت شدت دگرگونی افزایش می‌یابد.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای معمولاً دارای وسعت زیاد بوده و سین تکتونیک می‌باشد، دارای درجات مختلف دگرگونی است و فابریک آنیزوتروپ ایجاد می‌کند.
- ✓ دگرگونی تدفینی ناشی از ضخامت رسوبات یا سنگ‌های آذرین فوقانی است (فشار همه‌جانبه).
- ✓ در دگرگونی تدفینی ساخت اولیه ثابت بوده ولی ترکیب کانی‌شناسی تغییر می‌کند (تبدیل شیشه به آنالسیم).
- ✓ آثار دگرگونی تدفینی در سنگ‌های آذرآواری شیشه دار مدفون‌شده در اعماق بهتر دیده می‌شود.
- ✓ دگرگونی تدفینی یا استاتیک در اثر فشار سیالات و حرارت رخ می‌دهد.
- ✓ در کف اقیانوس‌ها مجاور (M.O.R. ریفت میان اقیانوسی) دگرگونی دیده می‌شود که ناشی از گرم شدن آب و انحلال گازها و تأثیر بر سنگ‌های مسیر آب است.

✓ اسموکر ستونی از ذرات معلق و بخار آب است که از کف دریا فوران می‌کند.

## برداستی نوین از دگرگونی

### دگرگونی

تعریف دگرگونی یا متامورفیسم: تغییر در ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و ساختار سنگ در حالت جامد چرا؟

تا آن سنگ با محیط فیزیکی و شیمیایی جدید خودسازگاری بهتری پیدا کند.

در تعریف بالا چه عواملی را باید مدنظر قرارداد ۱- کلیه سنگ‌ها (آذرین و رسوبی و دگرگونی) ممکن است دچار این تغییر شوند. ۲- شرایط جدید با شرایط تشکیل اولیه باید متفاوت باشد. ۳- حالت جامد می‌تواند به صورت خمیری هم باشد. ۴- تغییرات سنگ، تغییر در بافت و ساخت و تغییر در نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده می‌باشند. تعریف دگرگونی: پاسخی که هر سنگ در مقابل تغییرات محیط شیمیایی و فیزیکی از خود بروز می‌دهد که این پاسخ به صورت تجدید تبلور کانی‌های قدیمی به دانه‌های جدید، پدیدار شدن کانی‌های نوظهور و تخریب بعضی دیگر یا تغییر در بافت و ساخت.

### حد دگرگونی

چه فرایندهایی را جز دگرگونی محسوب نمی‌کنند؟

۱- هوازدگی ۲- دگرسانی ثانوی ۳- دیاژنز

شرایط دگرگونی: دما:  $150^{\circ}C$  فشار: ۱ kbar

هوازدگی پدیده‌ای تخریبی است که در شرایط کمتر از این شرایط است و دیاژنز پدیده‌ای غیر تخریبی که در شرایط فیزیکی فوق‌اتفاق می‌افتد.

خاتمه دگرگونی: دما- فشار- سیالات- درجه‌ی پویایی و میزان شکل‌پذیری سنگ

محل دگرگونی: از گوشته فوقانی

۱- دما: گرمایی که لازم است دمای ماده‌ای را در فشار ثابت به اندازه ۱ درجه سانتی‌گراد بالا برد، ظرفیت گرمایی (CP) آن ماده است.

به منحنی تغییرات دما با عمق در زیر سطح بخشی از کره زمین منحنی زمین گروه یا ژئوترم گویند.

دما به طرق مختلف در طی دگرگونی نقش ایفا می‌کند:

۱- تغییر سیستم تبلور در کانی‌های پلی‌مورف

۲- از بین بردن آب تبلور کانی‌های آبدار

۳- از بین بردن عامل هیدروکسیل کانی‌ها

۴- تغییر ترکیب شیمیایی برخی کانی‌ها

۲- فشار: انواع فشار: ۱- لیتواستاتیک (PL) یا فشار همه‌جانبه ۲- فشار جهت‌دار (pd) یا استرس ۳- فشار

سیال (PF)

۳- سیالات: سیالات مهمی مثل بخار آب،  $CO_2$  و  $O_2$  و اسید فلئوریک، اسید کلریدریک

آب در محیط‌های دگرگونی یک یا چند منشأ دارد:

- ۱- آبهای جوی: از شکستگی‌های عمیق به داخل زمین نفوذ می‌کنند
- ۲- آبهای محبوس شده: در بین رسوبات
- ۳- آبهای آزاد شده: از شبکه کانیه‌ها هنگام واپاشی و آب‌زدایی آنها
- ۴- آبهای ماگمایی یا فوق بحرانی: در اثر افت فشار ماگماها به علت دمای بالا در دگرگونی سنگ‌ها اثر زیادی دارد.

دگرگونی پیش‌رونده و پس‌رونده:

اگر در ناحیه‌ای دگرگونی بر اثر افزایش فشار و حرارت بوجود آید پیش‌رونده است. در این دگرگونی کانیه‌ها پایداری خود را از دست می‌دهند و کانی‌هایی تشکیل می‌شوند که در شرایط جدید پایدار هستند. در این عمل ممکن است  $CO_2$  و  $O_2$  خارج شوند.

پس‌رونده یا دیافتورز یا قهقرایی: تبدیل کانی‌های درجه بالا به درجه پایین درجات شدت دگرگونی: بین دیاژنز و دگرگونی منطقه حد واسطی و یا بینابینی وجود دارد به نام آنکی زون معرف شروع درجات بسیار ضعیف دگرگونی است. درجه دگرگونی با فشار و حرارت و میزان دگرشکلی مرتبط است؛ اما درجه دگرگونی را با حرارت بیان می‌کنند.

۱۵۰ تا  $300^{\circ}C$  خیلی پایین

۳۰۰ تا  $500^{\circ}C$  پایین

۵۰۰ تا  $650^{\circ}C$  متوسط

۶۵۰ حدود به بالا (شدید)

۸۰۰ حدود خیلی بالا (خیلی شدید)

مثال ۱- چند شکلی یا پلی مورفیسم:

چندشکلی پدیده‌ای است که به‌موجب آن یک ماده ممکن است تحت شرایط فیزیکی متفاوت به بیش از یک شکل متبلور شود.

هر یک از انواع چندشکلی در شرایط خاصی از دما و فشار پدیدارند.

در چندشکلی کدام شکل پایدارتر است؟ شکلی پایدارتر است که در وضعیت فیزیکی خاص نظم و آرایش A اتمی آن با کمترین انرژی ممکن انجام شود.

اهمیت چندشکلی؟ با پیدایی یکی از شکل‌های چندشکلی می‌توان به دما و فشاری که سنگ در آن تشکیل شده پی برد.

تغییر از یک نوع چندشکلی به نوع دیگر به ازای تغییرات فشار و دما ممکن است سریع یا کند و برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر باشد.

بعضی از تغییر و تبدیل‌ها با حضور کاتالیزورها انجام می‌شود. یعنی در تشکیل بعضی چندشکلی‌ها علاوه بر

شرایط فیزیکی، شرایط شیمیایی را نیز باید در نظر گرفت.

پارامورفیسم: اگر یک کانی با تغییرات دما و فشار بدون آنکه شکل خارجیش عوض شود به کانی دیگری تبدیل شود.

متداول‌ترین پلی مورف سنگ دگرگونی:  $Al_2SiO_5$

که به نام آندالوزیت (کانی فشار کم، دما کم)، کیانیت یا دیستن (فشار زیاد، دما کم) سیلیمانیت (کانی فشار و دمای زیاد)

### واکنش‌های ناکامل در حالت جامد

این قبیل واکنش‌ها به صورت هاله‌ی واکنشی در بعضی سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

علل پیدایی هاله‌های واکنشی چیست؟ تغییرات فشار و دمای محیط

افزایش دما موجب پیدایی کانی‌هایی نوظهور با حجم بزرگ‌تر و افزایش فشار موجب پیدایش کانی‌های با وزن حجمی بیشتر و حجم کمتر می‌شود.

### تعادل دگرگونی

بعضی از سنگ‌های دگرگونی دارای ترکیب کانی‌شناختی ساده‌ای هستند یعنی دارای ۲ یا ۳ کانی می‌باشند که طی دگرگونی از نظر ترمودینامیکی به حالت تعادل رسیده است.

سنگی که در مدت‌زمان طولانی تحت تأثیر فشار و حرارت قرار گرفته باشد کانی‌هایی را بوجود می‌آورد که در شرایط جدید پایدار هستند. این کانی‌های نوظهور در شرایط دگرگونی دارای کمترین انرژی پتانسیل شیمیایی‌اند. پاراژنز: مجموعه کانی‌هایی که شرایط تشکیل و پایداری آن‌ها مشابه و از نظر شیمیایی و ترمودینامیکی با هم در تعادل باشند.

در چه شرایطی تعادل پاراژنتیکی برقرار است؟

- ۱- هر یک از کانی‌های مجموعه پاراژنتیکی باید دارای حدود مرز مشخصی باشند که اگر این حد مرز مشخص نباشد نشانه‌ی عدم تعادل یا حصول درجه‌ی بسیار پایین تعادل است.
- ۲- بافت باید در نتیجه تبلور دوباره در سنگ دگرگونی بوجود آید. قطعه‌قطعه شدن نشانه تبلور نیست.
- ۳- در کانیها نباید نشانه زونینگ منطقه‌ای وجود داشته باشد.
- ۴- در کانیها نباید حالت جانیشینی و یا هاله واکنشی وجود داشته باشد.

### محیط دگرگونی

تحولات دگرگونی در حالت جامد صورت می‌گیرد.

بلورهای جدید ضمن رشد خود و با کنار زدن و از بین بردن جانشین مواد قبلی می‌شوند پس روابط بین دانه‌های مختلف تابع جاسازی کانی‌های مختلف است.

فاصله‌ای که در آن مواد آزادانه جابه‌جا می‌شوند نقش مهمی در ساخت سنگ و درجه حفظ‌شدگی یا از بین رفتن ساختمان اولیه‌ی سنگ بازی می‌کند.

در سنگ‌های دگرگونی کانیها با هم متبلور می‌شوند.

شکل هر کانی به چه عواملی بستگی دارد؟

- ۱- قابلیت انعطاف‌پذیری و سهولتی که کانی برای خود جا باز می‌کند
  - ۲- بافت اولیه‌ی سنگ و حضور یک مرحله سیال در مرز بین دانه‌ها
  - ۳- فشارهای وارد در محیط تشکیل سنگ دگرگونی
- برای وقوع واکنش دگرگونی حضور یک فاز سیال ضروری است.

بافت سنگ دگرگونی: نتیجه واکنش‌های پدیده‌ی جان‌شینی و تبادل یونی است. دگرگونی توپوشیمیایی و متاسوماتوز:

دگرگونی سنگ‌ها ممکن است در سیستم باز یا بسته انجام شود.

در سیستم باز: طی عمل دگرگونی ترکیب شیمیایی سنگ تغییر می‌کند زیرا ممکن است مقداری ماده به آن اضافه یا مقداری ماده آن کم شود به این حالت دگرگونی آلویشیمی و شایع‌ترین آن متاسوماتیسم است. در سیستم بسته: ترکیب شیمیایی کل توده قبل از بعد از دگرگونی تغییر نکند به این ترتیب کانیها و ساخت سنگ تغییر نکند به این دگرگونی ایزوشیمی یا توپوشیمیایی گویند.

در هاله از بیرون به داخل، سنگ‌هایی با درجات دگرگونی متفاوت خواهیم داشت که عبارت‌اند از:

(۱) منطقه شیستهای لکه‌دار: بلورهای دانه‌درشت کوردیوریت با واکنش زیر وارد شیست‌ها می‌شوند.

(۲) منطقه شیستهای نودولی میکادار: سنگ حالت شیستی خود را از دست داده و حالت بلورین پیدا می‌کند. ابعاد دانه درشت‌تر شده و بیوتیت جدید بوجود می‌آید.

حذف کلریت برای تولید بیوتیت از مشخصات شیستهای نودولی است.

(۳) هورنفلس آندالوزیت‌دار: بخش درونی‌تر هاله است.

بافت: اولیه سنگ از بین رفته و سنگ متراکم‌تر شده

ساخت: به صورت دانه‌ای یا پورفیروبلاستی است

با پیدایش آندالوزیت مطابق واکنش کوردیریت حذف می‌شود

گاهی در مجاورت توده‌های گرانیتی عمقی، هاله‌ی اضافی دیگری ممکن است دیده شود در این حالت

آندالوزیت ناپایدار است در عوض سیلیمانیت و  $F(k)$  به جای  $Mus$  ظاهر می‌شود.

### دگرشکلی سنگ‌ها

هرگاه جسمی تحت تأثیر نیرویی قرار گیرد در مقاطع مختلف آن نیروهایی موسوم به نیروهای داخلی به وجود می‌آید که شدت آن‌ها تنش (یا استرس) خوانده می‌شود. واحد تنش مانند واحد فشار را از جنس نیرو بر سطح است با این تفاوت که فشار شدت نیرو را در سطح خارجی حجم و تنش شدت نیرو را در سطوح داخلی جسم نشان می‌دهد.

تنش نیرو بر واحد سطح است که سبب دگرشکلی سنگ می‌شود.

واتنش (یا استرین) عبارت از تغییر شکل نسبی است که بر اثر عمل تنش به وجود می‌آید.

بر اثر تنش ماده‌ی جامد تغییر شکل می‌دهد و بعد از رفع تنش جسم تغییر شکل یافته به حالت اول باز می‌گردد.

اگر ماده بدون تغییر حجم، تغییر شکل دهد دگرشکلی را لغزشی یا برشی می‌نامند.

اقسام دگرشکلی اگر جسم تحت تأثیر نیروی (یا نیروها) قرار گیرد سه حالت پیش می‌آید:

۱. با افزایش نیرو، ابتدا جسم حالت ارتجاعی از خود نشان می‌دهد و اگر تنش برداشته شود حجم شکل و

اندازه اولیه خود را از دست می‌دهد. این دگرشکلی از نوع کشسان (یا الاستیک) است (مانند عبور امواج

زلزله از درون زمین).

۲. وقتی مقدار نیرو از حد خاصی تجاوز کند جسم به حالت اولیه بازمی‌گردد در این حالت اگر شکلی خمیری (یا پلاستیک) رخ می‌دهد.

۳. اگر نیرو مدام افزایش یابد جسم‌ها می‌شکنند و دچار دگرشکلی شکننده می‌شوند. بیشترین مقدار تنش که سنگ قبل از شکستن تحمل می‌کند «مقاومت نهایی» آن نامیده می‌شود.

انواع تنش

(۱) نوع کششی که موجب افزایش حجم ماده می‌شود.

(۲) فشردگی که موجب کاهش حجم می‌شود.

(۳) لغزشی که موجب تغییر در شکل ظاهری جسم می‌شود و تغییر در حجم آن نمی‌دهد.

### عوامل مؤثر در تغییر شکل سنگ‌ها

فشار: با افزایش فشار همه‌جانبه مقدار جریان جامد و مقاومت شکنندگی سنگ زیادتر می‌شود.

دما: افزایش دما باعث تسریع تغییر شکل سنگ‌ها می‌شود.

زمان: هر چه نیروی وارد بر سنگ‌ها کم باشد ولی در زمان طولانی اثر کند مقاومت سنگ‌ها زیادتر می‌شود.

### تغییر شکل کانی‌های سنگ

• در اتم‌های بلور در حالت تعادل نیروی جاذبه و دافعه‌ی بین آن‌ها در حد صفر است.

حالت تبلور حالت کمترین انرژی یک جسم جامد است.

دگرشکلی خمیری تحت تأثیر دو سازوکار زیر و در امتداد جهات بلورشناسی به وجود آید:

(۱) لغزشی انتقالی

(۲) لغزش دوقلو یا ماکل

لغزش انتقالی: جابجایی اتم‌هاست در جابجایی بلورشناسی خاص که در نتیجه‌ی آن شکل خارجی بلور تغییر

می‌کند ولی کانی جدیدی به وجود نمی‌آید نتیجه این عمل تغییر در بافت سنگ است.

لغزش دوقلو یا ماکل: به آن کینک باند یا دگرشکلی دوقلو یا دوقلوی مکانیکی هم گفته می‌شود بخشی از

ساختمان بلور نسبت به بخش مجاور جابجا شده ولی نسبت به آن همانند تصویر در آینه به حالت متقارن باقی

می‌ماند.

### ماکل‌های اولیه و ماکل‌های دگرشکلی

ماکل‌های اولیه معمولاً در کانی‌های نظیر آمفیبول، پیروکسینها و فلدسپارها یافت می‌شوند و از تبلور ماده‌ی

مذاب به وجود می‌آیند.

در دماها و تنش‌های حاکم بر دگرگونی درجات پایین و متوسط، امکان تشکیل ماکل اندک است ولی در

کردیریت کم‌وبیش حالت، کلی پدید می‌آید.

### رابطه زمانی بین دگرشکلی و دگرگونی

پور فیروبلاستها نسبت به کانی‌هایی که به صورت دانه‌ریز در زمینه سنگ یافت می‌شوند استحکام بیشتری دارند بنابراین در مقابل عوامل تغییر شکل مقاومت زیادتری از خود نشان می‌دهد.

(۱) رشد پورفیروبلاست بعد از تکتونیک

بنابراین ابتدا سنگ تحت تأثیر تکتونیک قرار گرفته و پس از آن شرایط رشد پورفیروبلاست در آن فراهم شده به این ترتیب بافت پویی کیلوبلاستی در آن به وجود آمده است. بنابراین

- رشد پورفیروبلاست بعد از تکتونیک بوده است.

- بعد از رشد، حادثه دیگری اتفاق نیفتاده است.

کوارتز، ایلمنیت و گرانیت از کانی‌های ویژه‌ای که در تشکیل شیستوزیته داخلی شرکت می‌کنند.

(۲) رشد پورفیروبلاست بین دو تکتونیک

این نوع پورفیروبلاستها یک سری از شیستوزیته قدیمی وجود دارد که با سری شیستوزیته بعدی احاطه می‌شوند.

رشد پورفیروپلاستها قبل از ایجاد شیستوزیته خارجی انجام شده و نشانه‌ای از دو حادثه تکتونیکی است.

(۳) پورفیروبلاستهای سن تکتونیک

اگر انکلوزیونهای موجود در یک پورفیروبلاست حالت تاب‌خورده داشته باشد.

این پورفیروبلاستها همزمان با تکتونیک (سن تکتونیک) اند و نشانه چرخش پورفیروبلاست در ضمن رشد

است.

### اقسام دگرگونی

دو نوع دگرگونی را می‌توان از هم مجزا کرد که فقط از نظر مقیاس با هم متفاوت‌اند:

(۱) انواعی که ابعاد محدود دارند و به یک منطقه خاص وابسته‌اند مانند دگرگونی‌های که در حاشیه یک

توده آذرین (دگرگونی مجاورتی) یا در نتیجه اصابت و برخورد سنگ‌های آسمانی در سطح زمین به وجود می‌آید.

(۲) دگرگونی‌های بزرگ مقیاس و قابل نقشه‌برداری

این نوع دگرگونی را دگرگونی ناحیه‌ای یا عمومی می‌گویند که شامل دیناموترمال متامورفیسم و دگرگونی

تدفینی (انباشتی) است.

دگرگونی اصابتی یا دگرگونی ضربه‌ای عامل امواج ضربه‌ای و تغییرات ناشی از آن‌ها در سنگ‌ها نتیجه برخورد

بسیار سریع شهاب سنگ‌ها است. نوعی دگرگونی دینامیکی محسوب می‌شود که به صورت ساختمان‌های دایره‌ای

شکل یافت می‌شوند. این ساختمان‌ها اساساً در نتیجه برخورد اصابت سنگ‌های آسمانی (متئوریت یا در نتیجه

انفجارهای هسته‌ای زیرزمینی) به وجود می‌آیند.

• اگر حجم و وزن سنگ آسمانی زیاد و سرعت آن نیز زیاد باشد موجب ذوب یا تبخیر سنگ می‌گردد.

• مقدار فشار در مخروط‌های خردشدگی بین ۵ تا ۱۰ کیلوبار و در سنگ‌های ذوب شده در حدود ۶۰

کیلوبار (ناشی از ضربه) تخمین زده شده است.

**دگرگونی مجاورتی یا دگرگونی حرارتی**

این دگرگونی دامنه محدودی دارد به تشکیل سنگ‌های دگرگونی در پیرامون توده‌های نفوذی منجر می‌شود. دما در این نوع دگرگونی نقش اساسی دارد. در دگرگونی‌های مجاورتی غالباً هورنفلس به وجود می‌آید که به علت نبود تنش، کانیها بدون نظم و ترتیب و به‌طور اتفاقی قرار می‌گیرند.

- ضخامت هاله دگرگونی در سنگ‌های پلیتی و آهکی زیادتر از لایه‌های ماسه‌سنگی است و در سنگ‌هایی ماگمایی به حداقل می‌رسد.

ضخامت هاله‌ی دگرگونی در حول‌وحوش یک توده‌ی نفوذی:

(الف) بستگی به وضع هندسی، حجم، نوع توده مذاب و عمق استقرار آن دارد.

(ب) در سنگ‌های میزبان به نوع، دما، وضع لایه‌بندی سیالات یا آب موجود در آن تراوایی آن بستگی دارد. گرمای سنگ‌های مجاور از رابطه زیر به دست می‌آید:

Tr: درجه گرمایی محلی است که قبل از نفوذ توده ماگمایی در آن وجود داشته است.

$$T = 800 \times \frac{60}{100} + Tr$$

- این نوع دگرگونی در مجاورت توده‌های نفوذی یا خروجی آذرین رخ می‌دهد. در سنگ‌های رسوبی مانند شیلها و سنگ آهک‌ها اثر دگرگونی مجاورتی بسیار مشخص است؛ اما اگر سنگ‌ها از پیش در حد درجه‌ی متوسط و بالا شده باشند اثر دگرگونی مجاورتی واضح نخواهد بود. نوعی از دگرگونی مجاورتی، که در دما بالا و در شرایط آتش‌فشانی یا نیمه آتش‌فشانی در محل تماس سنگ میزبان یا زینولیتها با ماگما رخ می‌دهد و با ذوب بخشی همراه است پیرومتامورفیسم نامیده می‌شود.

### دگرگونی دینامیکی یا دگرگونی کاتاکلاستیکی

دگرگونی دینامیکی یا کاتاکلاستیکی در مجاورت گسل‌ها و روراندها رخ می‌دهد و یک فرآیند حاصل از نیروی مکانیکی محض است.

در سطوح فوقانی پوسته زمین سنگ‌ها شکننده‌اند؛ بنابراین وقتی تحت تأثیر حرکت مکانیکی شدید قرار گیرند خرد می‌شود. ولی در سطح عمیق‌تر که دما زیادتر است ممکن است حرکت با تبلور دوباره همراه باشد و در حالت استثنایی حتی ممکن است پدیده ذوب نیز اتفاق افتد (ذوب مالشی - یا اصطکاکی).

- قطعه‌قطعه شدن شدید در سطوح گسل‌ها یا روراندها باعث ایجاد برش گسلی می‌شود.
- این نوع دگرگونی همراه با تغییر شکل‌های شدید تحت تنش‌های برشی قوی در دمای نسبتاً کم است.
- سنگ‌های حاصله معمولاً بدون تورق بوده و برش گسلی، آرد سنگ و تاکیلیت دروغین نامیده می‌شود. این سنگ آفانیتیک بوده و مشابه شیشه‌ی بازالتی سیاه است.
- میلیونیتها را به دلیل همراه بودن با تبلور همزمان با تکتونیک و رشد نئوبلاستها خرده‌سنگ‌های کاتاکلاستیکی به حساب نمی‌آورند.

### دگرگونی ناحیه‌ای یا دیناموترمال متامورفیسم



دگرگونی ناحیه‌ای گسترش زیادی دارد و خاص نوارهای کوهزایی است. در مناطقی که دو صفحه لیتوسفر به هم می‌رسند یعنی در تمام نوارهای بزرگ کوهزایی جهان را مشاهده کرد. این دگرگونی کمابیش با ماگماتیسم همراه است.

سنگ‌های حاصل از این نوع دگرگونی معمولاً دارای فابریک فاقد همراه با جهت یافتگی دانه‌های کانی‌هاست که عمده‌ترین آن‌ها عبارت از فیلیت، شیست و گنیس است.

حد این دگرگونی بسیار وسیع است و از چند صد تا چندین هزار کیلومتر مربع گسترش دارد. عامل اصلی این دگرگونی فشارهای جهت‌دار است که مسلماً دما نیز در آن نقش دارد. میزان دما در این دگرگونی گاهی به ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار فشار بین ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بار می‌رسد. فشار جهت‌دار موجب جهت یافتگی کانیها می‌شود.

• نیروهای کوهزایی موجب خردشدگی، چین‌خوردگی و رواندگی می‌شوند ولی در ترازهای زیرین موجب جابجایی، تبلور مجدد کانیها در حالت جامد می‌شوند. مشخصات کلی دگرگونی ناحیه‌ای یا دیناموترمال متامورفیسم

- وسعت و گسترش زیاد
- همزمانی با تکتونیک (سین تکتونیک)
- دارا بودن فابریک انیزوتروپی
- درجات دگرگونی مختلف و در نتیجه سنگ‌ها دگرگونی متفاوت

### دگرگونی انباشتی یا تدفینی

نوعی دگرگونی درجه‌ی حرارت کم که در رسوبات و سنگ‌های آتش‌فشانی بین آن‌ها در یک ژئوسنکلینال بدون اثر فرآیندهای کوهزایی و نفوذ ماگما رخ می‌دهد.

سنگ‌ها اغلب بدون تورق بوده و فابریک اولیه خود را حفظ نموده‌اند به طوریکه کانی‌های دگرگونی تازه شکل گرفته با کانی‌های محفوظ از سنگ اولیه در کنار هم یافت می‌شوند. قلمرو شرایط این نوع دگرگونی با دیاژنز عمیق هم‌پوشانی دارد.

مجموعه کانی‌هایی که در این نوع دگرگونی به وجود می‌آیند بیشتر بر اثر افزایش دما ایجاد می‌شود نه فشار.

### دگرگونی استاتیک

در این حالت فشار جهت‌دار دخالت ندارد و این دگرگونی در دما و فشار فزاینده به وجود می‌آید.

### دگرگونی زیر کف اقیانوس‌ها

این نوع دگرگونی در مجاورت ریفتهای داخل اقیانوسی یعنی جایی دیده می‌شود که گدازه‌ی بازالتی به کف اقیانوس می‌رسد. وسعت و پراکندگی آن نیز به دلیل گسترش شکاف‌های عظیم اقیانوسی زیاد است. از ویژگی‌های عمده این سنگ‌ها رگه‌دار بودن شدید است که در اثر چرخش مقادیر زیادی از آبهای اقیانوسی داغ شده در میان آن‌ها است.

در این فرآیند تبادلاتی بین آب دریا و سنگ‌ها رخ می‌دهد که این جنبه این دگرگونی مشابه دگرگونی هیدروترمال است.

محدوده درجه حرارت این دگرگونی معمولاً ۱۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار آن کمتر از ۳ کیلو بار است و تغییرات زمین‌گرمایی در جهت افقی و عمودی حدود ۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به ازای هر کیلومتر است. در مناطق ریفتی فعال افزایش درجه‌ی زمین‌گرمایی سریع است و تقریباً ۵ تا ۸ برابر مناطق دیگر سطح زمین است. در دگرگون شدن سنگ‌های کف اقیانوس نقش دما همراه با حضور سیالات حائز اهمیت، ولی عملکرد فشار ناچیز است.

### دگرگونی یا دگرسانی هیدروترمال

منظور از دگرگونی هیدروترمال فعل و انفعال‌هایی است که بین سیالات داغ (به صورت محلول‌های مایع یا گاز) با سنگ‌های اطراف انجام می‌شود و به موجب آن بعضی از مواد این سیالات به سنگ‌های مجاور وارد و بعضی دیگر از آن خارج می‌شوند. از ویژگی‌های بافتی این دگرگونی جان‌شینی یک کانی به جای دیگر است (پسدومورف) و گاهی تشکیل حاشیه واکنشی در اطراف کانی اولیه.

در محلول‌های ماگمایی در حدفاصل بین سنگ‌های مختلف، مواد به مهاجرت خود ادامه می‌دهد. این مهاجرت ممکن است به دو طریق صورت گیرد.

- ۱) مواد سازنده در بین حفره‌های ساکن در جهتی که تمرکز آن کم باشد منتشر می‌شود (متاسوماتیسم انتشاری) مهاجرت از راه انتشار
  - ۲) مواد در حفره‌ها به صورت محلول حرکت نموده و در سنگ‌های اطراف نفوذ می‌کند (متاسوماتیسم تراوشی) مهاجرت از راه تراوش
- پدیده فیتی شدن نیز نوعی متاسوماتیسم است که در اطراف توده‌های نفوذی کربناتیته به وجود می‌آید.

### خود دگرگونی یا اتوماتامورفیسم

هنگامی که یک توده ماگمایی در حضور سیالات خود انجماد یابد کانی‌های آن دستخوش تغییر و تحولات خاصی می‌شوند.

این نوع دگرگونی به تغییرات کانی‌شناسی ثانوی در سنگ‌های آذرین شباهت بسیار دارد و به این تغییرات اتوماتامورفیسم یا خود دگرگونی می‌گویند.

### چند دگرگونی یا پلی متامورفیسم

هنگامی که سنگ‌های دگرگون تحت تأثیر حرارت گرمایی یا دگرشکلی‌های بعدی دیگری قرار گیرند مجدداً دگرگون می‌شوند و پلی متامورفیسم به وجود می‌آید. چند دگرگونی بر دو نوع‌اند:

- دگرگونی پیش‌رونده، یا دگرگونی (هایی) که در آن شدت دگرگونی در مراحل بعدی زیادتر باشد.
- دگرگونی پس‌رونده یا قهقرایی یا دیافتورز، اگر شدت دگرگونی بعدی کمتر از اول باشد تعیین مراحل دگرگونی معمولاً امکان‌پذیر است.

- هرگاه مجموعه کانی‌های بی‌آب (مانند گرونا و استروئید) که در دماهای بالاتر به وجود می‌آیند با مجموعه‌های آبدار (مثلاً کلریت و میکاها) جانشین شوند نشان‌دهنده دگرگونی قهقرایی است.
- در دگرگونی‌های پیش‌رونده واکنش‌ها با خروج تدریجی آب از محیط مشخص می‌شوند؛ بنابراین وجود آب برای برقراری دگرگونی‌های پس‌رونده (قهقرایی) الزامی است.
- تغییر و تحولات قهقرایی اساساً در مناطق خرد شده و غسل خورده به سهولت بیشتری انجام می‌شود.

### استفاده از قانون فازها

در حالت تعادل می‌توان تعداد کانی‌های یک سنگ دگرگونی را به کمک قانون فازها، تعیین کرد. اگر حالت تعادل در محیط دگرگونی برقرار باشد، می‌توان تعداد فازها (کانیها) را از قانون گیبس به دست آورد.

$$V = C - P + 2$$

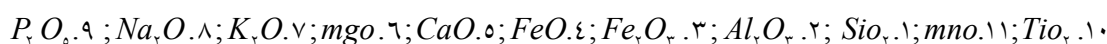
V: تعداد متغیر یا واریانس

C: تعداد تشکیل‌دهنده

P: تعداد فازهای موجود در تعادل

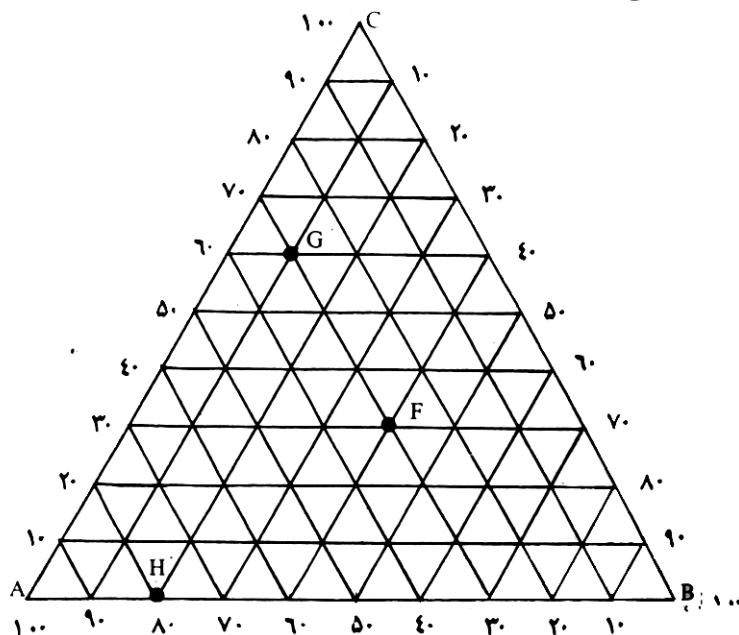
$$* \text{ در محیط‌های دگرگونی } V = 2 \quad 2 = C - P + 2$$

در حالت کلی، اکسیدهای (تشکیل‌دهنده‌ی) سازنده یک سنگ دگرگونی عبارت‌اند از:



نمودارهای مثلثی که برای نشان دادن پارائزهای دگرگونی به کار می‌روند.

### نحوه استفاده از نمودارهای سه‌تایی

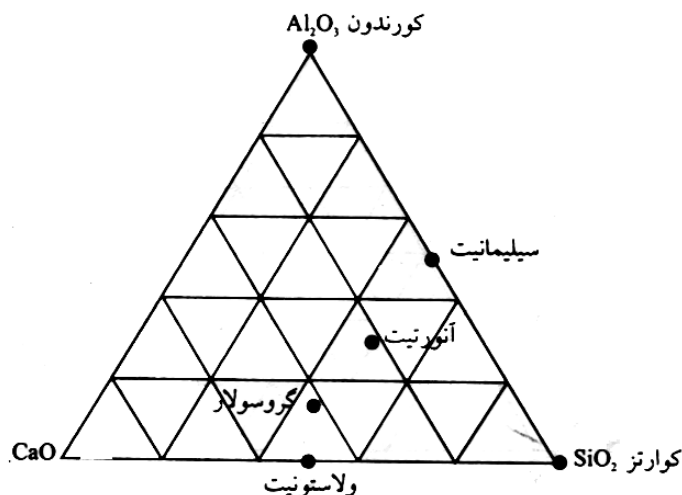


روش تعیین هر ترکیب دلخواه در سیستم‌های سه‌تایی که به صورت مثلث متساوی‌الاضلاع نمایش داده می‌شود.

روشی را نشان می‌دهد که با آن می‌توان محل هر ترکیب دلخواه را به‌آسانی پیدا کرد. A و B و C هر یک از آن‌ها ترکیب خالص (۱۰۰) درصد را نشان می‌دهد.

نقطه G معرف ترکیبی ماده‌ای است با ۳۰ درصد از A، ۴۰ درصد از B و ۳۰ درصد از C  
 نقطه H که روی خط AB قرار دارد معرف ترکیبی است که در آن ۸۰ درصد از A و ۲۰ درصد از B وجود دارد و فاقد C است.

۱. سیستم سه‌تایی  $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$



محل بعضی از کانیها براساس ترکیب شیمیایی آنها در نمودار سه‌تایی

$CaO - SiO_2 - Al_2O_3$

ابتدا کانی‌هایی را در نظر مجسم می‌کنیم که اکسیدهای سازنده آن‌ها سه یا کمتر از ۳ باشد مانند:

ولاستونیت (به فرمول  $CaO, SiO_2$ )

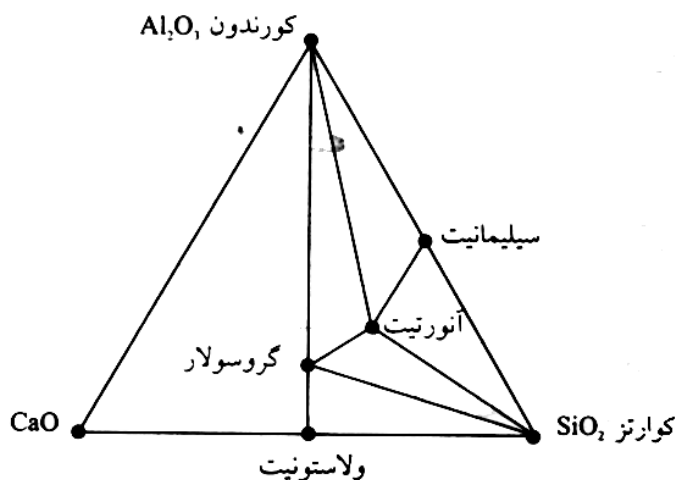
و گروسولار (به فرمول  $3CaO, Al_2O_3, 3SiO_2$ )

سیلیمانیت ( $Al_2O_3, SiO_2$ )

کوارتز ( $SiO_2$ )

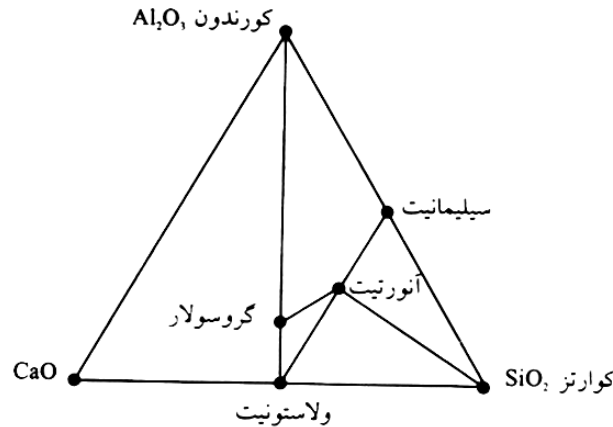
و کورندون  $Al_2O_3$  با محاسبه درصد مولکولی هر یک از آن‌ها می‌توان محل آن‌ها را مشخص کرد.

\* قانون فازها: تعداد کانی‌های تشکیل‌دهنده باید مساوی یا کمتر از تشکیل‌دهنده باشد.

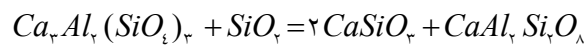


پاراژنز کانیهای همزیست در سیستم سه‌تایی  $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$

معرف پاراژنز کانی‌های است که می‌توانند در فشار و دمای معینی پایدار باشند ولی اگر فشار ثابت باشد و دما افزایش یابد مجموعه گروسولار و کوارتز پایدار نخواهد بود و بجای آن مجموعه ولاستونیت- آنورتیت پایدار می‌شود یعنی خط اتصال کوارتز- گروسولار از بین می‌رود و خط اتصال جدید آنورتیت- ولاستونیت اعتبار خواهد داشت در واقع این تغییر معرف واکنش زیر است.



پاراژنز کانیهای همزیست در سیستم سه‌تایی  $Al_2O_3 - SiO_2 - CaO$



آنورتیت + ۲ ولاستونیت = کوارتز + گروسولار

(۲) نمودار ACF

در این نمودار

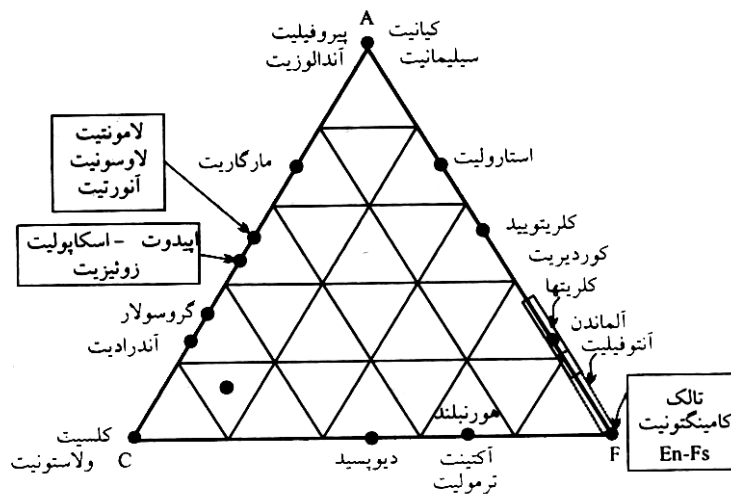
$$C = CaO, A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O), F = FeO + mgo (+ mno)$$

مقادیر اکسیدها در این نمودار و نمودارهای دیگر برحسب درصد مولی است.

این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌ها متبازیت مناسب‌تر است.

رخساره‌های دگرگونی که معمولاً برای سرزمین‌های دگرگونی دار متبازیت مرسوم است این نمودار کاربرد

گسترده‌ای دارد.



نمایش موقعیت کانیهای دگرگونی در ACF

موقعیت برخی از رخساره‌های دگرگونی نشان داده شده است.

- این نمودار مخصوص کانی‌های سرشار از سیلیس است بنابراین الیون در آنجایی ندارد.
- مسکوویت از کانی‌های مهم سنگ‌های دگرگونی است.

### ۳) نمودار AF'K

در این نمودار  $A=Al_2O_3-(Na_2O+K_2O)$ ,  $F=FeO+mgo$ ,  $K=K_2O$  است. این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی متاپسامیتها و متاپلیت‌هایی غنی از پتاسیم و برخی سنگ‌های دیگر بکار می‌رود.

### نمودار AFM

در این نمودار  $A=Al_2O_3-(Na_2O+K_2O)$ ,  $F=FeO$ ,  $m=mgo$  است. از این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های پلیتی (متاپلیت) و برخی سنگ‌های دیگر استفاده می‌شود. این نمودار از تصویر نمودن موقعیت ترکیبات چهاروجهی AFMK بر روی وجه AFM نسبت به نقطه مبنای مسکوویت یا پتاسیم فلدسپار حاصل می‌شود.

### درجه دگرگونی یا گراد

- اصطلاحی برای مشخص کردن شدت نسبی دگرگونی در ناحیه‌ای معین به کار می‌رود.
- تعادل ترمودینامیکی در یک سیستم، تابع تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی محیط است. هر چه سنگ درجه دگرگونی بیشتری متحمل شود کانی‌های آن دانه درشت‌تر است زیرا در دمای بیشتر انتشار مواد در حدفاصل دانه‌ها با سرعت و سهولت بیشتری انجام می‌شود.

### تعیین درجه دگرگونی بر حسب عمق

در این نوع به ترکیب شیمیایی سنگ‌ها چندان توجهی نمی‌شود به‌علاوه بین مقدار دما و فشارهای مختلف با عمق رابطه‌ای دیده نمی‌شود.

### تعیین درجه دگرگونی بر حسب مناطق یا زون‌های دگرگونی

- در مناطقی که درجات دگرگونی آن‌ها قابل نقشه‌برداری باشد مشخص‌کننده زون‌های دگرگونی‌اند.
- ایزوگراد عبارت است از خطوطی روی نقشه و از اتصال نقاطی به دست می‌آید که کانی یا مجموعه خاصی از کانیها در آن نقاط ظاهر یا ناپدید می‌شوند. خطوط ایزوگراد معرف حد خارجی زون یا منطقه دگرگونی است.

زون‌های دگرگونی متوالی به کمک ظهور کانی‌های جدیدی که در زون پایین‌تر وجود ندارد شناخته می‌شوند این زون‌ها را هم می‌توان در دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی تشخیص داد.

برای تعیین زون‌های دگرگونی دو نکته را باید در نظر گرفت:

- ۱) کانی‌های جدیدی که در هر زون به وجود می‌آید باید به‌صورت درشت‌بلور (پورفیروبلاست) باشد.
- ۲) ترکیب شیمیایی سنگ مادر در تمام درجات مختلف دگرگونی ثابت و یکنواخت باشد.

### تعیین درجه بر اساس رخساره‌های دگرگونی

رخساره (فاسیس) دگرگونی به مجموعه کانی‌های مختلفی اطلاق می‌شود که در یک منطقه‌ی معین و تحت شرایط فیزیکی (فشار و دمای) مشخص از انواع مختلف سنگ‌ها و در یک مرحله دگرگونی به وجود آمده باشد.

### اقسام رخساره‌ها

۱. مجاورتی

۲. تدفینی

۳. ناحیه‌ای

**رخساره‌های دگرگونی مجاورتی:** رخساره‌های دگرگونی مجاورتی با توجه به افزایش دما.

۱. آلبیت-اپیدوت هورنفلس

۲. رخساره هورنبلند هورنفلس

۳. رخساره پیروکسن هورنفلس

۴. رخساره سانیدینیت

رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس: که دما بیش از ۳۵۰ درجه کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد به وجود می‌آید.

رخساره هورنبلند هورنفلس: که در دمای  $15 \pm 30$  درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰۰۰ بار، یا  $20^\circ C \pm$  و فشار ۲۰۰۰ به وجود می‌آید.

رخساره پیروکسن هورنفلس: این رخساره در دمای بالاتر به وجود می‌آید ۶۰۵-۵۸۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰۰ بار فشار یا ۶۳۵-۶۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰۰ بار فشار).

رخساره سانیدینیت: این رخساره در دمای بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به وجود می‌آید که گاهی با پدیده ذوب بخشی هم همراه است که غالباً هنگامی اتفاق می‌افتد که سنگ یا وارد توده‌ی مذاب می‌شود یا در حاشیه‌های توده‌های نفوذی بازیک نزدیک به سطح زمین واقع شود.

### رخساره‌های دگرگونی بر اثر وزن یا رخساره‌های تدفینی

اقسام این رخساره برحسب ازدیاد دما و فشار به سه نوع تقسیم کرد.

(۱) رخساره زئولیتی

(۲) رخساره پرهنیت-پومپله ایت

(۳) رخساره گلوکوفان شیست یا گلوکوفانیت یا شیست

رخساره زئولیتی: با پایداری کانی‌های خانواده زئولیت مانند آنالیسم، هولاندیت، لامونتیت و لاوسونیت مشخص می‌شود.

رخساره پرهنیت: که با حضور دو کانی پرهنیت و پومپله‌ایت و گاهی اکتینولیت مشخص می‌گردد و از دگرگونی گری وکها پدید می‌آید.

### رخساره گلوکوفان شیست یا گلوکوفانیت یا شیست آبی

سنگ‌های این رخساره کمیاب است. پیروکسن آن هم از نوع سدیم دار یعنی ژادئیت است که اختصاص به فشار زیاد-دما کم دارد.

حضور رخساره گلوکوفان شیست در محل دراز از گودال‌هایی که در حال فرورانش باشد امری طبیعی است.

زیرا فشار وزن لایه‌های فوقانی و فرورانش پوسته زیرین بر منشورهای به هم افزوده این نواحی شرایط را در حد ایجاد این رخساره افزایش دهد.

### رخساره‌های دگرگونی ناحیه‌ای

رخساره‌های مهم دگرگونی ناحیه‌ای عبارت‌اند از:

الف) رخساره شیست سبز

ب) رخساره آمفیبولیت

ج) رخساره گرانولیت

د) رخساره اکلوزیت

الف) رخساره شیست سبز: که با مجموعه‌ی کانی‌های سبزرنگی مانند اکتینولیت، اپیدوت و کلریت و حضور پلاژیوکلاز سدیم‌دار (آلبیت) مشخص می‌گردد در سنگ‌های پلیتی زون‌های کلریت، بیوتیت و گارنت در این رخساره شکل می‌گیرند.

ب) رخساره آمفیبولیت: این رخساره خاص دگرگونی ناحیه‌ای در دما و فشار متوسط است و شامل مجموعه‌های کانی‌شناسی است که در آن هورنبلند و پلاژیوکلاز کانی‌های شاخص محسوب می‌شوند.

در حالتی که دما زیاد و فشار کم یا متوسط باشد رخساره است مانند پیروکسن، پلاژیوکلاز، ارتوز (میکروکلین) و گاهی کوارتز، گارنت و کلدیریت مشخص می‌شود.

د) رخساره اکلوزیت: مختص فشارهای زیاد و از دگرگونی سنگ‌های بازیگ به وجود می‌آید؛ که در اعماق پوسته‌ها قاره‌ای ظاهر می‌شود. با حضور کانی‌های غنی از پیروپ و پیروکسن غنی از امفاسیت (بین دیوپسید و ژادئیت) مشخص می‌گردد.

### درجات دگرگونی و شدت آن:

سنگ‌های دگرگونی را برحسب مقدارهای مؤثر به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱. دگرگونی دمای خیلی پایین یا دگرگونی خیلی خفیف یا خیلی کم شدت

۲. دگرگونی دمای پایین یا دگرگونی خیلی خفیف یا خیلی کم شدت

۳. دگرگونی دمای پایین یا دگرگونی خفیف یا دگرگونی کم شدت

۴. دگرگونی دمای متوسط یا دگرگونی متوسط

۵. دگرگونی دمای زیاد یا دگرگونی شدید

مرز بین دگرگونی خیلی خفیف و خفیف (بین ۱ و ۲ حالت‌های) با آغاز رخساره شیست سبز مطابقت دارد.

مرز بین درجه‌ی پایین و متوسط نیز با آغاز رخساره‌ی آمفیبولیت تطبیق می‌کند.

حد نهایی دگرگونی درجات شدید نیز با ظهور میگماتیت هنگامی که بخار آب در محیط وجود داشته باشد یا ظهور رخساره‌ی گرانولیت مشخص می‌گردد.

### ساخت، بافت و فابریک سنگ‌های دگرگونی

ساخت و بافت سنگ‌های دگرگونی رابطه تنگاتنگی با اندازه دانه‌ها و نحوه‌ی کنار هم چیده شدن دانه‌های این سنگ‌ها دارد.



پیشوند ارتو به مفهوم منشأ ماگمایی و پیشوند پارا تعیین‌کننده منشأ رسوبی سنگ دگرگون شده است.

الف) بافت اولیه سنگ‌های دگرگونی

بافت قدیمی یک سنگ دگرگون شده را به‌خصوص هنگامی که سنگ تحت شرایط دگرگونی ضعیف قرار گرفته باشد می‌توان تشخیص داد.

(۱) اگر سنگ‌های آذرین تحت تأثیر دگرگونی درجات ضعیف قرار گیرند کانی‌های اولیه به مجموعه‌ای از کانی‌های دانه‌ریز تبدیل می‌شود که در حجم کانی اولیه پراکنده‌اند.

(۲) در سنگ‌های رسوبی یکی از علل لایه‌بندی در سنگ‌های رسوبی، تغییر در ترکیب کانی‌های آن است.

ب) ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی بیشتر سنگ‌های دگرگونی مشابه ترکیب شیمیایی سنگ اولیه‌ای است که از آن به وجود آمده‌اند.

ج) کانیه‌ها

وجود هر یک از این کانیه‌ها نشانه غیر آذرین بودن سنگ اولیه است: استرویتید؛ کلریتوئید، آندالوزیت.

### بافت و ساخت در سنگ‌های دگرگونی

بافت در سنگ‌شناسی دگرگونی همان مفهوم سنگ‌شناسی آذرین را دارد.

و عبارت است از درجه تبلور، شکل، اندازه دانه‌ها و رابطه‌ای که بین آن‌ها در مقیاس میکروسکوپی وجود دارد.

ساخت: ساخت از ظاهر سنگ، مانند رابطه بین مجموعه کانیه‌ها، لایه‌بندی و ریز چین‌ها، صحبت می‌شود.

فابریک: مترادف ساخت به کار می‌رود و عبارت است از بررسی شکل هندسی و ترکیب فضایی کانی‌های

سنگ دگرگونی است و در واقع شامل بافت و ساخت است.

فولیاسیون عبارت است از فابریک لایه به لایه سنگ که گاهی شامل روی هم قرار گرفتن موازی کانی‌های

سازنده سنگ در مقیاس میکروسکوپی و گاهی موازی قرار گرفتن لایه‌هایی از سنگ است که اولی شامل بافت و

دومی شامل ساخت.

فابریک سنگ‌های دگرگونی تابع عواملی زیر است:

- فابریک سنگ اولیه

- رشد و نمو بلورها در حالت جامد

- فرآیندهای تغییر شکل سنگ‌ها طی دگرگونی

- نوع تنش (همه‌جانبه یا غیر همه‌جانبه)

- ترکیب کانی‌شناسی سنگ

در فابریک سنگ‌های دگرگونی، حدود مرز کانی‌های سازنده یا مجموعه‌ای از کانیه‌ها در سه جهت فضایی مورد توجه

قرار می‌گیرند و به دودسته تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از:

الف) فابریک ایزوتروپ (همسان)

ابعاد کانیها در تمام جهات فضایی تقریباً یکسان است. در مقیاس روی زمین یا نمونه‌ی دستی آن را ساخت ماسیو (توده مانند) هم نامیده‌اند و آن را فابریک گرانوبلاستی نامیده می‌شود و فشار جهت‌دار در این فابریک نقشی ندارد.

(ب) فابریک انیزوتروپ (ناهمسان):

بر اثر فشار جهت‌دار و در نتیجه جریان یافتن سنگ در حالت جامد حاصل می‌شود. اجتماع کانی‌های طویل شده در سنگ به صورتی است که در مجموع جهت یافتگی خاصی در سنگ ظاهر می‌شود. فابریک انیزوتروپ را می‌توان به انواع صفحه‌ای، خطی و صفحه‌ای - خطی تقسیم کرد. بلاست: این اصطلاح ممکن است به صورت پیشوند یا پسوند به کار رود در سنگ‌های دگرگونی برای مشخص کردن بافت قدیمی سنگ والد به کار می‌رود. بلاستوپورفیری عبارت از سنگ آذرینی است که بافت پورفیری داشته باشد و پس از دگرگونی، این بافت را در آن بتواند تشخیص داد.

کریستالوبلاست بلور هر کانی است که در نتیجه دگرگونی به وجود آمده باشد و شامل انواع زیر باشد.

ایدیوبلاستها: یا بلاستهای خود شکل: از بلاستها (عبورهایی) که شکل هندسی داشته باشد.

ترنوبلاستها یا بلاستهای فاقد شکل هندسی: که شکل هندسی خاصی در آنها دیده نمی‌شود.

هیپدیوبلاستها یا بلاستهای نیمه خود شکل: در جهاتی فاقد شکل هندسی باشند.

سریهای کریستالوبلاستی: ۱. اصطلاح کریستالوبلاستی

معرف بلورهایی است که در نتیجه متبلور مجدد و رشد بلورها طی دگرگونی حاصل شده باشد، نشانه رشد

بلورها در حالت جامد است. سری کریستالوبلاستی معرف درجه‌ی خودشکلی کانی‌های یک سنگ دگرگونی است.

### اقسام فابریک‌های دگرگونی

الف) سنگ‌های بدون جهت یافتگی

ب) سنگ‌های دارای جهت یافتگی برتر و مشخص

سنگ‌های بدون جهت یافتگی برتر

این فابریک عموماً در سنگ‌هایی که از تک کانی تشکیل شده باشند در این حالت با توجه به انرژی سطحی

یکسان در بلورها، ابعاد دانه‌ها یک اندازه است.

اقسام مهم این فابریک عبارت‌اند از:

۱. فابریک موزاییکی: در زیر میکروسکوپ همانند موزاییک‌هایی است که در کنار هم چیده شده باشند.

فاصله بین دانه‌ها در این فابریک مساوی و دانه‌ها متساوی‌البعده و مرز بین آن مستقیم الخط است این

فابریک را گرانوبلاستی هم می‌گویند.

۲. فابریک در هم رفته یا مضرسی: عبارت از فابریکی متشکل از دانه‌های مساوی هم و متساوی‌البعده و

گاهی عدسی است. مرز دانه‌های مجاور غیرمنظم و مضرسی و در هم رفته‌اند.

۳. فابریک کریستالوبلاستی: فابریکی از یک سنگ دگرگونی تجدید بلور یافته است.

۴. فابریک پورفیروبلاستی: در بعضی از سنگ‌های دگرگونی بلورهای بزرگ در زمینه‌ای از کانی‌های

کوچک‌تر و دانه‌ریز تر قرار دارند.

۵. فابریک پوئی کیلوبلاستی: گاهی از داخل پورفایروبلاستها، انکلوزیونهایی از کانی‌هایی کوچک‌تر دیده می‌شود. گاهی ممکن است انکلوزیونهای مزبور قبل از آغاز دگرگونی در کانی درشت‌تر وجود داشته باشد.

### سنگ‌های دارای جهت یافتگی برتر و مشخص

در بسیاری از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای، جهت یافتگی برتر وجود دارد یعنی کلیه بلورها تقریباً در امتداد فابریک سنگ به‌طور موازی قرار می‌گیرند و کم‌وبیش با هم موازی‌اند. جهت یافتگی بلورها به دو صورت صفحه‌ای (در امتداد یک صفحه کم‌وبیش موازی) و خطی (در امتداد خطوط کم‌وبیش موازی) دیده می‌شود.

### جهت یافتگی یا فابریک صفحه‌ای

جهت یافتگی صفحه‌ای را شیستوزیه یا فولیاسیون می‌گویند. از ساخت صفحه‌ای موازی در سنگ‌های دگرگونی است که موجب تورق نسبتاً آسان سنگ در همین امتداد می‌شود. حالات مختلف جهت یافتگی صفحه‌ای عبارت‌اند از: کلیواژ: عبارت از سطوح موازی شکستگی نزدیک به هم در یک سنگ دگرگونی دانه‌ریز است و خود حالات مختلف دارد:

کلیواژ شکستگی یا کلیواژ درزه‌ای: سنگ در نتیجه لغزش مکانیکی به‌صورت ورقه‌های ظریف درمی‌آید در این حالت توازی کانیها وجود ندارد و تنها شکستگی‌های بسیار ریز و به هم فشرده موجب تورق سنگ شده است، مانند حالتی که در میلیونیتها دیده می‌شود.

کلیواژ اسلیتی: در سنگ‌های آفانیتی بروز می‌کند و به علت قرار گرفتن کانی‌های ورقه‌ای به‌موازات سطح کلیواژ جلای خاصی در این سطح به وجود می‌آید.

کلیواژ جریان‌ی: در واقع باید آن را کلیواژ اسلیتی نامید و تفاوت آن با کلیواژ اسلیتی تورق آسان‌تر در امتداد سطوح کلیواژ است.

می‌توان توازی کانی‌های میکایی را با چشم غیرمسلح هم دید که نشان‌دهنده پهن‌شدگی کانی‌های سنگ در سطح تورق است.

به دو کلیواژ اخیر، کلیواژ قبل از تبلور هم می‌گویند.

کلیواژ خطی: کلیواژی است که در نتیجه آن سنگ به‌صورت بخش‌های قطعات باریک ولی طویل ظاهر می‌شود (لینه آسیون). علت ایجاد آن نیز تقاطع و امتداد کلیواژ با یک سطح لایه‌بندی است یا ممکن است از توازی کانی‌های سوزنی به وجود آید.

شیستوزیه یا فابریک شیستی: شیستوزیته ساختی از سنگ است که خرد شدن و شکستن در آن به‌صورت ورقه‌ها و صفحات موازی به‌آسانی انجام می‌شود. این عمل در نتیجه عملکرد فشارهای جهت‌دار انجام می‌گیرد.

فولیاسیون: اصطلاح فولیاسیون را در بیشتر موارد معادل شیستوزیته به کار می‌برند هنگامی که از فولیاسیون استفاده می‌شود منظور نوعی شیستوزیته جریان‌ی است که افزایش دما با تبلور مجدد کانیها همزمان باشد. که کانی‌های جهت یافته‌ای به وجود می‌آید که غالباً در امتداد سطوح بزرگ خود در جهت شیستوزیته قرار می‌گیرند.

### فابریک نواری

سنگ در این فابریک به صورت نوارهای موازی ظاهر می‌شود و ترکیب کانی‌های هر نوار نسبت به نوار مجاور متفاوت است.

این عمل ممکن است در نتیجه تفریق دگرگونی، رشد بلورهای دانه‌ای، اختلاف در ترکیب لایه‌های سنگ مادر باشد.

### انواع فابریک نواری

فابریک گنیسی: نوعی فابریک نواری است که از نوارهای متفاوت روشن و تیره‌رنگ تشکیل شده باشد. این سنگ‌ها دانه‌درشت‌اند و در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی به‌آسانی تشخیص داده می‌شوند.

### فابریک‌های حاصل از خردشدگی در نتیجه عملکرد دگرگونی دینامیکی

هنگامی که سنگ تحت تغییر شکل ناشی از تنش قرار گیرد کانی‌های سازنده ممکن است به طریق شکننده که منجر به ایجاد شکستگی در سنگ می‌شود.

انواع این فابریک عبارت‌اند از:

فابریک میلونیتی: سنگ از اجتماع قطعات دانه‌ریزی تشکیل شده که خود در نتیجه‌ی خرد شدن مکانیکی سنگ‌ها بدون آنکه تبلور مجدد در کانی‌های اولیه‌ی آن صورت گیرد به وجود آمده است.

اگر دانه‌های سنگ نامساوی باشد در این صورت عموماً دو نوع دانه‌های درشت و ریز با هم دیده می‌شوند این حالت ممکن است یا در نتیجه تبلور مجدد سنگ‌هایی به وجود آید که از دو یا چند کانی متفاوت تشکیل شده یا در نتیجه‌ی خرد شدن مکانیکی ناقص سنگ‌هاست که در پیدایش قطعات دانه‌درشت در زمینه دانه‌ریز مؤثر بوده است در این حالت به آن بافت ساروجی می‌گویند.

فابریک چشمی این فابریک در گنایس و سنگ‌های دگرگونی فولیاسیون دار دیده می‌شود به صورت اشکال عدسی مانند (یا بیضی) است و در مقاطع شبیه چشم است.

چشم‌ها معمولاً نسبت به دانه‌بندی سنگ درشت‌تر است و به صورت موازی درون کانی‌های جهت یافته دانه‌ریز قرار دارند.

فابریک کاتاکلاستی: نوعی فابریک میلونیتی که در نتیجه خردشدگی طی دگرگونی دینامیکی به وجود می‌آید و در بیشتر موارد بدون جهت یافتگی برتر است. اگر در چنین سنگ‌هایی درشت‌بلورها (پورفیرها) ی خرد شده در متن دانه‌ریز قرار داشته باشند آن بلورها را پورفیروکلاست می‌نامند.

فابریک فلیزر: در سنگ‌هایی دیده می‌شود که تحت تأثیر دگرگونی دینامیکی قرار گرفته باشند به علت جریان یافتن سنگ توده‌های عدسی شکل یا لایه‌ی اولیه یا کانی‌های دانه‌ای نسبتاً سالم سنگ در خمیره‌ای از قطعات شدیداً خرد شده محاصره می‌شود. قطعات درشت را چشم‌های کلاستی و مجموعه را فابریک فلیزر می‌گویند.

### تفاوت فابریک فلیزر با فابریک چشمی

در آن است که در فلیزر سیمان و قطعه بلورهای درشت از نوع کلاستی است. زیرا اگر ماده سیمان از جنس کلاست باشد چشم‌ها از نوع کلاستی خواهند بود.

ساخت بودین یا فابریک سوسیسی: این اصطلاح به فابریکی اطلاق می‌شود که ستون‌های موازی با مقاطع عدسی شکل در سنگ ظاهر می‌شود این فابریک وقتی بوجود می‌آید که سنگی مقاوم در داخل طبقات نامقاوم قرار گیرد و مجموعاً تحت نیروهای کششی واقع شود.

### لینه آسیون

یک واژه توصیفی و برای هر نوع ساخت خطی در درون یا سطح سنگ بکار می‌رود و خود به اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. نوع اولیه آن بر اثر فرآیندهای آذرین و رسوبی و نوع ثانویه بر اثر دگرشکلی و دگرگونی حاصل می‌شود.

حالاتی که منجر به تشکیل لینه آسیون در سنگ می‌شود عبارت‌اند از:

- در نتیجه رشد کانی‌های طویل (مثلاً بلورهای منشوری یا سوزنی) در امتداد و به موازات هم
- از تقاطع در سطح دگرگونی به وجود آید این دو سطح ممکن است یکی سطح شیستوزیته و دیگری سطح لایه‌بندی باشد و یا از تقاطع شیستوزیته به وجود آید
- محل لوله‌های یک چین کوچک و بسیار ریز که موازی هم باشد و در نمونه‌های دستی قابل تشخیص باشد خطوطی تشکیل می‌دهند که می‌توان آن را لینه آسیون نامید

### مشخصات یک دگرگونی مجاورتی

الف) سنگهای دگرگونی مجاورتی

یک دایک دلریتی به ضخامت تقریبی یک متر به سنگ دانه‌ریز و سخت تبدیل شده که علت آن اختلاف دمای ماگمایی دلریتی (در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سنگ میزبان است. هر چه ضخامت توده‌ی مذاب و دمای آن زیادتر باشد ضخامت حاشیه پخته شده بیشتر و سنگهای آن سخت‌تر می‌شود و در زیر ضربه چکش، شکستگی نامنظم و صدفی پیدا می‌کند. به این سنگهای متراکم توده مانند که در مجاورت توده‌های نفوذی پیدا می‌شوند هورنفلس می‌گویند.

- هورنفلسها در برابر عوامل فرسایش مقاومت زیادی دارند و هر چه به توده‌ی مذاب نزدیک‌تر شویم دانه درشت‌تر می‌شوند و مقاومت بیشتری پیدا می‌کنند. درجه دگرگون‌شدگی بیشتر می‌شود.

### انواع هورنفلسها

برحسب نوع سنگ مادر عبارت‌اند از:

۱. هورنفلسهای پلیتی و سنگهای وابسته

هورنفلسها: اغلب هورنفلسهای پلیتی  $Al_2O_3$  نسبتاً زیادی دارند. این امر موجب تبلور آندالوزیت یا کوردیریت (یا هر دو) در سنگ می‌شود که به‌صورت پورفیروبلاستهای که در زمینه دانه‌ریز گرانوبلاستی متشکل از کوارتز + فلدسپار + میکا + گرافیت دیده می‌شود.

در هورنفلسهای پلیتی، بیوتیت قرمز قهوه‌ای دیده می‌شود ولی موسکوویت تنها در رخساره هورنبلند ظاهر می‌شود.

شیستهای لکه‌دار پلیتی: کمی دورتر از هاله دگرگونی، اگر سنگ اولیه از نوع اسلیت یا فیلیت باشد. بر اثر دگرگونی مجاورتی، دانه‌هایی در سنگ ظاهر می‌شود که به آن لکه یا غده می‌گویند رنگ آن‌ها خاکستری تا تیره‌رنگ و اندازه آن‌ها در حد یک پورفایروبلاست‌ها و گاهی تا چند میلی‌متر می‌شود.

- شرط وجود پورفایروبلاستهای اولاً دما باید در حد رخساره‌ی آمفیبولیت باشد ثانیاً در ترکیب سنگ اولیه‌ی کائولینیت (که موجب تشکیل آندالوزیت می‌شود). یا کلریت (که موجب تبلور کوردیریت می‌گردد) وجود داشته باشد.

آزریلیت: سنگی است آفانتیک، بارنگ تیره، بدون جهت یافتگی و دارای شکستگی صدفی. درجه‌ی دگرگونی آن ضعیف و بر اثر تبلور، دوباره مادستون به وجود می‌آید.

(۲) هورنفلسهای کوارتز و فلدسپاری

این کانیه‌ها در دمای پیروکسن هورنفلس و هورنبلند هورنفلس پایدارند هورنفلسهای حاصل از این قبیل سنگ‌ها اساساً بافت موزاییکی گرانوبلاستی دارد در هورنفلسهای کوارتز و فلدسپاری همیشه مقداری بیوتیت وجود دارد و در انواع رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس، کوردیریت هم دیده می‌شود.

کوارتزیتها: تنها از دگرگونی سنگهای رسوبی مانند ماسه سنگهای کوارتزی، گری واکهای کوارتزی، کنگلومراهای کوارتزی و چرت‌ها به وجود می‌آیند.

کوارتزیت سنگی است متراکم، سخت با بافت موزاییکی و در هنگام شکستن با لبه‌های تیز شکسته می‌شود کوارتزیتها هم در دگرگونی مجاورتی و هم در دگرگونی ناحیه‌ای بوجود می‌آیند.

- تفاوت یک کوارتزیت ناشی از دگرگونی ناحیه‌ای با کوارتزیتی که در مجاورتی به وجود می‌آید ایجاد فولیاسیون در کوارتزیتهای ناحیه‌ای است که بلورهای کوارتز حالت کشیده پیدا می‌کنند که خود به سختی قابل تشخیص است.

### انواع کوارتزیتها:

کوارتزیتهای خالص: که حالت توده مانند دارد و ندرتاً حالت شیستی در آن بروز می‌کند. در این کوارتزیتها زیرکن هم دیده می‌شود.

کوارتزیتهای میکادار: این کانیه‌ها معرف دگرگونی درجات ضعیف‌اند.

کوارتزیتهای فلدسپادار: از فلدسپار ماسه‌سنگ‌ها (مثلاً آركوز) و در شرایط دگرگونی ضعیف کلریت ولی در درجات شدیدتر گرونی نوع آلماندین از آن متبلور شده است.

کوارتزیتهای آکتینوت‌دار: اگر سیمان ماسه‌سنگ‌ها آهکی باشد نوع کانیه‌ها تابع باز یا بسته بودن محیط برای خروج  $CO_2$  است.

کوارتزیتهای ریبکیت‌دار: این قبیل کوارتزیتها در نتیجه دخالت محلول‌های متاسوماتوز سدیم‌دار و نفوذ و نشست آن به داخل ماسه سنگهای خالص به وجود آمده باشد.

کوارتزیتهای آهن‌دار: اگر در سیمان ماسه‌سنگ‌ها آهن وجود داشته باشد. مانیتیت و هماتیت متبلور خواهند شد.

گریزن: مجموعه‌ای گرانوبلاستی از کوارتز و موسکوویت است که در آن کمی توپاز، تورمالین، فلوئورین، روتیل، کاستریت و ولفرامیت از متاسوماتیسم سنگهای گرانیتی به وجود می‌آید.

### ۳) هورنفلسهای آهکی

دگرگونی مجاورتی درجات شدید موجب تبدیل آهک و دولومیت به مرم‌های آهکی می‌شود و عبارت از سنگ‌هایی است که اساساً از دانه‌های موزاییکی و متساوی‌البعدها تشکیل شده، بافت این سنگ‌ها گرانوبلاستی است.

مرمر یا سیپولن: سنگ آهک دگرگونی شده است که ممکن است خالص یا ناخالص باشد و درجه‌ی دگرگونی آن متغیر و دارای فولیاسیون یا فاقد آن باشد.

### ۴) هورنفلسهای کالک سیلیکات یا اسکارنها

سنگ‌های این گروه از هورنفلسهای که عمدتاً از دگرگونی آهک‌های رس‌دار و مارنها به وجود می‌آید به این سنگ‌ها کالکوسیلیکات نیز گفته شده که سنگی دانه‌ریز و بدون فولیاسیون است.

### از اقسام مهم هورنفلسهای کالک

تاکتیت: سنگی با ترکیب پیچیده که از دگرگونی مجاورتی و متاسوماتیسم سنگهای کربناتی به وجود می‌آید. این سنگ بافت دانه‌درشت و موزاییکی دارد.

اسکارن: اصطلاح معدنچیان سوئدی است سنگهای متاسوماتیتی است که از آهک آهن سه ظرفیتی و سیلیکاتهای منیزیم ترکیب یافته اسکارنها در محل تماس توده‌های نفوذی پر حرارت با سنگهای آهکی مجاور به وجود می‌آیند به همین دلیل، به نهشته‌های اسکارن، دگرگونی مجاورتی و پیرومتاسوماتیک هم گفته می‌شود. به علت نحوه‌ی انتشار و نفوذ محلول‌ها، در محل تماس بین گرانیتوبیدها و آهک، زون‌های متوالی با ترکیب متفاوت به وجود می‌آید این همان زونالیتته متاسوماتیک است که از مشخصات بارز اسکارنها است.

• کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی اسکارنها مثلاً گرونها، پیروکسنها و فلوگوپیتها بسیار دانه درشت‌اند و این امر دخالت گازهای تحت فشار را به اثبات می‌رساند به همین دلیل به اسکارنها، هورنفلسهای پگماتیته هم می‌گویند.

### ۵) هورنفلسهای بازیک

اگر سنگهای بازیک (بازالت و انواع مشابه) در معرض دگرگونی شدید دمایی قرار گیرند به هورنفلس متراکم و تیره‌رنگی تبدیل می‌شوند که در زیر میکروسکوپ با بافت گرانوبلاستی موزاییکی خود مشخص‌اند.

هورنفلسهایی که از دگرگونی آندزیتها ایجاد می‌شوند عموماً دارای بیوتیت و گاه آثار بافت پورفیری اولیه‌اند. در پریدوتیت هورنفلس، کانیها جهت یافتگی خاص ندارند.

### ب) سنگهای دگرگونی دینامیکی

دگرگونی دینامیکی با دگرشکلی سنگ‌ها و تبلور مجدد ناشی از تنش مشخص می‌شود و معمولاً با کاهش اندازه‌ی کانی‌های سنگ همراه است.

رفتار کانیها در مقابل نیروهای دینامیکی به جنس آنها و شرایط فیزیکی محیط بستگی دارد.

### اقسام مهم سنگهای دینامیکی عبارت‌اند از:

(۱) میلونیت:

از دگرشکلی کاتاکلاستی شدید سنگ‌ها تا حد خرد شدن به وجود می‌آیند در این حالت ترکیب شیمیایی سنگ اولیه تغییر نمی‌کند ولی تحت تأثیر نیروهای شدید تکتونیکی مانند حرکتی که در طول یک گسل در سنگهای دو طرف آن پدید می‌آید. سنگ خرد و به قطعات کوچک‌تر تقسیم می‌شود. بسیاری از میلونیتها بافت ورقه‌ای دارند که اندازه دانه‌ها، رنگ یا ترکیب کانی‌شناسی هر ورقه با ورقه مجاور متفاوت است.

میلونیت‌های گرانیته و ماسه‌سنگی:

کوارتز کانی اصلی آنهاست و جهت یافتگی خاصی از خود نشان می‌دهد. به‌نحوی که محورهای نوری آنها با جهت حرکت و خردشدگی سنگ تقریباً موازی است.

گابرو میلونیتی: با توجه به کانی‌های آلبیت و کوارتز و کلینوزوئزیت و هورنبلند و کانی کدر و مقاوم گابروها. این قبیل سنگ‌ها هم ممکن است به حالت میلونیت درآیند.

پریدوتیت‌های میلونیتی: این سنگ‌ها ضمن حرکت خرد می‌شوند و به این طریق پریدوتیت میلونیتی به وجود می‌آید که با ساخت ورقه‌ای یا خطی خود مشخص است.

گنیسه‌های چشمی: بعضی از گنیسه‌های چشمی منشأ میلونیتی دارند فلدسپارهای آن به شکل «چشم» اند.

پروتومیلونیت: میلونیتی است که پورفیروکلاستهای زیادی داشته باشد.

### کاتاکلازیت

اصطلاح کاتاکلازیت در مورد سنگ‌هایی به کار می‌رود که اختصاصات دگرشکلی کاتاکلاستی در آن ظاهر شود ولی دانه‌ای شدن که مشخص میلونیت‌هاست در آن دیده نشود.

فلیرز گابرو یا فلیرز گرانیته: عبارت است از سنگهای دگرگونی‌ای است که در آنها عدسی‌ها یا قطعاتی که از کانی‌های اصلی یا کانی‌های دست‌نخورده و سالم گابرو یا گرانیته در زمینه‌ای از مواد خرد شده و ساییده شده قرار گرفته و سنگ ظاهری جریان یافته داشته باشد. بعضی از کاتاکلازیت‌ها ممکن است از سنگهای رسوبی به وجود آیند.

### ۳. فیلونیت

سنگ‌هایی شبیه فیلیته‌ایند و از مشخصه‌های مهم در تکامل فیلونیتها حرکت ناهماهنگ دانه‌ها در سطح لغزش است که ظاهر شیبی به خود می‌گیرد و محصول نهایی این فرآیند ایجاد فیلونیت است که از نظر کانی‌شناسی و ساختمانی فیلیت ولی از نظر منشأ و ساخت با آن متفاوت است و جز رخساره شیست سبز می‌شود و جهت یافته با کلیواژ لغزشی است.



### سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای

دگرگونی ناحیه‌ای همزمان با چین خوردگی آغاز می‌شود اما مدت زمان آن همیشه طولانی‌تر از چین خوردگی است.

در حالت دگرگونی باید دو نوع تعادل برقرار شود: تعادل تکتونیکی و تعادل کانی‌شناسی سنگهای این گروه دارای شیستوزیته یا فولیاسیون است و نشان‌دهنده دگرشکلی مهمی است که در فرآیند دگرگونی بر آن‌ها وارد آمده است.

### کانی‌شناسی

برای بحث کانی‌شناسی بهتر است کلیه سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای را به دو گروه بزرگ تقسیم کنیم:

- انواع درجات ضعیف که حد پایداری آن‌ها در رخساره‌ی شیست سبز و رخساره آمفیبولیت درجات ضعیف است.
- انواع درجات شدید که با رخساره‌های آمفیبولیت، گرانولیت و اکلوزیت تطبیق می‌کنند.

در انواع درجات ضعیف کانی‌هایی از انواع سیلیکاتهای آبدار دیده می‌شود و انواع بی‌آب و دما بالا مانند الیون، پیروکسن و پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار در آن‌ها وجود ندارد.

### اقسام سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای

۱. اسلیت‌ها سنگهای دانه‌ریزند و خود از دگرگونی رسوبات دانه ریزتر به وجود می‌آیند که عادی‌ترین آن‌ها رسوبات پلیتی است.

کانی‌های اساسی این سنگ‌ها، میکای سفید، کلریت، کوارتز و در بعضی حالات در آن لکه‌های تیره‌رنگ گرافیت هم دیده می‌شود. کانی‌های فرعی نیز، تورمالین، روتیل، اپیدوت، اسفن و اکسیدهای آهن است.

از اختصاصات مهم اسلیت‌ها تورق آسان آن است که به آن کلیواژ اسلیتی هم می‌گویند و عبارت است از قرار گرفتن کانی‌های بسیار دانه‌ریز ورقه‌ای به موازات و در امتداد سطوح شیستوزیته است.

تشخیص لایه‌بندی سنگ اولیه در اسلیت حائز اهمیت است که به کمک تغییر رنگ و بافت و گاهی خوابیدگی فسیل در سطح لایه‌ها می‌توان این شکل را حل کرد.

### ۲. فیلیت‌ها

با افزایش درجه‌ی دگرگونی اسلیت‌ها به فیلیت تبدیل می‌شوند و از نظر کانی‌شناسی، فیلیت‌ها مشابه اسلیت‌اند ولی از آن دانه درشت‌ترند حضور کانی‌های دانه‌درشت در فیلیت‌ها موجب می‌شود تا فیلیت‌ها را از نظر درجه‌ی دگرگونی بین اسلیت و میکاشیست در نظر بگیریم.

فیلیت‌ها معرف رخساره شیست سبزند و گروناهای موجود در فیلیت از نوع منگنز دارند.

### اقسام فیلیت‌ها

فیلیت‌های گرافیتی: از دگرگونی شیل‌های زغال‌دار به وجود می‌آید. جلای چرب دارند و دست را سیاه می‌کنند.

فیلیت‌های گرونادار: دانه‌های کوچک گرونا در حدود میلی‌متر و به رنگ قرمز تیره تا سیاه‌رنگ دیده می‌شود که غنی از منگنز است.

فیلیت کلریتویدار: در سنگ‌هایی که مقدار آهن و منیزیم زیاد و پتاسیم کم باشد پورفایبروبلاست‌هایی از کلریتوید به وجود می‌آید.

### شیست‌ها

درجه دگرگونی شدیدتر از فیلیت دارند. شیست‌ها فراوانترین سنگ‌های دگرگونی به حساب می‌آیند. وجود شیستوزیته یا لینه آسیون از مشخصات اساسی آن‌هاست. در شیست‌های درجه ضعیف، کانی‌های ورقه‌ای فراوان‌تر است ولی با افزایش دما نسبت کانی‌های میکایی آن به علت تبدیل کانی‌های دیگر کم می‌شود و در نتیجه شیستوزیته آن ضعیف‌تر می‌گردد که به فابریک گنیسی نزدیک می‌شود.

برحسب نوع سنگ مادری که شیست‌ها از آن به وجود می‌آید به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. شیست‌هایی که از دگرگونی رسوبات رسی یا کوارتز-فلدسپاری به وجود می‌آیند مانند اقسام میکاشیست‌ها
  ۲. شیست‌هایی که منشأ کربناتی دارند یا کالک شیست‌ها
  ۳. شیست‌هایی که از دگرگونی سنگ‌های آذرین حد واسط تا بازیک نتیجه می‌شوند مثلاً شیست‌های سبز
  ۴. شیست‌هایی که از دگرگونی سنگ‌های الترا بازیک به وجود می‌آیند مانند شیست‌های منیزیم‌دار
۱. شیست‌هایی که از دگرگونی رسی به وجود می‌آیند:

در این شیست‌ها میکا بسیار فراوان است که عموماً در امتداد سطح فولیاسیون قرار می‌گیرند. فراوانی میکای سنگ‌ها را می‌توان هم به ترکیب شیمیایی محیط و هم به شرایط تشکیل و پایداری میکاها مربوط دانست.

• گرونا نوع آلماندین کانی دگرگونی درجه متوسط سنگ‌های رسی است. با افزایش شدت دگرگونی مقدار منیزیم گرونا زیادتر و به پیروپ تبدیل می‌شود.

کیانیت یا دیستن، معرف درجه دگرگونی شدید است و معمولاً از مسکوویت به وجود می‌آید.  
فلدسپارپتاسیم + کیانیت → مسکوویت

۲. شیست‌هایی که از دگرگونی کوارتز و فلدسپار به وجود می‌آیند:

این قبیل شیست‌ها اساساً از دگرگونی رسوبات مارنی و سنگ‌های آذرین سیلیس‌دار به وجود می‌آیند. در درجات دگرگونی ضعیف تا متوسط کانی‌های تشکیل‌دهنده آن همان انواعی‌اند که در شیست‌های ناشی از رسوبات رسی دیده می‌شوند ولی در این قبیل شیست‌ها، کوارتز و آلپیت فراوان‌تر و درصد اپیدوت نیز زیادتر است.

در درجات شدید کانیها دانه درشت‌تر و مقدار کانی‌های ورقه‌ای آن کمتر می‌شود و در نتیجه قابلیت تورق آن کمتر و به عبارت دیگر شیستوزیته آن نامنظم‌تر می‌شود.

۳. کالک شیست‌ها یا شیست‌هایی که منشأ کربناتی دارند:

از دگرگونی شیست‌های غنی از کلسیم، سنگ‌های آهکی دولومیتی رس‌دار به وجود می‌آیند. از دگرگونی ناحیه‌ای این قبیل سنگ‌ها، کالک شیست و مرمر ایجاد می‌شود.

نوع کانی‌های رسی، تعیین‌کننده نوع کانی‌های میکایی و معرف درجه دگرگونی سنگ است.

در درجات دگرگونی ضعیف و متوسط، دولومیت نیز مانند کلسیت به صورت مرمر درمی‌آید. در بعضی از سنگهای این گروه ممکن است کانی‌های دانه‌ریز آهک بر اثر سایش و خردشدگی از کانی‌های دانه درشت‌تر به وجود آیند.

#### ۴. شیستهای سبز:

این سنگ‌ها از دگرگونی ناحیه‌ای سنگهای بازیک و نیمه بازیک در دماهای کم به وجود می‌آیند. مجموعه کانی‌هایی که در شیستهای سبز یافت می‌شود عبارت‌اند از: مجموعه کلریت + اپیدوت + آکتینوت + آلبیت در درجات دگرگونی ضعیف، مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز (صفر تا ۷ درصد) ممکن است به صورت دانه‌های کوچک موزاییکی و یا به صورت پورفیروبلاستهای خود شکل باشد. پرازینیت نوعی شیست سبز است که در آن سه کانی تشکیل‌دهنده‌ی آکتینوت یا هورنبلند سبز، کلریت و اپیدوت با نسبت تقریباً مساوی وجود داشته باشد. این سنگ تقریباً بدون کوارتز است ولی کمی آلبیت در آن وجود دارد.

#### ۵. شیستهای منیزیم‌دار:

پریدوتیتها و سایر سنگهای الترابازیک در دماهای کم و متوسط ممکن است در محیط آبدار یا خشک دگرگون شوند. دگرگونی این قبیل سنگ‌ها علاوه بر دما و فشار به مقدار بخار آب،  $\text{SiO}_2$  و گاز  $\text{CO}_2$  و دیگر مواد محلول بستگی دارد. آمفیبول در آمفیبول شیست منیزیم‌دار از نوع آکتینوت سبز کم رنگ یا ترمولیت بی‌رنگ است.

#### ۶. شیستهای گلوکوفان‌دار:

از دگرگونی سنگهای متنوعی مانند دیاباز، بازالت، ماسه‌سنگ و چرت‌های آهن‌دار به وجود می‌آیند. چون شیستهای گلوکوفان‌دار بیشتر با توده‌های سنگهای سرپانتینی همراه‌اند، آن‌ها را به سنگهای سرپانتینی تبدیل می‌کنند.

شیستهای آبی از دگرگونی گری و کها، بازالت‌های زیر دریایی و سنگهای سری افیولیتی که همگی با گودال‌های اقیانوسی در ارتباط‌اند بوجود می‌آیند.

#### ۴) آمفیبولیتها:

سنگهای دگرگونی فولیاسیون داری‌اند که اساساً از هورنبلند و پلاژیوکلاز تشکیل شده و در دگرگونی‌های ناحیه‌ای درجه متوسط تا شدید به وجود می‌آیند. تفکیک و تناوب لایه‌ها در آمفیبولیتها ممکن است در مقیاس نمونه‌های دستی واضح نباشد. زیر میکروسکوپ اصولاً جهت یافتگی برتری در آن دیده می‌شود.

آمفیبولیت ممکن است از دگرگونی سنگ‌هایی با ترکیب مختلف به خصوص انواع سنگهای بازیک تا حد واسط، آهک‌ها و دولومیت‌های ناخالص، مارنها و حتی از آهک‌های خالصی که تحت تأثیر متاسوماتیسم سیلیسی منیزیم و آهن قرار گرفته باشد به وجود آید.

با افزایش درجه دگرگونی، آلبیت با اپیدوت ترکیب می‌شود و پلاژیوکلازی بازیک به وجود می‌آید.

بسیاری از گرینستونها و آمفیبولیتها از دگرگونی سنگهای سازنده کف اقیانوس در زیر آب دریا (دگرسانی) به وجود می‌آیند.

آمفیبولیتهایی که از دگرگونی سنگهای آذرین بازیک به وجود آیند نسبت پلاژیوکلاز به هورنبلند بیشتری دارند.

آمفیبولیتهایی که از دگرگونی شکل‌های الترابازیک به وجود آیند اصولاً پلاژیوکلاز ندارند و از نوع منیزیم دار مانند آنتوفیلیت و کامینگتوتیت‌اند.

اصطلاح اپی دیوریت به آمفیبولیتهایی اطلاق می‌شود که از دگرگونی گابرو یا دیاباز وجود آید به شرط آنکه ساخت درونی آن چندان تغییر نیافته و فولیاسیون آن ضعیف باشد.

آمفیبولیت شیست: عبارت از سنگ دگرگونی هورنبلند- پلاژیوکلازدار است که فولیاسیون ظریف شیستها در آن دیده شود.

هورنبلندیت: در گذشته نام سنگی از گروه آمفیبولیت محسوب می‌شود آمفیبول آن از نوع هورنبلند بوده است.

(۵) گنایسها:

سنگهای دگرگونی فلدسپاردارند که با داشتن فولیاسیون مشخص‌اند. کانی‌های سازنده آنها ممکن است میلی‌متری تا سانتی‌متری باشد.

گنیس از سنگهای ماگمایی مانند گرانیت، ریولیت، سینیت، تراکیت، سینیت‌های نفلینیت یا رسوبی مانند ماسه سنگهای فلدسپاری، گری وک و حتی گنیس به وجود آید. در هر یک از رخساره‌هایی که فلدسپار در آن حالت پایدار باشد گنیس تشکیل می‌شود.

انواع گنیسها

همگن (هموزن) پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت تقریباً یکنواخت دارد.

ناهمگن (هتروژن) پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت تقریباً یکنواخت ندارد.

اقسام گنیسهای ناهمگن: گنیسهای چشمی و گنیسهای نواری

گنیس چشمی فلدسپار یا کوارتز و فلدسپار به صورت چشم‌ها یا عدسی‌های درشت‌تر در متن سنگ دیده می‌شود.

گنیس نواری: لایه‌های کوارتز- فلدسپار یا فقط فلدسپار با لایه‌هایی سرشار از میکا، کلریت، آمفیبول، پیروکسن و ... به‌طور متناوب قرار می‌گیرند.

• کوارتز و فلدسپار را باید فراوانترین کانی‌های گنیس به شمار آورد که معمولاً به صورت دانه درشت دیده می‌شود.

**اقسام گنیسها که هم به ترکیب سنگ والد و هم به شرایط دگرگونی بستگی دارد و شامل:**

گنیس کربندون‌دار: از دگرگونی سنگهای بوکیتی یا لاتریتی به وجود می‌آید و در آن کربندون- مانیتیت و سیلیمانیت نیز دیده می‌شود.

گنیس دیستن‌دار: معرف فشار زیادتر و دمای کمتر نسبت به گنیسهای سیلیمانیت‌دار است.

گنیس کردیریت‌دار: معرف درجه‌ی شدید دگرگونی سنگهای رسی غنی از کلریت و مونت مورینیت است.

گنیس گرونادار: در بسیاری از گنیسها گرونا یافت می‌شود که غالباً از نوع آلماندین پیروپاند. گنیس گرانیته: که در بعضی حالات از تبدیل شیستهای گرانیته به وجود می‌آید و چون محیط احیا کننده را مشخص می‌کند می‌توان پیریت یا پیروتین را در آن دید. گنیس کلسیک: عبارت از سنگهای کلسیک فولیاسیون داری است که در آن گروسولار و پلاژیوکلاز کلسیم‌دار یافت می‌شود.

گنیس پیروکسن‌دار: از دگرگونی سنگهای آذرین باریک در رخساره‌ی گرانولیت به وجود می‌آید و حاوی کانی‌های بی‌آب ولی دارای فولیاسیون و بافت گرانوبلاستی است به آن گرانولیت بازیک هم می‌گویند. گنیس تزریقی: معروف‌ترین تزریق و نفوذ مواد مذاب به داخل سنگ است که در حاشیه بعضی از باتولیتها دیده می‌شود.

گنیس دومیکادار: این سنگ از تغییر و تحول میکاشیستهای بیوتیت و موسکوویت‌دار به وجود می‌آید. با افزایش درجات دگرگونی، کانیها رشد و فولیاسیون گنیسها پدیدار می‌شود. فلدسپار درشت‌تر و بخشی از مسکوویت نیز به فلدسپار پتاسیم‌دار تبدیل می‌شود. گنیس بیوتیت و سیلیمانیت‌دار: درجه دگرگونی زیادتر از گنیس دومیکادار و در آن بجای مسکوویت، سیلیمانیت به صورت رشته‌های دسته علفی فراوان‌تر می‌شود. ۶. گرانولیتها:

درجه دگرگونی شدید دارند و کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها هم‌اندازه و بدون فولیاسیون و از دگرگونی سنگهای پلیتی به وجود می‌آیند.

گرانولیت برای بعضی از سنگ‌شناسان عبارت از گنیسی است که دارای کانی‌های مافیک و تمام کانی‌های آن بی‌آب باشد این سنگ را گرانولیت بازیک می‌نامید.

دو نوع گرانولیت را از هم متمایز کرد و به‌جای کلمه گرانولیت از این دو استفاده کرد:

الف) انواعی که از نظر ترکیب معادل سنگهای آذرین بازیک‌اند و با کانی‌های بی‌آب و ساخت گنیسی مشخص می‌شود به این گروه گنیسهای پیروکسن‌دار می‌گویند.

ب) انواعی که ترکیب شیمیایی آنها معادل سنگهای آذرین اسید ولی دارای کانی‌های بی‌آب است. به این قبیل سنگها گنیس شارنوکیته می‌گویند.

گرانولیت‌های پیروکسن‌دار

سنگهای دگرگونی درجه شدید (رخساره‌ی گرانولیت) است که از پلاژیوکلاز، هیپرستن، دیوپسید، در بعضی حالات گرونا‌ی آلماندین ساخته شده است.

فلدسپارهای رخساره‌های گرانولیتی رنگ تیره و در پلاژیوکلازها، متغیرهای فلدسپار پتاسیم (آنتی پرتیت) به صورت اکسولوسیون وجود دارد که نشانه دمای تبلور بالاست.

۷. شارنوکیته:

مقدار کوارتز این سنگ از ۲۰ درصد کانی‌های روشن و نسبت فلدسپار پتاسیم آن به کل فلدسپار را ۴۰ تا ۹۰ درصد است؛ بنابراین شانونوکیت در شرایط دما و فشار زیاد متبلور می‌شود. سنگ‌هایی که ترکیب گرانیت و بافت گرانوبلاستی داشته و کانی‌های آهن و منیزیم آن از نوع بی‌آب باشد جز سری شانونوکیتی قرار می‌گیرند. یکی از مشخصات شانونوکیت، داشتن کوارتز با رنگ تیره است این امر به دلیل وجود رشته‌های مو مانند روتیل در داخل بلور کوارتز است.

#### ۸. اکلوزیتها

سنگ‌هایی که به صورت قطعات بیگانه (زینولیت) در کمیبرلایت/ یا در بعضی بازالتها دیده می‌شود. از نظر کانی‌شناسی از دو کانی گروناوی قرمز تیره (آلماندین- پیروپ) و پیروکسن امفاسیت سبز تیره تشکیل شده‌اند.

این پیروکسن یکی از انواع سری دیوپسید- ژادئیت است. دیستن سومین کانی تشکیل دهنده‌ی مهم در بعضی از اکلوزیتهاست. اکلوزیت سنگی دانه درشت است بافت گرانوبلاستی دارد که گرونا با حالت پورفیروبلاستی در آن مشخص است.

اکلوزیت به دو طریق به دست می‌آید:

الف) در حالت جامد، از تغییر و تبدیل بازالت در فشار زیاد و دمای متوسط (اکلوزیت سنگ دگرگونی) است. ب) از تبلور مایع مذاب بازالتی در فشار زیاد و دمای کم (اکلوزیت سنگ آذرین) است. یکی از اختصاصات مهم کانی‌شناسی اکلوزیتها وجود پیروکسن امفاسیت است. این پیروکسن نوعی اوژیت سرشار از سدیم است.

اکلوزیتها ممکن است همانند هر سنگ دیگر تحت تأثیر دگرگونی قهقرایی قرار گیرند مثلاً اگر مجموعه‌ی کانی‌های آن در شرایط دما و فشار کمتر ولی در معرض فشار آب قرار گیرد در این حالت حاشیه هم رشدی از هورنبلند و پلاژیوکلاز که به آن حاشیه کلینیت می‌گویند.

#### د) سنگهای دگرگونی اصابتی یا ضربه‌ای

حامل امواج ضربه‌ای و تغییرات ناشی از آنها در سنگ‌ها نتیجه برخورد بسیار سریع شهاب‌سنگ است. مدت این واقعه بسیار کوتاه است.

آثار دگرگونی اصابتی در سطح زمین عبارت‌اند از:

۱. مخروط‌های خردشدگی: در این حالت سنگ‌ها به صورت صفحات مخروطی می‌شکنند و در آنها شیارهایی پدیدار می‌شود. این اشکال در فشارهای بین ۵ تا ۱۰ کیلوپار توسعه پیدا می‌کند.
۲. در بلورهای کوارتز و فلدسپار، شکاف‌ها و ترکهای بسیار ریز به فواصل چند میکرون به وجود می‌آید این عمل در فشار بین ۷/۵ تا ۲۵ کیلوپار وقوع می‌یابد.
۳. در سنگهای کربن‌دار الماس به وجود می‌آید. با توجه به شرایط تبلور الماس این عمل در بالاتر از ۲۰ کیلوپار انجام شدنی است.

۴. در سنگهای سیلیسی و ماسه سنگ‌ها به‌جای کوارتز، شکل فشار زیاد آن یعنی کوئزیت و استیشوویت ظاهر می‌شوند. کانی اخیر در بیش از ۱۶ کیلو بار به وجود می‌آید. فلدسپار در فشار حدود ۳۰ کیلو بار و کوارتز در فشار حدود ۴۰ کیلو بار متلاشی می‌شود.
۵. سوئویت سنگی است که در نتیجه برخورد و دگرگونی ضربه‌ای بخشی از سنگ ذوب می‌شود و سیمانی تشکیل می‌دهد که بخش ذوب نشده را به هم متصل می‌کند.
۶. اگر سنگ به‌طور کامل ذوب شده باشد شیشه‌هایی به وجود می‌آید که برای تمیز از سایر انواع شیشه‌های طبیعی، بهتر است آن را شیشه اصابتی نامید. در فشار بیش از ۶۰ کیلو بار به وجود می‌آید.
۷. در شرایطی که شدت ضربه‌ای بسیار زیاد باشد سنگ محل اصابت حتی به بخار تبدیل می‌شود.

### ه) سنگهای دگرگونی زیر کف اقیانوس‌ها

با افزایش درجات زمین‌گرمایی سریع و تقریباً ۵ تا ۸ برابر مناطق دیگر سطح زمین است. با ورود آب دریا به داخل شکستگی‌های کف اقیانوس و گرم شدن تدریجی آن که با انحلال گازهای آتش‌فشانی همراه است آب گرم می‌شود و خاصیت اسیدی پیدا می‌کند.

#### ۱. سنگهای دگرگونی درجه‌ی خیلی ضعیف

این سنگ‌ها در بخشی سطحی قرار دارند و نمونه‌برداری از بازالت‌هایی که ساخت پیلولاوایی داشته‌اند انجام شده است. اسمکتیت نوعی کانی رسی از خانواده مونت مورونیت است که آن را فقط به کمک پرتوایکس می‌توان تشخیص داد. در این سنگ‌ها حفرات بادامی شکل به‌وسیله کلسیت، دوپال یا زئولیت پر می‌شود. وجود اسمکتیت به جای خمیره‌ی شیشه‌ای در بازالت مشخص‌کننده‌ی ضعیف‌ترین درجه دگرگونی است.

#### ۲. سنگهای دگرگونی درجه ضعیف

در اعماق کمی پایین‌تر از محلی که بازالت‌های پیلولاوایی در کف اقیانوس دیده می‌شوند یعنی در افق‌هایی که دایکهای صفحه‌ای وجود دارند به علت افزایش دما درجه‌ی دگرگونی بیشتر از حالت قبل است. مجموع کانیها عبارت‌اند از:

پلاژیوکلاز - آکتینوت + کلریت + کوارتز + کانی‌های کدر

#### ۳. سنگهای دگرگونی درجه‌ی متوسط

با افزایش عمق دما افزایش می‌یابد. در نتیجه هورنبلند جای آکتینوت را می‌گیرد کلریت محو می‌شود و کلینوپیروکسنی با ترکیب نزدیک به دیوپسید به این مجموعه اضافه می‌شود در این صورت مجموعه‌ی کانیها عبارت‌اند از:

پلاژیوکلاز + کوارتز + هورنبلند + دیوپسید + کانی‌های کدر

این مجموعه در تحتانی‌ترین بخش دایکهای صفحه‌ای ظاهر می‌شود.

#### ۴. اسپیلیت

در رسوبات کمربندهای کوه‌زایی فراوان ترند و غالباً به صورت بازالت‌هایی دیده می‌شوند که مختص فوران‌های زیر دریایی است. از نظر شیمیایی شبیه بازالتها و انواع تفریق یافته‌ی آن‌ها و ولی اصولاً سدیم بیشتر و کلسیم کمتری دارند.

##### ۵. سرپانتینیتها

سنگهای مجموعه‌ی افیولیتی با درجات مختلف بر اثر پدیده سرپانتینیتی شدن به سرپانتینیت تبدیل می‌شوند. در سرپانتینیتها دو نوع فابریک وجود دارد:

- ماسیف که عمدتاً در شرایط فشار همه جانبه به وجود می‌آیند سطح شکست تازه‌ی آن به رنگ سبز زیتونی تا سیاه ولی سطح هوازده‌ی آن زرد نارنجی تا قرمز قهوه‌ای است این همان سرپانتینیت‌های نوع آلی است.

- برشی (لغزشی) گروهی از سطوح لغزشی و صاف را به آسانی می‌توان تشخیص داد. رنگ آن‌ها از سیاه تا سبز و گاهی زرد کم رنگ متغیر است. معمولاً فابریک قدیمی بر اثر فشارهای جهت‌دار محو می‌شود و سنگ از نظر مکانیکی مقاومت چندانی ندارد.

کانی سرپانتین خود از سه کانی به نامهای آنتیگوریت، لیزاردیت و کریزوتیل ساخته شده است.

• شیستهای سرپانتینیتی عبارت‌اند از سنگهای الترابازیک که در آن به علت فشارهای جهت‌دار، سنگ دارای شیستوزیته شده است.

• رودنگیت یا رودنژیت نوعی متاسوماتیسم کلسیک است که ممکن است تحت تأثیر سیالات سرشار از کلسیم بر سنگهای گابرویی یا دیابازیک به وجود می‌آید.

##### ۶. تکتونیت الترابازیک

در مجموعه‌های افیولیتی و زیر افق‌های تحتانی این مجموعه، سنگهای دگرگونی جهت یافته‌ای دیده می‌شود که تکتونیت‌های الترابازیک نامیده می‌شود. این سنگ‌ها در تحتانی‌ترین افق یک مجموعه افیولیتی و زیر کومولاهای الترابازیک دیده می‌شود.

(و) دگرگونی هیدروترمال و سنگهای ناشی از آن

به کلیه تغییرات شیمیایی کانی‌شناسی که تحت تأثیر آبهای ماگمایی یا هیدروترمال در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرگونی یا دگرسانی هیدروترمال می‌گویند.

و نتیجه آن ایجاد لایه دگرسان شده در سنگ میزبان است که ضخامت آن از چند میلی‌متر تا چند متر متفاوت است در دگرگونی هیدروترمال فاز سیال نقش مهمی دارد. این دگرگونی در مقیاس وسیع در زیر کف اقیانوس‌ها رخ می‌دهد.

نوع کانی‌هایی که در لایه دگرسان شده است بستگی به عوامل زیر دارد:

- ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان
- ترکیب سیالاتی که در دسترس سنگ قرار می‌گیرند.
- دما و فشار محیط
- شدت و گسترش دگرگونی که خود به دو عامل خارجی و داخلی بستگی دارد که شامل:  
(عامل خارجی)



- تراوایی سنگ میزبان
- ساختمان اولیه‌ی سنگ میزبان
- عمقی که سنگ میزبان دچار دگرسانی می‌شود.

(عامل داخلی)

- حجم محلول‌های هیدروترمال که خود تابع حجم توده‌های نفوذی است.
- دما و فشار محلول‌های فوق که تابع عمق استقرار توده‌ی نفوذی و نوع آن است.
- قدرت انتشار که خود به نوع عناصر محلول در فاز سیال وابسته است.
- شرایط EH و PH محلول‌ها.

### سنگ‌های دگرگونی هیدروترمال

۱. آل‌بیتیت: سنگ‌هایی از دسته‌ی متاسوماتیت است که بر اثر عملکرد محلول‌های پس ماگمایی سدیم‌دار ناشی از گرانیتوئیدها در ساختمان و ترکیب سنگ تغییراتی بروز می‌کند.
۲. آدینول: با ورود محلول‌های هیدروترمال سرشار از سدیم در رسوبات رسی، سنگی سرشار از آل‌بیت به وجود می‌آید که عمدتاً در حاشیه‌ی توده‌های نفوذی بازیک ظاهر می‌شود.
۳. اپیدوتیت یا اپیدوزیت: سنگی است سبزرنگ و اساساً از اپیدوت تشکیل یافته و ممکن است در آن کمی کلریت و بلورهای کوارتز هم دیده شود بافت این سنگ عمدتاً انیتی و از دگرگونی بازالتها یا گابروها به وجود می‌آید این پدیده را اپیدوتی شدن نیز می‌نامند.
۴. پروپیلیتی شدن: این پدیده در حد رخساره‌ی سبز اتفاق می‌افتد و عمدتاً سنگ‌های آتش‌فشانی به‌ویژه آندزیتها که در معرض محلول‌های هیدروترمال قرار داشته باشند.
۵. سرسیتی شدن: این دگرسانی با خروج عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم سیلیکات‌ها مشخص می‌گردد و بر اثر آن آلومینوسیلیکاتها به‌ویژه پلاژیوکلازها از بین می‌روند و به جای آنها میکاهای دانه‌ریز و گاه فیبری (سرسیت) جایگزین می‌شود. این پدیده در دمای حدود ۳۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.
۶. آرژیلی شدن: این پدیده در محیط‌های اسیدی رخ می‌دهد و به‌موجب آن عناصر الکان سیلیکات‌ها مثلاً سدیم، پتاسیم و کلسیم فلدسپارها از محیط خارج می‌شوند و بجای آنها کانی‌های رسی به وجود می‌آید.
۷. دگرسانی پتاسیک: اصولاً در مجاورت توده‌های نفوذی و با دخالت محلول‌های پتاسیم‌دار، بعضی از کانی‌های سنگ به ارتوز تبدیل می‌شوند.

ز) سنگ‌های دگرگونی درجات بسیار شدید

۱. میگماتیتها در مناطقی که با دگرگونی شدید سروکار داشته سنگ‌های مختلط نیمه ذوب شده‌ای پیدا می‌کنیم که به آن میگماتیت می‌گویند به معنی اختلاط است و عبارت از سنگی مرکب و ناهمگن است که قسمتی از آن رنگ روشن و ظاهر گرانیتی دارد و قسمت دیگر از نوع گنیسی و کانی‌های تیره تشکیل شده است. به بخش روشن سنگ و گرانیتی منقول، مجموعه روشن یا لوکوسم می‌گویند.

بخش گنیسی را که از ذوب مصون مانده و از ترکیبات دیرگداز ساخته شده رستیت (باقیمانده) یا مجموعه ملانوسم می‌نامند.

اشکال متفاوت میگماتیتها

۱. میگماتیت نوع آگماتیک یا میگماتیتهایی که ساخت برشی دارند.
۲. میگماتیت نوع فلپتی یا میگماتیتهایی که حالت رگه‌ای دارند.
۳. میگماتیت نوع نبولیتی که حالت شیح و ابر مانند دارد.
۴. میگماتیت نوع شلیرن که در آن کانی‌های دیرگداز چین‌های متعدد به خود می‌گیرد.
۵. میگماتیت نوع افتالمیتی که پر از اشکال بادامی یا چشمی است.

### نوع دیگری از سنگهای دگرگونی با درجات شدید

(۲) آناتکسی و گرانیتهای آناتکسی

کلمه آناتکسی معرف دگرگونی ناحیه‌ای شدید است که با ذوب کامل یا بخشی از سنگ همراه باشد (آناتکسی یعنی ذوب) ماده حاصل از ذوب در فرآیندهای سنگ‌زایی مجدد یعنی تولید ماگمای پالین ژنتیک یا گرانیتهایی که از ذوب رسوبات به وجود می‌آیند دخالت می‌کند.

(۳) آناتکسیت

کلیه سنگ‌هایی که بر اثر آناتکسی (ذوب) به وجود آید آناتکسیت نامیده می‌شوند و چون سنگهای گرانیتهای، کمترین نقطه ذوب را دارد آناتکسیتها عمدتاً ترکیب گرانیتهای دارند. تشخیص آناتکسیتها هنگامی امکان‌پذیر است که بخش گرانیتهای (روشن) و بخش گنیسی (تیره) در کنار هم قرار داشته باشند.

گرانیتهای آناتکسی: کلیه گرانیتهایی که منشأ آناتکسی داشته باشند به این نام موسوم‌اند.

۴. امپرشیت یا امپرکیت

امپرشیت را می‌توان نوعی میگماتیت با ساخت چشمی دانست.

در این حالت نوعی گنیس چشمی با چشم‌های درشت فلدسپار است که حدفاصل بین چشم‌ها را کانی‌های ورقه‌ای بسیار نازک (گاهی از نوع سوزنی) از هم جدا می‌کند.

### فهرست منابع سنگ‌شناسی دگرگونی

- ۱- سنگ‌شناسی دگرگونی، دکتر علی درویش زاده، دانشگاه پیام نور
- ۲- نام‌گذاری و طبقه‌بندی جامع سنگهای رسوبی، آذرین و دگرگونی، دکتر آدابی و دکتر کریم پور، دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه شهید بهشتی
- ۳- سنگ‌شناسی (جلد ۱ و ۲)، دکتر سرابی، دکتر ایران پناه، دکتر زرعیان، دانشگاه تهران
- ۴- پترولوژی سنگهای دگرگونی (میاشیرو)، ترجمه دکتر ولی زاده، دکتر صادقیان