



دانشگاه پتروشیمی
دانشکده علوم طبیعی
گروه زمین شناسی

پایان نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته پتروژئولوژی

عنوان:

مطالعه پتروژئوبیکی سنگهای آذرین منطقه مهمان (جنوب شرق قره چمن)

استاد راهنما:

دکتر علی عامری

۱۳۸۲ / ۹ / ۱۰

اساتید مشاور:

دکتر محسن مؤید

دکتر محسن مؤذن

پژوهشگر:

مجید سفیدی

بهمن ۱۳۸۱

۴۹۲۸۴

سازمان نظام مهندسی پتروشیمی
کمیسیون تخصصی پتروژئولوژی



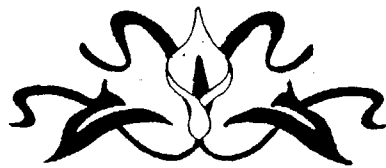
تقدیم بہ

آنان کہ

فاک را بہ نظر

کیمیا کنند

۴۹۲۸۴



بنام حضرت دوست که ناجسته اش یابند و نادیده دوستش دارند

سپاس بی کران ذات باریتعالی را سزد که همواره یاریش قرین و نورش راهگشا بوده است. بدون تردید، این پروژه، بدون یاری حق تعالی و همکاری دوستان به پایان نمی رسید. برخود وظیفه

می دانم از تمام سروران گرامی که در تهیه مجموعه حاضر یاری ام نمودند، قدردانی نمایم.

در این راستا، از آقای دکتر علی عامری استاد راهنمای ارجمندم که در مراحل مختلف تحقیق

راهنمایم بودند و امکانات مورد نیاز کارهای صحرائی، آزمایشگاهی و کتابخانه ای را با تلاش بسیار،

فراهم نمودند، آقایان دکتر محسن مؤید و دکتر محسن مؤذن، اساتید محترم مشاور، که هیچگاه از

کمک ها و راهنمایی هایشان بی نصیب نبودم، از اساتید گروه زمین شناسی، به ویژه آقای دکتر منصور

مجتهدی و آقای دکتر جهانگیری مدیریت محترم گروه، آقای دکتر بابایی ریاست محترم دانشکده

معدن دانشگاه سهند و آقای فقیه، مسئول آزمایشگاه کانی شناسی دانشکده معدن، بخاطر در اختیار

قرار دادن وسایل و امکانات آزمایشگاهی، سپاسگزارم. همچنین از دوستان ارجمندم آقایان محسن

صادقزاده، محمد علی حسنیپور، علیرضا جهانیار و همکار بزرگوارم آقای مهندس جعفر اصغری که در

انجام کارهای کامپیوتری یاری ام نمودند و سایر دوستان که ذکر اسامی آنها در حوصله این مکتوب

نمی گنجد، تقدیر و تشکر می نمایم.

مراتب قدردانی خود را از خانواده عزیزم و نیز همسر صبورم بخاطر رسم شکل ها و تایپ

متن های مختلف ابراز می دارم.

نام خانوادگی: سفیدی	نام: مجید
عنوان پایان نامه: مطالعه پترولوژیکی سنگهای آذرین منطقه مهمان (جنوب شرق قره چمن)	
استاد راهنما: دکتر علی عامری	
اساتید مشاور: دکتر محسن مؤید ، دکتر محسن مؤذن	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: زمین شناسی
دانشگاه: تبریز	گرایش: پترولوژی
دانشگاه: تبریز دانشکده: علوم طبیعی تاریخ فارغ التحصیلی: بهمن ۱۳۸۱ تعداد صفحه: ۹۴	
کلید واژه ها: قره چمن، سازند قم، محیط قاره ای، کوهزایی پیرنه، تبلور تفریقی، چگالی، تیپ KCG، محیط تکتونیکی بعد از برخورد	
چکیده:	
<p>منطقه مهمان در جنوب شرق قره چمن در استان آذربایجان شرقی واقع است. گرانیتوئیدهای منطقه در داخل سنگهای آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و دگرگونی مجاورتی ضعیفی بصورت اپیدوتی شدن، کلریتی شدن و سیلیسی شدن ایجاد نموده است. رسوبات مارنی و آهکی بلورین به رنگ زرد کرمی تا قرمز با آثار فراوان مرجان و دوکفه ای بصورت محدود برونزد دارند (سازند قم) که بحالت ناپیوسته بر روی رسوبات قدیمی تر قرار گرفته اند. در حد بین لایه های رسوبی - آتشفشانی ائوسن و لایه های مارنی - آهکی الیگومیوسن سازند قم، رسوبات قرمز رنگی وجود دارد که معرف رسوبگذاری در محیط قاره ای و به عبارت دیگر، خروج منطقه از آب، بر اثر قاز کوهزایی پیرنه می باشد. گرانیتوئیدهای گستره مطالعاتی، به دو گروه تقسیم بندی می شوند: گرانیتوئیدهای گروه A که دارای هورنبلند فراوان هستند و ضریب رنگینی بالایی دارند. در گرانیتوئیدهای گروه B، هورنبلند نادر است و ضریب رنگینی نسبتاً پایینی دارند و در قسمتهای شرقی دچار دگرسانی شدیدی شده اند. با توجه به شواهد صحرایی، جایگیری سنگهای گروه B قبل از سنگهای گروه A صورت گرفته که موجب نفوذ رگه های متعدد سیلیسی در قسمت شرقی توده B شده و در مجاورت آن، سنگهای گروه B دچار دگرسانی شدیدی شده اند. گرانیتوئیدهای گروه B محصول تبلور تفریقی گرانیتوئیدهای گروه A می باشند.</p> <p>چگالی ۲/۳۹ تن بر مترمکعب برای سنگهای A و ۲/۳۳ تن بر مترمکعب برای سنگهای B محاسبه شده است.</p> <p>با توجه به ویژگیهای پتروگرافی، ژئوشیمیایی و صحرایی توده ها، تیپ KCG (گرانیتوئیدهای کالک آلکالن غنی از آلکالی فلدسپار) و محیط تکتونیکی بعد از برخورد برای آنها پیشنهاد می شود.</p>	

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
	فصل اول: بررسی منابع
۲	۱- پایه های نظری
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- ماهیت ماگما
۳	۳-۱- ویژگی های فیزیکی ماگما
۳	۱-۳-۱- درجه حرارت
۳	۲-۳-۱- چگالی ماگما
۵	۳-۳-۱- گرانروی ماگما
۷	۴-۱- صعود ماگما
۸	۵-۱- تیپ های گرانیتوئیدی ، منشأ و محیطهای ژئودینامیکی
۸	۱-۵-۱- اسامی گرانیتوئیدها
۹	۲-۵-۱- تیپ بندی گرانیتوئیدها
۱۲	۳-۵-۱- تیپ گرانیتوئیدها و منشأ ماگماها
۱۶	۴-۵-۱- تیپ گرانیتوئیدها و محیطهای ژئودینامیکی
۱۹	۵-۵-۱- تیپ گرانیتوئیدها و چرخه ویلسون
۱۹	۱-۵-۵-۱- محیطهای ریفتی قاره ای
۱۹	۲-۵-۵-۱- پشته های میان اقیانوسی
۱۹	۳-۵-۵-۱- فرورانش و قوس آتشفشانی
۲۰	۴-۵-۵-۱- فرورانش و حواشی فعال قاره ای
۲۱	۵-۵-۵-۱- برخورد بین دو لیتوسفر قاره ای
۲۱	۶-۵-۵-۱- بالا آمدگی بعد از برخورد
۲۲	۷-۵-۵-۱- پایان فرسایش و آغاز چرخه جدید
۲۲	۲- پیشینه پژوهش

فصل دوم: مواد و روشها

- ۲۳ ۱-۲- مشخصات و موقعیت جغرافیایی منطقه
 ۲۴ ۲-۲- سیر مطالعاتی

فصل سوم: نتایج و بحث

- ۲۵ ۱-۳- زمین شناسی عمومی منطقه مهمان
 ۲۵ ۲-۳- چینه شناسی منطقه مهمان
 ۲۵ ۱-۲-۳- واحدهای ائوسن
 ۲۷ ۲-۲-۳- واحدهای الیگوسن
 ۲۷ ۳-۲-۳- واحدهای میوسن
 ۲۸ ۴-۲-۳- واحدهای کواترنری
 ۲۸ ۵-۲-۳- سنگهای نفوذی الیگوسن
 ۳۴ ۳-۳- پتروگرافی سنگ های آذرین
 ۳۴ ۱-۳-۳- گرانیت ها
 ۳۴ الف - ویژگی های ماکروسکوپی
 ۳۴ ب - کانی های اصلی
 ۳۶ ج - کانی های فرعی
 ۳۶ د - کانی های جزئی
 ۳۶ و - کانی های ثانویه
 ۳۷ ز - بافت سنگهای گرانیتوئیدی
 ۳۸ ۲-۳-۳- تراکی آندزیت (لاتیت)
 ۳۸ الف - ویژگی های ماکروسکوپی
 ۳۸ ب - کانی های اصلی
 ۳۸ ج - کانی های فرعی
 ۳۸ د - کانی های جزئی
 ۳۹ و - کانی های ثانویه

صفحه	عنوان
۳۹	ز - بافت سنگهای تراکی آندزیت
۳۹	۳-۳-۳- بازالت
۳۹	الف - ویژگی های ماکروسکوپی
۴۰	ب - کانی های اصلی
۴۰	ج - کانی های جزئی
۴۰	د - کانی های ثانویه
۴۰	و - بافت سنگهای بازالتی
۴۰	۳-۳-۱- آندزیت
۴۱	الف - ویژگی های ماکروسکوپی
۴۱	ب - کانی های اصلی
۴۱	ج - کانی های فرعی
۴۱	د - کانی های جزئی
۴۱	و - کانی های ثانویه
۴۱	ز - بافت آندزیتها
۴۲	۳-۳-۵- ریولیت و ریوداسیت
۴۲	الف - ویژگی های ماکروسکوپی
۴۲	۳-۳-۶- ویژگی های پترولوژیکی
۵۳	۳-۴-۱- ژئوشیمی سنگهای آذرین
۵۳	۳-۴-۱- ژئوشیمی عناصر اصلی
۵۳	۳-۴-۱-۱- طبقه بندی سنگهای گرانیتوئیدی
۵۳	الف - طبقه بندی گرانیتوئیدها با استفاده از نمودار Ab - An - Or
۵۳	ب - طبقه بندی گرانیتوئیدها با استفاده از کاتیونها
۵۵	۳-۴-۱-۲- نمودارهای تغییرات
۵۹	۳-۴-۱-۳- تفسیر روندها در نمودارهای تغییرات
۵۹	۳-۴-۱-۴- ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگها
۶۱	۳-۴-۱-۵- محاسبه چگالی ماگما

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۲	۳-۱-۲- ژئوشیمی عناصر کمیاب
۶۶	۳-۱-۳- مدل تکتونو - ماگمایی
۶۸	۳-۱-۴- نتیجه گیری
 منابع	
۷۰	منابع فارسی
۷۰	منابع انگلیسی
 ضمیمه	
۷۷	جدول (۱) : نتایج تجزیه مودال نمونه های منطقه مطالعاتی
۷۸	جدول (۲) : ویژگی های پتروگرافی سنگهای گرانیتوئیدی
۸۱	جدول (۳) : ویژگی های پتروگرافی سنگهای آذرین بیرونی
۸۳	جدول (۴) : نتایج آنالیز شیمیایی گرانیتوئیدها
۸۴	جدول (۵) : کانی های نورم CIPW و Barth-Niggl
۸۵	جدول (۶) : محاسبه چگالی ماگمای سنگهای گروه A و B
۸۶	جدول (۷) : نسبتهای کاتیونی و نورمی
۹۰	جدول (۸) : پارامترهای کاتیونی و نورمی
۹۱	جدول (۹) : غلظت عناصر ناسازگار و مقادیر نرمال شده آنها نسبت به MORB و ORG
۹۳	جدول (۱۰) : ضریب جدایش کانی / مذاب برای مذابهای داسیتی تا ریولیتی
۹۴	چکیده انگلیسی

مقدمه

هنه سنگها محصول یک سری فرایندهای شیمیایی و فیزیکی هستند که در زمانهای گذشته اتفاق افتاده اند. این سؤال همواره مطرح است که، آیا می توان از وضعیت فعلی سنگها برای یادگیری فرایندهای مؤثر در کانی شناسی، بافتها، متغیرهای شیمیایی، شکل، اندازه، موقعیت و حتی مکانیسم های جایگیری توده های نفوذی استفاده نمود؟ پاسخ این پرسشها مثبت است و زمین شناسان، در طول قرنهای تلاش نموده اند تا بتوانند پاسخهای مناسبی برای سوالات مطرح شده، پیدا نمایند و در این راستا از یافته های جدید علوم مختلف همانند فیزیک، شیمی و ریاضی کمک گرفته اند.

برای مطالعه سنگهای گرانیتوئیدی دلایل فراوانی وجود دارد که می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- گرانیتوئیدها، یکی از فراوان ترین سنگهای نفوذی در پوسته بالایی هستند که فراوانی آنها را نمی توان نادیده گرفت.
 - ۲- این سنگها می توانند از مناطق عمیق پوسته و حتی گوشته بالایی منشأ بگیرند.
 - ۳- همانند سایر سنگها، گرانیتوئیدها در ارتباط با پلیت تکتونیک می باشند.
 - ۴- اغلب گرانیتوئیدها در تشکیل کانسارهای فلزی حائز اهمیت بوده و در تحولات اقتصادی نقش بسزایی دارند.
- در نظر گرفتن مطالب فوق، انگیزه کافی برای مطالعه گرانیتوئیدها و امکان پاسخ گویی به سوالات مطرح شده را فراهم می نماید. رساله حاضر تحقیقی در جهت پی بردن به فرایندهای مؤثر در تشکیل گرانیتوئیدها و تاریخچه تکوین آنها در منطقه آذربایجان میباشد.

فصل اول:
پررسی منابع

۱- پایه‌های نظری

۱-۱- مقدمه

در آغاز بحث، برای رفع هر نوع ابهامی، تعریف مختصری از علم پترولوژی و وظایف آن ارائه می‌گردد.

هدف علم پترولوژی عبارت است از فراهم کردن درکی واضح از علل تنوع فراوان در سنگهای سطح کره زمین و ایجاد بینشی روشن نسبت به طبیعت موادی که در داخل زمین قرار دارند، موادی که مستقیماً قابل مشاهده نیستند ولی نقش مهمی را در تاریخچه زمین به عهده دارند. مطالعات پترولوژیکی، به دو گروه تقسیم می‌شوند: ۱- شناسایی و طبقه بندی سنگها ۲- برقراری ارتباط بین اطلاعات و ساختن تئوری درباره منشأ سنگها.

۱-۲- ماهیت ماگما

سنگهای آذرین از ماده مذابی بنام ماگما بوجود می‌آیند، که بطور عمده، از عناصر اکسیژن و سیلیسیم تشکیل شده است، علاوه بر آنها، عناصر آلومینیم، کلسیم، منیزیم، آهن، سدیم و پتاسیم نیز در ماگما وجود دارند. بنابراین، ماگماها، مذابهای سیلیکاتی هستند و ماگمایی که فاقد سیلیسیم بوده و یا مقدار آن کم باشد، نادر است، چنین ماگماهایی ترکیب کربنات کلسیم، سولفید یا اکسید آهن دارند. عناصر اصلی ماگماها در اثر سرد شدن، با هم ترکیب شده و کانی های سنگ ساز شامل کوارتز، فلدسپارها، فلدسپاتوئیدها، پیروکسن ها، الیوین ها و در صورت حضور آب، آمفیبولها و میکا را بوجود می‌آورند. همچنین، عناصری که نمی‌توانند وارد ساختمان کانی های اصلی شوند، کانی های فرعی مانند اکسیدهای آهن، تیتانیم، زیرکن، آپاتیت و سولفید را تشکیل می‌دهند (Philotts, 1994).

محصول انجماد ماگما، سنگ می‌باشد و تاریخچه یک سنگ آذرین، با تشکیل ماگما در درون زمین شروع می‌شود. ترکیب ماگما با طبیعت سنگهای منشأ و فرایندهای ذوب تعیین می‌گردد. وقتی ماگما به مقدار کافی تولید شد، حالت شناوری، صعود آنرا باعث می‌شود. ممکن است در طول صعود، ترکیب شیمیایی ماگما تغییر نماید. ماگما می‌تواند به سطح زمین صعود کند و گدازه‌ها را تشکیل دهد و در صورت داشتن مواد فرار، خاکسترهای آتشفشانی را نیز ایجاد می‌نماید. ولی بیشتر ماگماها در درون زمین منجمد می‌شوند که این سرد شدن و تبلور آرام، ترکیب اولیه ماگما را دچار تغییر می‌کند. توجه به ویژگیهای فیزیکی ماگما از اهمیت خاصی برخوردار است که در بخش بعدی به تفصیل بحث خواهد شد.

۳-۱- ویژگی های فیزیکی ماگما

ویژگی های فیزیکی ماگما عبارتند از درجه حرارت، چگالی و گرانشی.

۳-۱-۱) درجه حرارت : در طول فورانهای آتشفشانی می توان مستقیماً دمای ماگما را بوسیله پیرومتر های نوری (optical pyrometers) و ترموکوپل ها (thermocouples) اندازه گیری نمود. ولی چنین اندازه گیریهایی با خطرات جانی شدیدی توأم هستند، که باعث رونق آزمایشهای تجربی جهت تعیین دمای ماگماها شده است. این آزمایشات، اولین بار توسط Sir James Hall انجام گرفت و سپس توسط James Hutton پی گرفته شد.

در این بحث توجه به این مطلب، مهم است که سنگ اجتماعی از چندین کانی بوده و موجب می شود که یک سنگ دمای ذوب واحدی نداشته باشد. همچنین، محدوده دمای ذوب، فقط دمای مینیمم مورد نیاز تولید مایع را نشان می دهد و ماگما می تواند دماهای بالاتری نیز داشته باشد. اگر ماگما سریع منجمد شود، بافت ریز بلور و یا شیشه ایجاد می کند. حضور فنوکریست ها نشان می دهد که بیشتر ماگماها دمایی بین شروع و پایان ذوب را دارند. دمای گدازه های بازالتی بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد، در صورت اکسیداسیون گازهای ماگمایی، دمای گدازه های بازالتی می تواند از این مقدار هم فراتر رود. اغلب گدازه های ریولیتی دمایی در حدود ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد دارند (Philpotts, 1994). افزایش فشار موجب بالا رفتن دمای ذوب شده (Philpotts, 1994) و اگر آب نیز وجود داشته باشد، باعث بالا رفتن میزان انحلال آب در ماگما می شود، که این امر موجب کاهش دمای ذوب می گردد (Philpotts, 1994). بازالت و ریولیت، می توانند در حضور آب در چند صد درجه پایین تر از دمای ذوب خود، ذوب شوند. چندین عامل، میزان سردشدگی ماگما را کنترل می کنند: (۱) گرادیان حرارتی (۲) میزان انتقال حرارت (diffusion) از میان سنگ و ماگما (۳) ظرفیت ماگما و سنگهای در بر گیرنده (۴) شکل توده ماگمایی (Philpotts, 1994).

۳-۱-۲) چگالی ماگما : مهمترین فرایندهای پترولوژیکی، مانند شناوری بوسیله چگالی ماگما کنترل می شوند. در واقع، ماگماهایی که از میان لیتوسفر صعود می کنند، از نظر ترکیب شیمیایی، محدوده مشخصی را دارا هستند که بوسیله چگالی ماگما تعیین می شود و لیتوسفر به صورت یک فیلتر چگالی (density filter) عمل می نماید. ممکن است بلورها، در سطح ماگما شناور باشند و یا ته نشین شوند و بدین ترتیب ترکیب ماگمای باقی مانده، تغییر می نماید (differentiation، تفریق). این فرایندها ناشی از اختلاف چگالی بلور و ماگما می باشند. در آشیانه های ماگمایی که مواد مذاب

تازه، متناوباً وارد می شوند برای مثال در پشته های میان اقیانوس — و اختلاط ماگمایی (magma mixing) وقتی امکان پذیر است که اختلاف چگالی زیاد نباشد، در صورت متفاوت بودن چگالی، ماگماها جدا از هم باقی می مانند و اختلاط اتفاق نمی افتد. اختلاط ماگمایی نقش مهمی در ژنز بعضی از انواع سنگها دارد. چگالی ماگماها از چندین روش تعیین می شود (Philpotts, 1994) که در رساله حاضر، برای محاسبه چگالی ماگماهای منطقه، از حجم مولار جزئی اکسیدها استفاده شده است:

۱- در روش اول چگالی را می توان مستقیماً در دمای بالا با استفاده از شیشه هایی که سریعاً سرد شده اند، تعیین کرد.

از آنجائیکه شیشه، یک مایع سریع سرد شده است، چگالی دما بالا (high-temperature density) را می توان از اندازه گیری های دمای اتاق (room-temperature measurements) محاسبه نمود. تنها شرط در این روش، دانستن ضریب انبساط حرارتی (thermal expansion) است که با α نشان داده می شود و چگالی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\rho_T = \rho_1 [1 - \alpha (T - T_1)] \quad (1-1)$$

ρ_T و ρ_1 چگالی در دماهای T و T_1 و α ضریب انبساط حرارتی می باشد.

۲- روش دیگر تعیین چگالی، استفاده از حجم مولار جزئی (partial molar volume) اکسیدهای در بردارنده می باشد. (Bottinga et al. (1982) از تجزیه شیمیایی مایعات سیلیکاتی، حجم مولار جزئی اکسیدهای مختلف ماگماها را بدست آوردند (جدول ۱-۱). در این روش چگالی ماگماها از تجزیه شیمیایی سنگ محاسبه می گردد.

در هر محلولی، مانند ماگما، حجم مولار جزئی عضو i که با v_i نشان داده می شود، در اثر تغییر مولهای عضو i (n_i) در شرایط ثابت دما، فشار و تعداد مول سایر اعضا، تغییر می نماید. این تغییرات با فرمول زیر نشان داده می شود:

$$V_i = \left(\frac{\partial v}{\partial n_i} \right)_{T,P,n_j \neq i} \quad (2-1)$$

در این رابطه، مشتق جزئی V نسبت به n که با $\partial v / \partial n$ نشان داده می شود، بیانگر تغییرات حجم مولار جزئی در شرایط ثابت دما، فشار و مول سایر اعضای تشکیل دهنده ماگما به غیر از عضو i می باشد. حجم ماگمایی که دارای مقدار زیادی عضو تشکیل دهنده است از فرمول زیر بدست می آید:

$$V = V_a n_a + V_b n_b + \dots + V_i n_i = \sum V_i n_i \quad (3-1)$$

با توجه به این رابطه، مجموع حاصلضرب تعداد مول اجزاء سازنده ماگما در حجم مولارشان، حجم ماگما را تعیین می کند.

معمولاً ترکیب ماگما بصورت کسر مولی (mole fraction) بیان می شود. کسر مولی جزء X_i را با X_i نشان می دهند که عبارت است از $X_i = n_i / (n_a + n_b + \dots + n_i)$. معادله (۳-۱) را میتوان با تقسیم طرفین معادله به $(n_a + n_b + \dots + n_i)$ بصورت کسر مولی بیان نمود، که حاصل به شکل زیر خواهد بود:

$$V / (n_a + n_b + \dots + n_i) = V_a X_a + V_b X_b + \dots + V_i X_i \quad (۴-۱)$$

حجم ماگما تقسیم بر مجموع مولهای اجزاء را حجم مولار (molar volume) می گویند و با V_m نشان می دهند، در نتیجه رابطه (۴-۱) به شکل زیر بیان می شود:

$$V_m = \sum V_i X_i \quad (۵-۱)$$

از تقسیم وزن مولکولی ماگما به حجم مولی، چگالی ماگما حاصل می شود، وزن مولکولی عبارت است از $\sum M_i X_i$ و M_i وزن مولکولی عضو i می باشد:

$$\rho = \sum M_i X_i / \sum V_i X_i \quad (۶-۱)$$

۳- در آخرین روش، چگالی ماگما از ذوب کردن سنگها محاسبه می شود. اغلب سنگها در اثر ذوب شدن ۱۰٪ افزایش حجم پیدا می کنند. بنابراین، بیشتر ماگماها، ۹۰٪ چگالی سنگ معادل خود را دارند. چگالی اکثر ماگماها در حدود $2/3 - 3 \text{ Mgm}^{-3}$ (تن بر مترمکعب) می باشد که ماگماهای غنی از آهن، بیشترین مقدار را به خود اختصاص می دهند. فشردگی (compressibility) ماگماها اندک است و تغییرات فشار، تأثیر قابل توجهی بر روی چگالی نمی گذارد. به عنوان مثال، چگالی ماگمای بازالتی Kilauean به اندازه 133 Kgm^{-3} در 1 Gpa (۱ کیلوپار = $10/1$ گیگا پاسکال) افزایش می یابد (Kushiro, 1980). بنابراین، در صورت صعود این ماگما از عمق ۳۵ کیلومتری، چگالی از $2/742 \text{ Mgm}^{-3}$ به $2/610 \text{ Mgm}^{-3}$ کاهش می یابد. افزایش فشار ناشی از انحلال آب، موجب تغییر ترکیب شیمیایی ماگما در چگالی های پایین می شود (Bottinga and Weill, 1972). با اینکه روش مذکور واقعی تر به نظر می رسد، ولی با صعود ماگما، مواد فرار از آن جدا شده و در محاسبات چگالی لحاظ نمی گردند (Hall, 1987).

۳-۳-۱ گرانروی ماگما: بعضی از گدازه ها، می توانند مسافت زیادی را طی کنند در حالی که بعضی دیگر، حتی در دامنه های شیب دار هم جریان نمی یابند. گرانروی، خاصیت فیزیکی ماگماست که توجیه کننده مقاومت ماگماها در مقابل جریان یافتن می باشد. گرانروی، نقش مهمی در میزان (rate) جایگیری و شکل توده های نفوذی دارد، همچنین در ته نشینی و شناوری بلورها در ماگما نیز موثر است. ماگما همانند هر مایع دیگر، تحت تأثیر نیروهای برشی بطور ممتد تغییر شکل می دهد.

یک مایع رقتی بیحرکت است، هیچ نیروی برشی بر آن وارد نمی شود. همه مایعات بوسیله جریان یافتن به نیروی برشی عکس العمل نشان می دهند اما بعضی از این مایعات عکس العمل بسیار

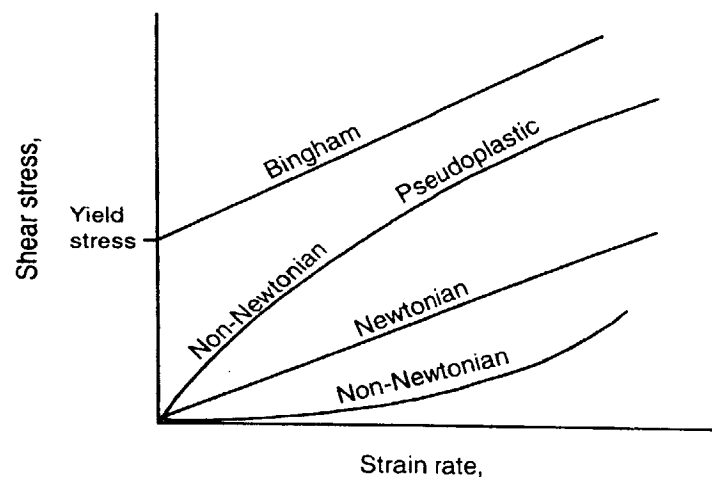
جدول ۱-۱: حجم مولار جزیی و ضریب انبساط اکسیدهای مایعات سیلیکاتی با ۸۰-۴۰٪ مول SiO_2 دردمای ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد (اقتباس از Philpotts, 1994)

Oxide	Molar Volume $V_i (\text{m}^3 \text{mol}^{-1} 10^6)$	Coefficient of Expansion $\alpha \cdot 10^5$
SiO_2	26.75	0.1
TiO_2	22.45	37.1
Al_2O_3	37.80	2.6
Fe_2O_3	44.40	32.1
FeO	13.94	34.7
MgO	12.32	12.2
CaO	16.59	16.7
Na_2O	29.03	25.9
K_2O	46.30	35.0

آهسته ای دارند. به ویژگی یک مایع که میزان تغییر شکل آنرا در مقابل تأثیر نیروی برشی نشان می دهد گرانیروی گویند.

$$\text{Viscosity} = \text{shear stress} / \text{rate of shear strain}$$

بین تنشهای برشی و نرخ کرنش بیشتر مایعات، رابطه خطی وجود دارد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: رابطه بین تنش برشی و نرخ کرنش برای مایعات نیوتنی و غیر نیوتنی (Philpotts, 1994)