



شرح جامع

سنگ شناسی و پترولوژی

«زمین شناسی»

مؤلف: ناهید دزوارئی



پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که در حوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس (منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست‌نیافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می‌شدند، که خدشه‌ای بر آنها وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزه آزمون‌های سراسری - آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی که شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد که حائز رتبه‌های تک رنژی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای داوطلبان عزیز را پوشش داده است. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی‌نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنا براین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

با تشکر

ناشر

www.arshadbook. ir

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم

پیشگفتار مؤلف

فلک جنبش، زمین آرام از او یافت

به نام آنکه هستی نام از او یافت

نظر به علاقه مندی بسیاری از دانشجویان دوره کارشناسی رشته زمین شناسی به ادامه تحصیل در سطوح بالاتر این رشته سعی ما در این مجموعه بر آنست که با گردآوری و ارائه پاسخ های تشریحی به سوالهای سالهای گذشته ، آنها را در این راه یاری دهیم.

این مجموعه شامل سؤال های سراسری و آزاد آزمونهای کارشناسی ارشد زمین شناسی می باشد و سعی شده آنها را به صورت تشریحی و مستدل پاسخ دهیم.

هر چند کوشش شده است تا کتاب عادی از لغزش باشد اما بی گمان چنین نیست و تذکر خوانندگان و صاب نظران ارجمند در مورد لغزش های احتمالی موجب امتنان خواهد بود.

در پایان وظیفه خود می دانم از انتشارات ارشد که اقدام به چاپ اثر نموده اند، سپاسگزاری نمایم . همچنین از تمام عزیزانی که مرا در تهیه این مجموعه یاری داده اند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم.

ناهید دزوارئی

Nahid_dezvaree@yahoo.com

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
پیشگفتار ناشر	۳
پیشگفتار مولف	۴

فصل اول: سنگ شناسی آذرین

۱۲	الف) ماگماتیسزم
۱۲	تقسیم بندی یاگار برای ماگماها از لحاظ محتوی گاز
۱۲	ترکیب شیمیایی ماگماها
۱۳	منشاء ماگماها
۱۴	تبلور ماگماها
۱۵	واکنش زنجیری در ماگمای غنی از سیلیس
۱۶	واکنش زنجیری در ماگماهای فقیر از سیلیس
۱۶	تبلور در ماگمای آبدار تحت فشار
۱۷	وجود آب در ماگماها
۱۷	تأثیر فشار بر ترتیب تبلور کانیها
۱۷	اثر صورتهای مختلف فشار بر تربیت تبلور، ذوب و انجماد در کانیها
۱۸	اثر فشار بر دیاگرام ذوب یا تبلور ارتوز
۱۸	تبلور در ماگما غنی از عناصر قلیایی (آلکالن)
۱۸	مراحل مختلف انجماد ماگماها
۲۰	مراحل مختلف انجماد سنگهای آتشفشانی
۲۷	ب) آرشیکتور سنگهای آذرین
۲۷	شکل توده های آذرین
۲۸	توده های نفوذی متقاطع با سنگ درونگیر
۲۹	شکل مخروط های آتشفشانی
۲۹	انواع مخروط های آتشفشانی
۳۰	شکل گدازه های آتشفشانی
۳۰	شکل توده های سنگ های آذرآواری
۳۱	ایگنمبریت ها: (IGNIMBRITE) (باران IGNIS,IMBER آتش)
۳۲	دبی سنگ های آذرین (DABITE)

۳۳.....	بافت سنگهای آذرین (TEXTURE).....
۳۴.....	ساخت سنگ های آذرین.....
۴۱.....	ج) روش های رده بندی سنگ های آذرین.....
۴۱.....	روش های مختلف رده بندی سنگ های آذرین.....
۵۰.....	۱) سنگ های آذرین کواتزدار.....
۵۳.....	۲) سنگهای آذرین بدون کوارتز و فلدسپاتوئید.....
۵۶.....	۳) سنگ های آذرین دارای فلدسپات و فلدسپاتوئید.....
۵۹.....	۴) سنگ های آذرین اساساً فلدسپاتوئیدار.....
۵۹.....	۵) سنگ های اولترامافیک.....
۶۰.....	۶) لامپروفیرها.....
۶۱.....	۷) لامپروئیت ها.....
۸۹.....	د) پترولوژی.....
۸۹.....	مفاهیم بنیادی.....
۸۹.....	قانون فازها.....
۹۰.....	فاز دیاگرامهای پترولوژی.....
۹۴.....	دیاگرام زمان - دما.....
۹۷.....	تبلور.....
۹۷.....	ذوب.....
۹۹.....	خلاصه فصل.....

فصل دوم: سنگ شناسی دگرگونی

۱۲۴.....	الف) دگرگونی METAMORPHISM.....
۱۲۴.....	نقش دما (TEMPERATURE).....
۱۲۶.....	نقش فشار (PRESSURE).....
۱۲۷.....	انواع دگرگونی (THE TYPES OF METAMORPHISM).....
۱۲۹.....	ساخت و بافت در دگرگونی.....
۱۳۲.....	انواع ساخت در دگرگونی.....
۱۳۶.....	درجه دگرگونی (METAMORPHISM GRADE).....
۱۳۷.....	انواع رخساره های دگرگونی.....
۱۵۴.....	ب) فاز دیاگرامهای ترکیبی در دگرگونی.....
۱۵۴.....	نمودار سه تایی $\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$
۱۵۴.....	نمودار $\text{A}^*\text{KF}, \text{ACF}$
۱۵۷.....	نمودار SCM (آهکی دولومیتی).....
۱۶۲.....	ج) انواع سنگهای دگرگونی.....
۱۶۲.....	سنگهای دگرگون با منشاء پلیتی.....

۱۶۶	سنگهای دگرگونی با منشأ کربناته و کالک سیلیکاتها.....
۱۶۷	سنگهای دگرگونی حاصل از سنگهای آذرین بازیک و اولترابازیک
۱۶۹	سنگهای دگرگونی (اصابتی) (IMPACT SHOCH).....
۱۶۹	سنگ های دگرگونی هیدروترمال
۱۷۰	سنگهای مربوط به دگرگونی زیر کف اقیانوس
۱۷۲	خلاصه فصل.....

فصل سوم: سنگ شناسی رسوبی

۱۹۸	الف)سنگ های کربناته
۲۰۰	(دانه های غیراسکلتی در سنگ های آهکی (أئیدها و پلوئیدها).....
۲۰۲	رده بندی سنگ های آهکی
۲۰۵	دیاژنز کربنات ها (CARBONATE DIAGENEIS)
۲۰۶	دولومیتی شدن، دِدولومیتی شدن
۲۱۵	ب) سنگ های غیر کربناته
۲۱۶	رسیدگی (مچوریتی) بافتی
۲۱۶	رسیدگی (مچوریتی) کانی شناسی
۲۱۶	اجزاء تخریبی رسوبات سیلیسی آواری
۲۱۷	خرده سنگ ها ROCK FRAGMENTS
۲۲۰	خصوصیات پتروگرافی و منشأ و محیط رسوبی و تکتونیکی انواع ماسه سنگ ها:
۲۲۳	برش ها
۲۲۷	تشکیل و توزیع کانی های رس در رسوبات.....
۲۲۸	سنگ های شیمیایی و بیوشیمیایی غیر کربناته
۲۳۶	خلاصه فصل.....

فصل اول

سنگ شناسی آذرین

عناوین اصلی

- ◀ الف) ماگماتیسم
- ◀ تقسیم بندی یاگار برای ماگماها از لحاظ ممتوی گاز
- ◀ ترکیب شیمیایی ماگماها
- ◀ منشأ ماگماها
- ◀ تبلور ماگماها
- ◀ واکنش زنجیری در ماگمای غنی از سیلیس
- ◀ واکنش زنجیری در ماگماهای فقیر از سیلیس
- ◀ تبلور در ماگمای آبدار تمت فشار
- ◀ وجود آب در ماگماها
- ◀ تأثیر فشار بر تبیب تبلور کانیها
- ◀ اثر صورتهای مختلف فشار بر تربیت تبلور، ذوب و انجماد در کانیها
- ◀ اثر فشار بر دیاگرام ذوب یا تبلور ارتوز
- ◀ تبلور در ماگما غنی از عناصر قلیایی (آلکالن)
- ◀ مراحل مختلف انجماد ماگماها
- ◀ مراحل مختلف انجماد سنگهای آتشفشانی
- ◀ ب) آرشیکتور سنگهای آذرین
- ◀ شکل توده های آذرین
- ◀ توده های نفوذی متقاطع با سنگ درونگیر

- شکل مفروط های آتشفشانی
- انواع مفروط های آتشفشانی
- شکل گدازه های آتشفشانی
- شکل توده های سنگ های آذرآواری
- ایگنمریت ها: (Ignimbrite) (باران ignis,imber آتش)
- دبی سنگ های آذرین dabite
- بافت سنگهای آذرین Texture
- سافت سنگ های آذرین
- (ج) روش های مختلف رده بندی سنگ های آذرین
- سنگ های آذرین کواتردار
- سنگهای آذرین بدون کوارتز و فلدسپاتوئید
- سنگ های آذرین دارای فلدسپات و فلدسپاتوئید
- سنگ های آذرین اساساً فلدسپاتوئیدار
- سنگ های اولترامافیک
- لامپروفیرها
- لامپروئیت ها
- (د) پترولوژی
- مفاهیم بنیادی
- قانون فازها
- فاز دیاگرامهای پترولوژی
- دیاگرام زمان - دما
- تبلور
- ذوب
- خلاصه فصل

فصل اول

سنگ شناسی آذرین

الف) ماگماتیسزم

ماگما: (Magma)

ماگما کلمه ای است یونانی به معنی خمیر که مذاب های طبیعی عمدتاً سیلیکاته به کار میرود. مایعی است سیلیکاته با گرانروی زیاد همراه با گاز و مواد فرار.

گدازه یا لاوا Lava

ماگمایی است که مواد فرار خود را از دست داده است (مایع یا نیمه متبلور)

تقسیم بندی یاگار برای ماگماها از لحاظ محتوی گاز

هیپوماگما: ماگمایی است محتوی گاز فراوان و تحت فشار که به علت فشار زیاد لیتوستاتیک، گازها در ماگما به صورت محلول باقی مانده اند.

پیروماگما: ماگمایی است پرگاز و کف مانند که گازهای آن آزاد شده اما از ماگما خارج نشده است.

اپی ماگما: ماگمایی فقیر از گاز شبیه گدازه ها.

گرانروی ماگما بسته به ترکیب شیمیایی، درجه حرارت و مقدار درصد گاز محلول تغییر می کند.

گرانروی ماگماهای باز التی ۱۰۰ پوآز و گرانروی ماگماهای گرانیته بین ۱۰^۳ تا ۱۰^۶ پوآز می باشد.

گرانروی یک ماگما با پیشرفت تبلور کانیها در آن ماگما و افزایش درصد سیلیس در مایع باقیمانده، افزایش می یابد.

به طور کلی حرارت ماگما بین ۱۵۰۰ - ۵۰۰ درجه سانتی گراد می باشد.

گازهای محلول در ماگما باعث پایین آمدن گرانروی می شود. اما افزایش فازهای جامد و بالا رفتن درصد سیلیس در مایع

باقیمانده موجب افزایش گرانروی می شود.

ماگمایی که به سطح زمین می رسد حرارتی بین ۹۵۰^۰ (ریولیت ها) ۱۲۰۰^۰ (در بازالت ها) داشته باشد. کمتر از این محدوده

دمایی، ماگما منجمد شده و در داخل زمین باقی خواهد ماند.

ترکیب شیمیایی ماگماها

سنگ های آذرین از سیلیکاتهای مختلف تشکیل شده اند که اغلب فلدسپاتها، میکاها و آمفیبول، پیروکسن و کوارتز می باشد.

علاوه بر این، کانیهای غیر سیلیکات و یا کانیهایی که محتوی عناصر کمیاب می باشند نیز دیده می شود.

ماگماها از اکسیدهای زیر تشکیل شده اند:



بعضی از ترکیبات در ماگما به صورت محلول مستند و پس از انجماد کامل و تشکیل توده آذرین، همراه با H_2O , CO_2 بر سنگ های درونگیر خود اثر کرده و کانیهای آنها را تجزیه کرده و به کانیهای دیگر تبدیل می کنند. این ترکیبات NH_3 , NH_4 , H_2 , Fe_2O_3 , AlCl_3 , BO_3 , HF , Co , CO_2 , SO_2 , SH_2 می باشند اثرات این ترکیبات بیشتر متوسط سنگهای آذرین درونی اعمال می شود. در سنگهای آتشفشانی، به علت نبودن فشار و سرپوش مناسب قسمت اعظم این ترکیبات در فضا پراکنده می شود.

ترکیب شیمیایی ماگماها

ماگماهای اسیدی: $63\% >$ درصد سیلیس
 ماگماها یا سنگهای حد واسط: $52\% - 63\%$ - درصد سیلیس
 ماگماهای بازیک: $45\% - 52\%$ - درصد سیلیس
 ماگماهای بازیک تحت اشباع از سیلیس: $45\% <$ درصد سیلیس
 ماگماهای اولترابازیک $45\% \leq$ درصد سیلیس

ارتباط عمق منشاء ماگماها با درصد اکسیدها

عمق منشاء ماگماها با H_2O , SiO_2 ماگماها نسبت معکوس دارد.
 عمق منشاء ماگماها با درصد FeO , MgO , TiO_2 و میزان CO/CO_2 , $\text{H}/\text{H}_2\text{O}$ نسبت مستقیم دارد.

منشاء ماگماها

منشاء ماگماها گرانیتی

دارای دو منشاء مختلف می باشند:

- ۱- ماگماهایی که مستقیماً از ذوب پوسته ی اسیدی زمین حاصل شده اند.
 - ۲- ماگمایی که از تحول ماگماهای حد واسط و بازالتی حاصل شده است.
- در مورد منشاء پوسته ای ماگمایی گرانیتی، بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته است:
- ۱- مشاهدات صحرایی و بررسی تحولات تدریجی سنگهای دگرگونی
 - ۲- تجارب آزمایشگاهی وینکلر دانشمند آلمانی
- با مشاهده سنگهای دگرگون شده به این نتیجه می رسیم که با در نظر گرفتن جهت شدت دگرگونی و شیب طبقات، میکاشیست کمتر تحت فشار و حرارت (دگرگونی) قرار گرفته است. در صورتی که در میگماتیت سنگ حالت نیمه مذاب یا خمیره و منظره ای همگن را نشان میدهد.

گرانیت آناتکسی، میگماتیت، گنیس، میکاشیست

افزایش فشار و حرارت (افزایش شدت دگرگونی)

گرانیت آناتکسی سفید رنگ و بدون کانیهای تیره می باشد. (کوههای خشومی شمال بافق کرمان)
 گرانیت آناتکسی از ذوب بخشی میگماتیت و انجماد ماگمای حاصل از آن گرانیتی آناتکسی به وجود می آید.

مشاهدات صحرایی نه تنها منشأ رسوبی بودن سنگهای دگرگونی را روشن می سازد بلکه نشان می دهد که افزایش شدت دگرگونی (فشار و حرارت) منجر به تشکیل ماگمای گرانیتی از ذوب گنیس ها و میگماتیت می شود.

تجارب آزمایشگاهی وینکلر: طبق آزمایشات وینکلر، چنانچه خاک رس تحت فشار هیدروستاتیک 2Kbr و حرارت 850°C - 600°C قرار بگیرد (فشار فوق الذکر معادل فشار در عمق ۸-۷ کیلومتری است) در حرارت 670°C دگرگون شده و به گنیس و گرانیت با ترکیب کانیایی جدید تبدیل می گردد. با افزایش حرارت سنگ ذوب شده و کانیهای رنگ روشن آن ذوب شده و ماده مذاب حاصل، پس از تبلور تولید کوارتز ۴۲٪، ارتوز ۵۰٪ و آلبیت ۳٪ و آنورتیت ۵٪ نموده است. (این مجموعه متبلور گرانیت قلیایی یا آلكالین می باشد).

با افزایش درصد کلوئیدیم (۳٪) به خاک رس، نقطه ذوب به 700°C خواهد رسید و درصد پلاژیوکلاز ماده مذاب حاصل بیشتر خواهد شد و ترکیب سنگ دگرگونی و مایع حاصل از ذوب آن، گرانودیوریت و ماگمای حد واسط خواهد شد.

نتایج وینکلر

- ۱- منشأ اکثر سنگ های دگرگونی رسوبی است.
- ۲- مواد مذاب سازنده سنگ آذرین سنگهای به شدت دگرگون شده می باشد.

منشأ ماگماهای بازالتی

درمورد منشأ این ماگماها، اعتقاد دانشمندان دین است که آنها از یک مجموعه که در اعماق زمین قرار دارد و جنس آن شبیه بازالت است سرچشمه می گیرد. (قدیم به آن سیما می گفتند) عمق این مجموعه حدود ۴۵-۶۵KM می باشد و حد ریشه قاره می باشد و بر گسستگی موجود منطبق می باشد.

ذوب پاره ای از سنگ ها مانند (پیروکسنیت و سنگی متشکل از پیروکسن)، آمفیبولیت (متشکل از آمفیبل) مخصوصاً اکلوژیت (Px سدیم دار + AL دار + گرونا + آمفاسیت + کوارتز) دارای ترکیب بازالتی است.

اختلافات کلی ماگماهای گرانیتی و بازالتی

اختلافات	ماگمای بازالتی	ماگماهای گرانیتی دارای منشأ پوسته ای
از لحاظ ترکیب شیمیایی	بازیک و تقریباً بی آب	اسیدی و دارای چند درصد آب
از نظر محل تولید ماگما	عمق ۲۰۰ تا ۸۰۰ کیلومتری	اعماق کمتر از ۲۰ کیلومتر
از نظر حرارت اولیه ماگما	۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد	۸۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی گراد
تغییرات نقطه انجماد در حین بالا آمدن ماگما	نقطه انجماد پایین می آید	نقطه انجماد بالا می رود
امکان خروج ماگما در زمین	اکثر اوقات	گاهی اوقات
سنگ حاصل از انجماد	بازالت (خروجی) گابرو (درونی)	ریولیت (خروج) گرانیت (درونی)

تبلور ماگماها

قوانین اساسی تبلور ماگماها مربوط به تحقیقات آزمایشگاهی نیکولابون و شاگردانش می باشند. ترتیب متبلور شدن سیلیکاتها در یک ماگمای بازالتی به این صورت می باشد که ابتدا اولیوین، بعد پیروکسن و فلدسپاتهای پلاژیوکلاز غنی از آنورتیت و سپس آمفیبولها، میکاها و پلاژیوکلازهای فقیر از آنورتیت و سرانجام فلدسپات های آلكالین و بالاخره کوارتز متبلور می گردند.

پس از تبلور این کانیها و شرد شدن تردیجی ماگما، ماگما باقیمانده از لحاظ عناصری که در ساختمان این کانیها شرکت کرده اند فقیر می شود و عناصری که در کانیهای دارای نقطه انجماد پایین وارد می شوند و در ماگمای باقیمانده غنی می شوند.

به طوریکه تبلور اولیوین، پیروکسن و آمفیبول و پلاژیوکلازهای غنی از کلسیم، باعث کاهش عناصر منیزیم، آهن و کلسیم در ماگما می گردد.

در این حالت سیلیسیم، سدیم، پتاسیم و عناصر کمیاب و موافر در صد بیشتری پیدا می کند. این قاعده زمانی رعایت می شود که کانیهها به محض تشکیل از ماگمای باقیمانده جدا شوند. این عمل تبلور بخشی (Partial Crystalization) می گویند. اگر کانیههای تشکیل شده از ماگمای باقیمانده جدا نشوند. در شرایط بعدی تغییر و تحول خواهند یافت. واکنش زنجیری یا توالی واکنش باون، همان تحولات کانیهها در شرایط ثانوی است. اما بر حسب شرایط ماگما دارای تغییراتی نیز است.

واکنش زنجیری در ماگمای غنی از سیلیس

سیلیکاتها در شرایطی پایدارند که در آن شرایط متبلور شده اند. چنانچه شرایط فیزیکی و شیمیایی محیط تغییر یابد بلور سیلیکات نیز تغییر خواهد کرد و بدین ترتیب که سیلیکات حرارت بالا و درجه حرارت پایین، در گامای باقیمانده حل شده و چنانچه عناصر متشکل آن وارد ساختمان کانی ها ی جدید می شوند. اولیوین در درجه حرارت پایین ناپایدار است و طبق روابط رو به رو در ماگماهای باقیمانده غنی از سیلیس، با مقداری سیلیس ترکیب شده و به پیروکسن تبدیل می شود.

پیروکسن $\longrightarrow$ سیلیس + اولیوین



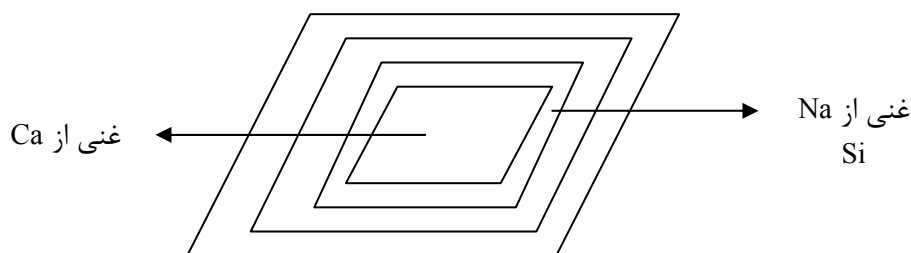
با کاهش حرارت رابطه زیر دیده می شود.

آمفیبل و بیوتیت $\longrightarrow$ ماگماهای غنی از مواد فرار + $\text{MgFesi}_2\text{O}_6$

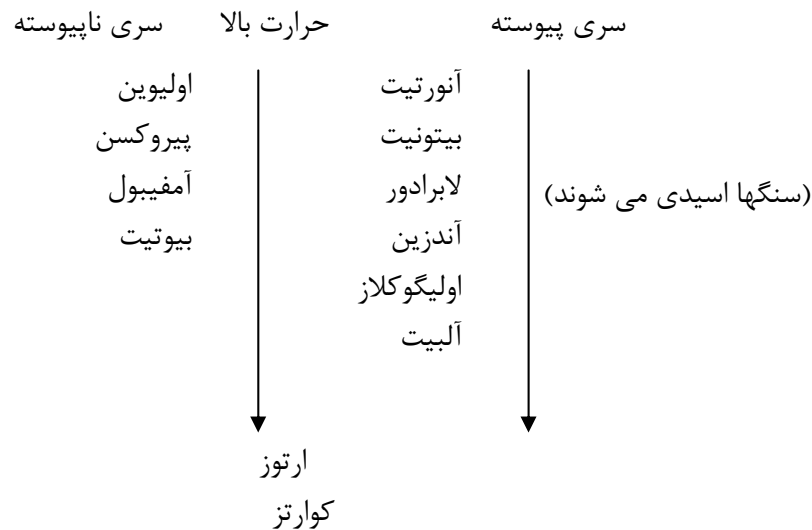
این تغییرات و تحول در سیلیکاتها در شرایط جدید (ماگمای باقیمانده) واکنش زنجیری نامیده می شود. واکنش زنجیری در فلدسپات پلاژیوکلاز نیز وجود دارد البته در صورتی که ماگما به آرامی سرد شود.

فلدسپات پلاژیوکلاز اسیدی $\longrightarrow$ فلدسپات پلاژیوکلاز حدواسط $\longrightarrow$ فلدسپات پلاژیوکلاز بایک (غنی از Si و سدیم) $\longrightarrow$ (غنی از کلسیم و فقیر از Si)

در شرایطی که انجماد ماگما به کندی صورت گیرد فلدسپات های پلاژیوکلاز (اسیدی و بازیک) همگن می شود. همگن شدن از طریق انتشار یون و در حالت جامد انجام می گیرد. این همگن شدن در باخت این کانیهها ظهور می یابد. در شرایطی که انجماد ماگما سریع صورت گیرد، پلاژیوکلازهای اسیدی تر، به صورت طبقات متحدالمرکز به دور پلاژیوکلازهای بازیک قرار می گیرند و در نتیجه پلاژیوکلازها دارای ساختمان منطقه ای (Zoning) می باشند.



کوارتز در انتهای واکنش زنجیری تشکیل می شود. در زیر ترتیب تبلور کانیهها در ماگماهای بازالتی اشباع از سیلیس و واکنش زنجیری آنها آورده شده است.



اگر ماگما به کندی سرد نشود واکنش زنجیری صورت نمی گیرد و کانیهای حرارت بالا در ماکمای باقیمانده، بدون اینکه فرصت تحول داشته باشند به وجود می آیند. (بازالت توله ایتی در شکافهای میان اقیانوسی) (این واکنش در اطراف بلور اولیوین در بازالت توله ایتی دیده می شود)

هیپرستن → سیلیس + اولیوین

البته واکنش به صورت ناقص انجام می گیرد و می توان بلورهای هیپرستن را در اطراف هسته از جنس اولیوین مشاهده کرد. این بافت نشانگر عدم وجود فرصت کافی برای تبدیل تمام اولیوین به پیروکسن است. اگر ماگمای بازالت توله ایتی، آرام منجمد شود احتمالاً بلورهای اولیوین تماماً به هیپرستن تبدیل می شود. کانیهای سنگینی مانند آپاتیت، زیرکن واسفن معمولاً جزء اولین کانیهای هستند که در ماگما تبلور می شوند و شرط تبلور این کانیها وجود عناصری است که در ساختمان آنها به کار میرود.

واکنش زنجیری در ماگماهای فقیر از سیلیس

اگر ماگما از لحاظ سیلیس فقیر باشد یکی از دو حالت زیر اتفاق می افتد:

- ۱- اگر ماگما از لحاظ سیلیس کمبود زیادی نداشته باشد، بلکه به اندازه لازم برای تشکیل سیلیکاتها باشد کانیهای حرارت بالا، در حرارت های پایین تر نیز در ماگمای باقیمانده پایدار باقی می ماند و واکنش زنجیری صورت نخواهد گرفت.
- ۲- اگر ماگما از لحاظ سیلیس خیلی کمبود داشته باشد در این صورت به جای تبلور فلدسپاتها، شبه فلدسپاتها که سیلیس کمتری برای ساخته شدن آنها مصرف می شود تشکیل می گردند. در این صورت سنگ آذرین یا دارای فلدسپات و شبه فلدسپات و یا دارای فقط شبه فلدسپات است.

تبلور در ماگمای آبدار تحت فشار

مقدار درصد آب ماگما بر روی نقطه تبلور کانیها اثر می گذارد، آب در هنگامی که ماگما تحت فشار باشد بر روی تبلور ماگما اثر میگذارد. (توده های آذرین نفوذی) به طوریکه نقطه ذوب کانیها در این شرایط کمتر از شرایط معمولی می باشد. (فشار 1atm) نقطه ذوب کوارتز در آزمایشگاه و بدون آب 1713°C و در حالت فشار آب 650°C می باشد. در حالیکه ماگما تحت فشار بخار آب قرار می گیرد. درجه حرارت تبلور کانیها نیز پایین می آید. مگنتیت در حالت وجود بخار آب و فشار بخشی از اکسیژن حتی پس از پلاژکلازها متبلور می شود.

در یک ماگمای گرانیتی، مقدار درصد آب بر تبلور کانیها به صورت زیر اثر می گذارد:
 اگر مقدار آب در ماگما کمتر از ۱/۲٪ باشد ← بیوتیت بعد از کوارتز متبلور می شود.
 اگر مقدار آب بین ۱/۲-۳٪ باشد ← بیوتیت بعد از فلدسپات آلکالن و قبل از کوارتز متبلور می شود.
 اگر درصد آب بیش از ۳٪ باشد ← تبلور بیوتیت قبل از فلدسپات های آلکالن صورت می گیرد.

وجود آب در ماگماها

۱- تغییر در ترتیب تبلور کانیها

۲- نقطه انجماد ماگماها

کانیها از لحاظ وجود آب در ساختار آنها شامل:

الف) کانیهای پیروژن: کانیهایی که ساختمان آنها آب و مواد فرار به کار رفته است.

ب) کانیهای پنوماتوژن یا دوتریک: کانیهایی که در ساختمان آنها آب و مواد فرار به کار رفته است.

کانیهای پنوماتوژن یا دوتریک به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- کانیهای پنوماتوژن حرارت بالا: آمفیبل، بیوتیت

۲- پنوماتوژن حرارت پایین: تورمالین، توپاز، مسکویت

اگر کانیهای پیروژن در حرارت پایین تحت تأثیر گازها و مواد فرار ماگما قرار بگیرند به کانیهای پنوماتوژن تبدیل می شوند. مانند پیروکسن و اولیوین به ترتیب به آمفیبل و فلوگوپیت یا سرپانتین تبدیل می شوند و فلدسپات آلکالن به مسکویت و تورمالین مبدل می گردند.

تأثیر فشار بر ترتیب تبلور کانیها

در صورتیکه ماگما در یک مکان ثابت قرار داشته باشد فشار خارجی حاکم بر ماگما (فشار لیتوستاتیک) با فشار درونی ماگما برابر می باشد.

وزن ضخامت از طبقات زمین که مانع بالا آمدن ماگماست = فشار خارجی وارده بر ماگما.

عکس العمل ماگما در مقابل فشار خارجی = فشار درونی یا داخلی ماگما

بخشی از فشار درونی ماگما را فشار سیالات تشکیل می دهد. به طویکه اگر مقدار آب ماگما، مقداری باشد که در ماگما

اشباع نشده باشد، آب موجود در ماگما فشار بخشی ایجاد می کند (یعنی آب، بخشی از فشار وارد بر ماگما را تشکیل می دهد) پس در صورت اشباع نشدن از آب:

فشار سیالات + فشار جامدات = فشار کل

$$P_t = P_s + P_f$$

فشار سیالات = فشار آب + فشار مواد فوار

$$P_f = P_{N_2O} + P_{CO_2} + \dots$$

اثر صورتهای مختلف فشار بر تربیت تبلور، ذوب و انجماد در کانیها

اگر نقطه ذوب یا تبلور جسمی با افزایش فشار کاهش پیدا کند منحنی ذوب و انجماد در این جسم منفی می شود، اگر نقطه ذوب یا تبلور جسمی با فشار افزایش یابد منحنی ذوب و انجماد این جسم مثبت است.

چنانچه در فشار بخار آب، فشار کلی از حد معینی تجاوز کند، آب در مذاب حاصل حل می‌گردد و ذوب جامد باقی مانده از منحنی ذوب و انجماد تثبیت می‌کند.

افزایش فشار ممکن است سبب وارونه شدن ترتیب تبلور کانیها نیز شود. در یک ماگمای حد واسط (آندزیتی) و تحت فشار بخار آب در فشارهای پایین پلاژیوکلاز قبل از هورنبلند متبلور می‌گردند در حالیکه در فشارهای بالاتر هورنبلند مقدم بر تبلور فلدسپاتهای پلاژیوکلاز می‌باشد.

در یک ماگمای بازالتی غنی از آلومینیوم در فشارهای کمتر از ۱۰Kb کانیهای که متبلور می‌شوند عبارتست از ابتدا پلاژیوکلاز سپس اولیوین و بعد کلینوپیروکسن. در فشارهای ۱۸-۱۰ کیلو بار (اعماق ۳۵ تا ۶۰ کیلو متری کانیهای حاصل از تبلور یک بازالت بی آب عبارت خواهد بود از پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن و در اعماق بیشتر از ۶۰ کیلومتری به جای پلاژیوکلاز، گرونا (گارت) در این بازالت متبلور می‌گردد.

اثر فشار بر دیاگرام ذوب یا تبلور ارتوز

اگر ارتوز تحت فشار بخار آب $2-2/5 \text{ Kbr}$ ذوب شود مذاب حاصل، ترکیبش شامل ارتوز و سیلیس خواهد شد در حالیکه بلورهای ریز لوسیت تشکیل شده اند. در مرحله بعدی که تمامی ارتوز ذوب شد لوسیت نیز ذوب می‌شود و تمامی مذاب ترکیب ارتوز پیدا خواهد کرد. این سیلیس اضافی موجود در مذاب همان سیلیسی است که می‌بایست با بلورهای ریز لوسیت تشکیل ارتوز می‌داد.

در فشارهای بالای بخار آب $2/5 \text{ Kbr}$ و ۱۰ Km از ذوب ارتوز مستقیماً مایعی با ترکیب ارتوز به دست می‌آید. این نحوه ذوب و یا تبلور را اصطلاحاً متناقض یا (Incongruent) نامیده می‌شود. کانیهای مثل هیپرستن، اژیرین، پارکازیت در اثر تغییر فشار نحوه ذوب یا تبلورشان تغییر می‌کند. در فشار بالا از ذوب پارگازیت مذابی با ترکیب آنورتیت + نفلین + آب و جامدی متشکل از فورستريت + دیوپسید + اسپینل حاصل خواهد شد. در حالیکه در فشارهای پایین ضمن از دست دادن آب به مجموعه ای از کانیهای فوق الذکر تبدیل می‌گردد.

تبلور در ماگما غنی از عناصر قلیایی (آلکالن)

اگر در یک ماگما مجموع درصد اکسیدهای سدیم و پتاسیم مساوی یا بیشتر از درصد اکسید آلومینیوم باشد. $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq \text{Al}_2\text{O}_3)$ توالی باون معکوس می‌گردد و ترتیب تبلور دیگری به نام توالی آگپائی تیک جای توالی باون را می‌گیرد. در توالی آگپائی تیک تبلور فلدسپاتهای آلکالن مقدم بر تبلور آمفیبول و پیروکسن است. در سنگ های آذرین حاصل از چنین ماگمایی بین بلورهای نفلین کانیهای مافیک مثل اژیرین، بیوتیت، آمفیبول های سدیم درآ قرار می‌گیرد که نشانه تأخیر در تبلور این کانیهای گزنومورف می‌باشد.

مراحل مختلف انجماد ماگماها

مراحل مختلف انجماد در سنگ های آذرین دورنی

سنگهای آذرین دورنی از انجماد ماگماها در اعماق زمین حاصل می‌شوند. طول مدت انجماد سرد شدن ماگماها با عمقی که ماگما در آنجا متمرکز و در حال سرد شدن است بستگی دارد زیرا طبقات رسوبی و دگرگونی پوسته زمین که مانند سرپوش بر روی مخزن ماگما قرار گرفته اند مانع از سرد شدن سریع ماگما می‌شوند. همچنین در عمق زیاد گرا دیان زمین گرمایی بالا، سرد شدن توده آذرین را به تعویق می‌اندازد. محدود بودن و تحت فشار قرار گرفتن ماگماها در اعماق زمین نیز باعث می‌شود

که مواد فرار ماگماها به سرعت از ماگما جدا نشوند و بتوانند از یک طرف انجماد ماگما را به تأخیر بیندازند و از طرف دیگر در اواخر انجماد وارد ساختمان کانیها گردند.

در انجماد ماگماها و تشکیل سنگ های آذرین درونی چهار مرحله قابل تشخیص می باشد:

۱) مرحله ارتو ماگماتیک (Stade Orhomagmatique)

تمامی سیلیکاتهای تشکیل دهنده جسم سنگ آذرین از اولیوین گرفته تا کوارتز متبلور می گردند. مایع باقیمانده که بسیار غنی از سیلیس، آلومین، فلزات قلیایی و مواد فرار می باشد به صورت پرده ای نازک فضای بین سیلیکاتها را پر می کند.

۲) مرحله پگماتیک (Stade Pegmatidique)

در این مرحله ماگمای باقیمانده که فضای بین بلورها را پر کرده کم کم با هم جمع شده به سمت بالا و مناطق کم فشار به حرکت درمی آید. این مایع عاقبت در شکاف های خود توده آذرین و یا در شکاف سنگ های دربرگیرنده توده آذرین به صورت رگه هایی متشکل از بلورهای درشت، آلبیت، کوارتز همراه با کانیهای پنوماتوژن (میکای سفید، تورمالین، توپاز و غیره) متبلور می گردند در سنگ شناسی این رگه ها را رگه های پگماتیت یا آپلیت می گویند. آپلیت پگماتیتی دانه ریز و غنی از ارتوزو کوارتز بدون کانیهای تیره و پنوماتوژن.

۳) مرحله پنوماتولیتیک (Stade Pneumatolytique)

در مرحله پنوماتولیتیک چیزی که از ماگما باقی می ماند فقط گازها و بخارات پر حرارت می باشد که آخرین درزها و حفره های سنگ آذرین را پر کرده است. این گازها و بخارات پر حرارت فقط نقش تخریب و تجزیه سیلیکاتها را به عهده دارد. مرحله رشد فوق العاده بلورهاست.

بر اثر تأثیر گاز B (بر) و (فلوئور) F بر فلدسپاتها ————— تورمالین به جای فلدسپات تشکیل می شود.

بر اثر تأثیر گاز Cl بر فلدسپاتها ————— این کانیها را به ورنریت (اسکاپولیت) مبدل می سازد.

بر اثر تأثیر گازها بر فلدسپاتها مجموعه ای از کوارتز و مسکویت به نام گریزن تشکیل می شود.

در این مرحله آب فوق بحرانی (بسیار داغ) $375^{\circ}\text{C} - 220\text{Kb}$ و پرفشار باقیمانده، قدرت حلالیت فوق العاده دارد و در آن مواد معدنی عناصر کمیاب و هیگروما گمافیل محلول هستند که ضمن بالا آوردن و سرد شدن، در شکاف سنگهای آذرین موادی مثل مولیبدنیت، ولفرامیت، کاسیتريت و کانیهای مس به جا گذاشته می شود. حرارت این گازها در این مرحله ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد است.

۴) مرحله گرمایی با هیدروترمال (Stade hydro thetmal)

آخرین باقیمانده ماگما آب داغ همراه با گازها به خصوص CO_2 می باشد. در این مرحله آب پر حرارت مایع و با وزن مخصوص متغیر می باشد. (حداکثر حرارت ۳۰۰ درجه سانتی گراد)

اگر در مرحله هیدروترمال، آب داغ به صورت آدیباتیک (کاهش یکنواخت و پیوسته فشار در حرارت ثابت) صدور کند به بخار آب تبدیل می گردد. ولی اگر همراه با کاهش حرارت صعود کند به صورت مایع به سطح زمین می رسد.

این آب در حین عبور از شکافهای توده آذرین، بر سیلیکاتها اثر کرده و آنها را دگرسان می کند این دگرسانی را هیدروترمال می گویند.

در اثر تأثیر آب داغ بر فلدسپاتهای پتاسیم دار، کائولینیت و یا سرسیت تشکیل می گردد. فلدسپاتهای کلسیم، سدیم به سرسیت، آلبیت، کلسیت، کوارتز، کلریت و اپیدوت تبدیل می شوند که به این مجموعه سوسوریت و به این واکنش سوسورتیزاسیون می گویند.

دراثر تجزیه هیدروترمال تغییرات زیر نیز حادث می‌گردد.

- اکسید آهن + کلریت → بیوتیت
- بیوتیت یا کلریت → آمفیبول
- کلریت ایدنگسیت و یا سرپانتین → اولوین
- آمفیبل (اورالیت) → پیروکسن

سرعت سرد شدن توده نفوذی به ترکیب و حجم و عمق توده آذرین و نیز گرا دیان زمین بر گرمایی منطقه مرتبط است. شدت تجزیه هیدروترمال مرتبط با مقدار آب، حرارت، مدت زمان عبور آب از درون سنگ ها، سرعت سرد شدن بخار یا آب و مقدار نوع مواد محلول در آب، جنس سنگ هایی که آب یا بخار داغ از آنها می گذرند و نوع شکستگی سنگ متغیر می باشد.

مراحل مختلف انجماد سنگهای آتشفشانی

در فعالیت های آتشفشانی قسمت اعظم ماده مذاب د ر خارج از پوسته زمین تشکیل می شود و شامل دو مرحله است: تبلور کانیهی دارای نقطه انجماد بالا در اعماق زمین. مرحله انتراتلوریک و مرحله افوریف که انجماد مذاب باقی مانده در سطح زمین است.

الف) مرحله انتراتلوریک: (Stade intratellurique)

ماگما به محض تشکیل، به علل مختلفی از سنگ مادر خود جدا شده و به طرف بالا حرکت می کند. گسل ها سبب می شوند که ماگما بتواند با کم شدن فشار خارجی، گازهای محلول خود را آزاد سازد آزاد شدن مواد فرار باعث تبدیل هیپوماگما و انبساط ماگما می شود. در صورتیکه ماگما به محض تشکیل و بدون توقف در پوسته زمین به سطح زمین بریزد، تراپ می گویند. این حالت وقتی به وجود می آید که محل تشکیل ماگما نسبت به سطح زمین فاصله زیادی نداشته باشد و در محل فعالیت شدید تکتونیکی (اشتقاق قاره) صورت می گیرد. در زمانی که ماگما در مخزن ماگمایی متوقف شد سیلیکاتهایی با نقطه تبلور بالا مثل اولوین، پیروکسن و پلاژیوکلازبازیک متبلور می شوند. بلورهایشان رشد می کنند. دراین موقع ماگما نیمه مذاب می شود. اگر مدت توقف ماگما زیاد باشد بر تعداد و حجم تبلور ماگما افزوده می شود اگر ماگما به سطح زمین راه نیابد (توسط عامل تکتونیکی مختلف) مراحل مختلفی که برای سنگ های آذرین درونی ذکر شده طی می کند و پس از انجماد به سنگ آذرین درونی تبدیل می شود. ولی اگر به علت وجود گسل به سطح زمین راه پیدا کرد، آنگاه عمل آتشفشانی صورت می گیرد و با محاسبه و درصد بلورهای درشت می توان مدت توقف نسبی ماگما ها را پی برد. اگر بلورهای درشت زیاد و دانه ریزی کم باشد نشانه توقف طولانی ماگماست و اگر بلورهای ریز زیاد و بلورهای درشت کم باشد نشانه عدم توقف طولانی و سرعت صعود زیاد است.

ب) مرحله افوزیف (Stade effusive)

ماگما در حین بالا آمدن، هر قدر که به سطح زمین نزدیکتر می شود فشار داخلی آن (فشار گاز های محلول و در ماگما) بر فشار خارج (فشار لیتوستاتیک ناشی از سنگینی طبقات بالاتر) برتری پیدا می کند تا اینکه در نزدیکیهای سطح زمین قشر نازکی از پوسته را متلاشی می کند و سنگ های این قشر را به صورت برش به فضا پرتاب و خود بیرون می ریزد. به محض خروج گدازه حرارت آن بالا می رود. بالا رفتن حرارت گدازه به علت اشتعال و اکسیداسیون بعضی از گازهای موجود در ماگما صورت می گیرد. مرحله فوران گدازه و اشتعال گازها را اصطلاحاً ولکانیسم می نامند. در نتیجه افزایش حرارت، پاره ای از کانیهها مثل آمفیبل و میکای سیاه تجزیه می شوند زیرا این کانیهها در فشار کم، حرارت زیاد را نمی توانند تحمل کنند. سپس با نقطه انجماد