وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده علوم زمین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی (پترولوژی)

بررسی ژئوشیمیایی و محیط تشکیل گابروها و گابرونوریت های افیولیت های منطقه سلیمانیه، سبزوار

توسط:

حدیثه اسماعیل زاده مقدم

استاد راهنما:

دکتر هادی شفائی مقدم

استاد مشاور:

دکتر قاسم قربانی

بهمن ماه ۱۳۹۱

بسم الله
الرحمن الرحیم

دانشگاه دامغان

دانشکده علوم زمین

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی (پترولوژی)

بررسی ژئوشیمیایی و محیط تشکیل گابروها و گابرونوریت های افیولیت های منطقه سلیمانیه، سبزوار

توسط:

حدیثه اسماعیل زاده مقدم

استاد راهنما:

دکتر هادی شفائی مقدم

استاد مشاور:

دکتر قاسم قربانی

بهمن ماه ۱۳۹۱

به نام خدا

بررسی ژئوشیمیایی و محیط تشکیل گابروها و
گابرونوریت های افیولیت های منطقه سلیمانیه، سبزوار

به وسیله:
حدیثه اسماعیل زاده مقدم

پایان نامه
ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی

از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:
زمین شناسی (گرایش پترولوژی)
از دانشگاه دامغان

ارزیابی و تایید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه : عالی

دکتر هادی شفائی مقدم، استادیار زمین شناسی گرایش پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان (استاد راهنما)

دکتر قاسم قربانی، استادیار زمین شناسی گرایش پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان (استاد مشاور)

دکتر محمود صادقیان، استادیار زمین شناسی گرایش پترولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود (استاد داور)

دکتر نادر نقی‌پور، استادیار زمین شناسی گرایش اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان (استاد داور)

دکتر محسن خادمی، استادیار زمین شناسی گرایش تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان (نماینده تحصیلات تکمیلی)

بهمن ۱۳۹۱

تقدیم به:

همسر و فرزند عزیزم که با صبر و بردباری مشکلات راه را بر من هموار ساختند.

سپاسگزاری:

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق » بسی شایسته است از استادان فرهیخته و فرزانه آقایان دکتر هادی شفائی مقدم به عنوان استاد راهنما و دکتر قاسم قربانی به عنوان استاد مشاور که با کرامتی چون خورشید ، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی هایشان بارور ساختند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از پدر و مادر عزیز، دلسوز و مهربانم که آرامش روحی و آسایش فکریم را فراهم نمودند تا با حمایت های همه جانبه در محیطی مطلوب، مراتب تحصیلی و نیز پایان نامه درسی را به نحو احسن به اتمام برسانم سپاسگزاری نمایم.

تشکر ویژه دارم از همسر گرامی و همراه همیشگی ام که با بودنش در کنارم مایه امید و آرامشم شد و فرزند عزیزتر از جانم که با صبر و بردباری خویش نبودنم را بسی تحمل نمود.

و در پایان شکر خدا که هر چه طلب کردم از خدا بر منتهای همت خود کامران شدم.

چکیده:

بررسی ژئوشیمیایی و محیط تشکیل گابروها و گابرونوریت های افیولیت‌های منطقه سلیمانیه، سبزوار

بوسیله:

حدیثه اسماعیل زاده مقدم

افیولیت‌های سبزوار یکی از مجموعه افیولیت‌های کرتاسه فوقانی می‌باشند که در بخش شمالی ایران مرکزی رخنمون دارند. این مجموعه افیولیتی مشتمل بر یک سکانس گوشته‌ای خوب توسعه یافته شامل: هارزبورژیت‌ها، لرزولیت‌ها، دونیت‌ها به همراه کرومیتیت‌ها بوده که توسط دایک های دیابازی تا گابرویی قطع شده اند و سکانس پوسته ای شامل اولترامافیک و مافیک‌های کومولایی، پیلولاواها به همراه رسوبات کرتاسه فوقانی- پالئوسن زیرین می‌باشد. منطقه مورد مطالعه (سلیمانیه شرق سبزوار) یک توالی متشکل از گابرونوریت‌ها، گابرو نوریت‌های آمفیبول دار، هورنبلند پگماتیت گابرو، پگماتیت گابروی ارتوپیروکسن دار، آمفیبول گابرو، لوکوگابرونوریت‌ها، الیوین-گابرونوریت‌ها، نوریت‌ها، دیوریت‌ها و آمفیبول لرزولیت‌ها را در بر می گیرد. بررسی شواهد پتروگرافی نشان می‌دهد که سه کانی پلاژیوکلاز، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن به عنوان کانی اصلی در تمام نمونه‌ها یافت می‌شوند. بافت-های موجود در تمام این واحدهای سنگی شامل ارتوکومولا، مزوکومولا و ادکومولا می‌باشد. با توجه به داده‌های الکترون مایکروپرب، در نمونه های گابروئیدی، آمفیبول‌های موجود را می‌توان به دوگروه تقسیم نمود. ترکیب آمفیبول‌های موجود در نمونه آمفیبول لرزویتی، شامل دو نسل می‌باشد: نسل اول از نوع پارگازیت هورنبلند تا ادنیتیک هورنبلند بوده و نسل دوم از نوع منیزیو هورنبلند می‌باشد همچنین در نمونه‌های آمفیبول‌گابرویی و گابرونوریت‌آمفیبول‌دار ترکیب آمفیبول‌ها ادنیتیک (با Si بالا) بوده و با توجه به شواهد میکروسکوپی اولیه می-باشند. ترکیب پلاژیوکلازها در این سنگ‌ها بین بیتونیت تا آنورتیت در تغییر می‌باشد. کلینوپیروکسن‌های موجود در توالی‌های کومولایی از نوع دیوپسید بوده و ارتوپیروکسن‌ها دارای ترکیب انستاتیت می‌باشند. الیوین‌ها دارای میزان FO بین ۸۱/۱ تا ۸۲/۲ درصد می‌باشند. اسپینل موجود در آمفیبول‌لرزولیت‌های منطقه سلیمانیه دارای عدد کروم (Cr#) بین ۰/۴۴ تا ۰/۴۵ بوده و در الیوین‌گابرونوریت‌ها و گابرونوریت‌های‌آمفیبول‌دار دامنه تغییرات (Cr#) به ترتیب برابر با ۰/۴۲ تا ۰/۴۴ و ۰/۵۹ تا ۰/۶۸ می‌باشد. مقدار اکسید تیتان نمونه‌های سنگی مورد مطالعه پایین بوده که نشان دهنده سرشت بونینیتی (تا تولئیت بسار تهی شده جزایر قوسی) ماگمای مادر آنهاست. تمام نمونه‌های مورد مطالعه دارای الگوی مسطح تا تهی شده در عناصر نادر خاکی سبک (نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین) می-باشند. غنی شدگی از عناصر LILE و تهی شدگی از عناصر HFSE از دیگر ویژگی سنگ‌های گابرویی این منطقه که نشان دهنده تشکیل آنها در محیط‌های مرتبط با فرورانش می‌باشد. مذاب مادر محاسبه شده بر اساس ترکیب کلینوپیروکسن برای نمونه آمفیبول‌لرزولیت و الیوین‌گابرونوریت دارای الگوی مسطح تا تهی شده از کلیه REE ها می‌باشد. این خصوصیت همراه با تهی شدگی از عناصری مانند Nb و Zr نشان دهنده وابستگی مذاب مادر به سری-های بونینیتی و ارتباط آن با زون‌های فرورانش می‌باشد. در مقایسه با گابروها، گدازه‌های افیولیت‌های سبزوار دارای سرشت کالک آلکالن بوده و همانند گابروها یک محیط فرورانش برای پیدایش آنها پیشنهاد می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فصل اول: (کلیات)..... ۱
۱-۱- مقدمه:..... ۲
۱-۲- افیولیت سبزوار:..... ۲
۱-۳-تاریخچه مطالعات قبلی در افیولیت های سبزوار:..... ۲
۱-۴- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه:..... ۵
۱-۵-آب و هوا و پوشش گیاهی:..... ۶
۱-۵-۱-درجه حرارت: ۶
۱-۵-۲- رطوبت هوا: ۷
۱-۵-۳-جریان هوا:..... ۷
۱-۶- پوشش گیاهی سبزوار:..... ۷
۱-۷- هدف از مطالعه:..... ۷
۱-۸- روش های مطالعه:..... ۸
فصل دوم: (زمین شناسی عمومی)..... ۱۰
۲-۱- معرفی افیولیت:..... ۱۱
۲-۲- تقسیم بندی انواع افیولیت ها:..... ۱۳
۲-۲-۱- تقسیم بندی افیولیت ها از لحاظ ژئوشیمیایی: ۱۳
۲-۲-۲- تقسیم بندی افیولیت ها بر اساس ترکیب کانی شناسی سکانس گوشته ای:..... ۱۴
۲-۳- افیولیت های ایران:..... ۱۵
۲-۴- جایگاه مجموعه افیولیتی سبزوار:..... ۱۷
۲-۵-زمین شناسی سکانس افیولیتی سبزوار:..... ۲۰
۲-۵-۱-پریدوتیت ها (هارزبورژیت ها، لرزولیت ها): ۲۲
۲-۵-۲- دونیت ها: ۲۲
۲-۵-۳- سرپانتینیت ها:..... ۲۴
۲-۵-۴- واحدهای گابرویی: ۲۴

۲-۵-۵ –واحدهای دیابازی: ۲۷
۲-۵-۶- واحدهای ولکانیکی: ۲۷
۲-۵-۷- رسوبات پلاژیک: ۲۷
۲-۵-۸- سنگ های اسیدی: ۲۷
۲-۵-۹- واحد کنگلومرایی و سنگ آهک های پالئوسن- ائوسن زیرین: ۲۸
۲-۵-۱۰- واحد ولکانیکی ائوسن: ۲۸
فصل سوم: (پتروگرافی)..... ۳۰
۳-۱- مقدمه:..... ۳۱
۳-۲-واحدهای سنگی افیولیت های منطقه سلیمانیه، سبزوار:..... ۳۱
۳-۲-۱-آمفیبول لرزولیت ها: ۳۲
۳-۲-۲-گابروهای پگماتیتی: ۳۲
۳-۲-۳-گابرونوریت ها: ۳۴
۳-۲-۴-الیوین گابرونوریت ها: ۳۷
۳-۲-۵-نوریت ها: ۳۷
۳-۲-۶-آنورتوزیت ها:..... ۳۷
۳-۲-۷-گابروها:..... ۳۹
۳-۲-۸-دیوریت ها: ۴۱
فصل چهارم: (ژئوشیمی)..... ۴۲
۴-۱- مقدمه:..... ۴۳
۴-۲-ژئوشیمی کل سنگ:..... ۴۳
۴-۲-۱- طبقه بندی و تعیین سری ماگمایی به کمک عناصر اصلی :..... ۵۰
۴-۲-۱-۱- نمودار مجموع آلکالی ها در مقابل اکسید سیلیسیوم (TAS): ۵۰
۴-۲-۱-۲- نمودار مثلثی AFM (Irvin & Baragar, 1971): ۵۱
۴-۲-۱-۳-نمودار TiO_2 در مقابل MgO: ۵۲
۴-۲-۲- تعیین سری ماگمایی به کمک عناصرکمیاب :..... ۵۳

۴-۲-۲-۱- نمودار Nb/Y در برابر Zr/TiO_2 (Winchester & Floyd, 1997): ۵۳
۴-۲-۲-۲- نمودار Zr/TiO_2-Y/TiO_2 (Piercey et al., 2004): ۵۴
۴-۲-۳- نمودارهای هارکر ۵۴
۴-۲-۳-۱- نمودارهای هارکر برای اکسیدهای اصلی: ۵۴
۴-۲-۳-۲- نمودارهای هارکر برای عناصر فرعی: ۵۸
۴-۲-۴- نمودار CaO/Al_2O_3 در برابر عدد منیزیم (#Mg)..... ۶۱
۴-۲-۵- تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی:..... ۶۲
۴-۳-بررسی خصوصیات ناحیه منشأ نمونه های منطقه با توجه به شواهد ایزوتوپی:..... ۶۷
۴-۳-۱- ایزوتوپ های Sr-Nd: ۶۷
۴-۳-۱-۱-نمودار Sr ε در مقابل εNd ۶۸
۴-۳-۱-۲-نمودار ایزوتوپی εNd در برابر $^{87}Sr/^{86}Sr$: ۶۹
فصل پنجم: (ژئوشیمی کانیایی)..... ۷۱
۵-۱- مقدمه:..... ۷۲
۵-۲- ژئوشیمی کانیایی واحدهای کومولایی بر اساس اکسیدهای اصلی:..... ۷۲
۵-۲-۱- الیوین:..... ۷۲
۵-۲-۱-۱- الیوین در آمفیبول لرزولیت ها و الیوین گابرونوریت ها:..... ۷۲
۵-۲-۲-کلینو پیروکسن: ۷۳
۵-۲-۲-۱-کلینوپیروکسن در آمفیبول لرزولیت ها و الیوین گابرونوریت ها: ۷۳
۵-۲-۲-۲-کلینوپیروکسن در گابرونوریت آمفیبول دار و آمفیبول گابروها:..... ۷۴
۵-۲-۲-۳-کلینوپیروکسن در لوکوگابرونوریت: ۷۴
۵-۲-۲-۴-کلینوپیروکسن در گابرونوریت ها:..... ۷۵
۵-۲-۳-۱- ارتوپیروکسن در الیوین گابرونوریت ها:..... ۷۶
۵-۲-۳-۲- ارتوپیروکسن در گابرونوریت های آمفیبول دار و آمفیبول گابروها:..... ۷۶
۵-۲-۳-۳-ارتوپیروکسن در لوکوگابرونوریت ها:..... ۷۷
۵-۲-۳-۴- ارتوپیروکسن در گابرونوریت ها:..... ۷۷
۵-۲-۴-اسپینل: ۷۸

۵-۲-۴-۱- اسپینل درآمفیبول لرزولیت ها و الیوین گابرونوریت ها: ۷۸
۵-۲-۴-۲-اسپینل موجود در گابرونوریت آمفیبول دار: ۷۹
۵-۲-۴-۳-نمودار TiO_2 در مقابل #Cr برای اسپینل های موجود در نمونه های گابروئیدی سلیمانیه: ۸۰
۵-۲-۵- پلاژیوکلاز: ۸۱
۵-۲-۵-۱-پلاژیوکلاز در گابرونوریت های آمفیبول دار و آمفیبول گابروها: ۸۱
۵-۲-۵-۲-پلاژیوکلاز در لوکوگابرونوریت ها: ۸۲
۵-۲-۵-۳- پلاژیوکلاز در گابرونوریت ها: ۸۲
۵-۲-۵-۴- پلاژیوکلاز درآمفیبول لرزولیت ها و الیوین گابرونوریت ها: ۸۲
۵-۲-۶-آمفیبول: ۸۳
۵-۳- ژئوشیمی کانیایی واحدهای کومولایی منطقه سلیمانیه با استفاده ازعناصر نادر خاکی و فرعی: ۸۵
فصل ششم: (پتروژنز) ۱۰۴
۶-۱- مقدمه: ۱۰۵
۶-۲- تعیین محیط تکتونیکی: ۱۰۵
۶-۲-۱- نمودار مثلثی AFM (Beard, 1986): ۱۰۶
۶-۲-۲- نمودار Hf-Nb-Th (Wood,1980): ۱۰۷
۶-۲-۳- نمودار Nb/Yb در مقابل Nb/La: ۱۰۸
۶-۲-۴- نمودار Na_2O در برابر TiO_2 ..... ۱۰۹
۶-۲-۵- تعیین محیط تکتونیکی با استفاده از تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی: ۱۰۹
فصل هفتم: (نتیجه گیری و پیشنهادات) ۱۱۳
۷-۱-نتیجه گیری: ۱۱۴
فهرست منابع ۱۱۷
چکیده انگلیسی ۱۱۷

فهرست جداول

جدول ۴-۱: مشخصات نمونه های سنگی انتخاب شده به منظور تجزیه ژئوشیمیایی. ۴۴
جدول ۴-۲: نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی برای نمونه های گابروئیدی منطقه سلیمانیه سبزوار به ترتیب به روش ICP-AES و ICP-MS ۴۵
جدول ۴-۳: نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی، عناصر کمیاب و نادر خاکی گدازه ها و دایک سلیمانیه سبزوار به ترتیب به روش ICP-AES و ICP-MS ۴۹
جدول ۴-۴: نتایج نسبت‌های Sr-Nd برای نمونه‌های سنگی مجموعه افیولیتی سبزوار ۶۸
جدول ۵-۱: نتایج تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Olivine در نمونه های منطقه سلیمانیه (دانشگاه نانسی فرانسه). ۸۸
جدول ۵-۲: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی OPX (سمت چپ) و CPX (سمت راست) دانشگاه نانسی ۸۹
جدول ۵-۳: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Spinel (دانشگاه نانسی) ۹۰
جدول ۵-۴: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Plagioclase (دانشگاه نانسی). ۹۱
جدول ۵-۵: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Amphibole (دانشگاه نانسی) ۹۳
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی CPX (دانشگاه کانازاوای ژاپن). ۹۴
جدول ۵-۷: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی OPX (دانشگاه کانازاوا). ۹۶
جدول ۵-۸: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Spinel (دانشگاه کانازاوا) ۹۸
جدول ۵-۹: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Plagioclase (دانشگاه کانازاوا). ۹۹
جدول ۵-۱۰: نتایج حاصل از تجزیه الکترون مایکروپرب کانی Amphibole (دانشگاه کانازاوا) ۱۰۱
جدول۵ -۱۱: عناصر کمیاب و نادر خاکی کلینوپیروکسن ها و آمفیبول‌های موجود در آمفیبول لرزولیت ها و الیوین گابرونوریت های منطقه سلیمانیه توسط Laser ablation (LA-ICP-MS). ۱۰۳

فهرست شکلها

شکل ۱-۱: راههای ارتباطی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از سایت اطلس جامع راه های ایران)..... ۶
شکل ۲-۱: نمایش یک سکانس افیولیتی ایده آل با تغییرات از (Winter 2001)..... ۱۲
شکل ۲-۲: پراکندگی افیولیت های مزوزوئیک ایران با تکیه بر موقعیت افیولیت های سبزوار..... ۱۶
شکل ۲-۳: پراکندگی افیولیت های سبزوار- تربت حیدریه و ارتباط آنها با دیگر واحدهای جوانتر..... ۱۸
شکل ۲-۴: تصویر ماهواره ای Landsat 7 از مجموعه افیولیتی سبزوار مقیاس (۱:۱۰۰۰۰۰)..... ۱۹
شکل ۲-۵: نقشه زمین شناسی افیولیت های سبزوار با توجه به موقعیت گابروئیدهای منطقه سلیمانیه (با تغییرات از نقشه زمین شناسی منطقه سبزوار)..... ۲۱
شکل ۲-۶: پراکندگی واحدهای سنگی و ارتباط بین آنها در مجموعه افیولیتی سبزوار..... ۲۳
شکل ۲-۷: پراکندگی واحدهای سنگی و ارتباط بین آنها در مجموعه افیولیتی سبزوار..... ۲۶
شکل ۲-۸: پراکندگی واحدهای سنگی و ارتباط بین آنها در مجموعه افیولیتی سبزوار..... ۲۸
شکل ۲-۹: پراکندگی واحدهای سنگی و ارتباط بین آنها در مجموعه افیولیتی سبزوار..... ۲۹
شکل ۳-۱: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۳۳
شکل ۳-۲: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۳۵
شکل ۳-۳: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۳۶
شکل ۳-۴: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۳۸
شکل ۳-۵: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۴۰
شکل ۳-۶: مجموعه کانیایی و روابط بافتی در واحدهای سنگی مجموعه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۴۲
شکل ۴-۱: نمودار TAS (LeBas et al., 1986) جهت طبقه بندی نمونه های گابروئیدی و گدازه های منطقه سلیمانیه (شرق سبزوار)..... ۵۱
شکل ۴-۲: نمودار AFM برای نمونه های گابروئیدی و گدازه های منطقه سلیمانیه (شرق سبزوار) با تغییرات از Irvin & Baragar, 1971 ..... ۵۲
شکل ۴-۳: نمودار TiO_2 در مقابل MgO برای نمونه های گابروئیدی و گدازه های منطقه سلیمانیه..... ۵۳
شکل ۴-۴: نمودار Nb/Y در برابر Zr/TiO_2 جهت طبقه بندی شیمیایی گابروئیدها و گدازهای منطقه (Winchester & Floyd, 1997). ۵۴
شکل ۴-۵: نمودار Zr/TiO_2 در برابر Y/TiO_2 (Piercey et al., 2004) برای گابروئیدها و گدازه های منطقه سلیمانیه. ۵۵
شکل ۴-۶: نمودار تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر اکسید منیزیوم برای گابروئیدهای منطقه سلیمانیه..... ۵۸
شکل ۴-۷: نمودار تغییرات عناصر کمیاب در مقابل MgO برای گابروئیدهای منطقه سلیمانیه..... ۶۱
شکل ۴-۸: نمودار نسبت CaO/Al_2O_3 در مقابل عدد منیزیوم برای گابروئیدها و گدازه های منطقه سلیمانیه..... ۶۳
شکل ۴-۹: نمودار عناصر نادر خاکی نرمالیز شده نسبت به کندریت (McDonough & Sun, 1995) و نمودار عناصر کمیاب نرمالیز شده نسبت به N-MORB (Sun & McDonough, 1989) برای گابروئید ها،گدازه ها و دایک منطقه سلیمانیه..... ۶۷

شکل ۴-۱۰: نمودار Sr Ɛ در مقابل Nd Ɛ برای نمونه های سنگی مجموعه افیولیتی سبزوار. اطلاعات از تغییرات سنگهای آذرین در افیولیت عمان (Benoit et al., 1996; McCullogh et al., 1980) ، محدوده بازالت های آلتره شده از سایت های DSP (۴۱۸ و ۴۱۷) بوسیله (Standigel et al., 1996) و همچنین کمپلکس پلوتونیکی Lasial از (Tsuchiya et al., 2013) برای مقایسه آورده شده است..... ۷۰
شکل ۴-۱۱: نمودار ƐNd در برابر 87Sr/86Sr برای نمونه‌های مجموعه افیولیتی سبزوار. جهت مقایسه نمونه‌های سنگی افیولیت عمان نیز از **(**Tsuchiya et al., 2013**)** آورده شده است..... ۷۱
شکل ۵-۱: نمودار Ni در مقابل FO برای الیوین موجود در توالی‌های کومولایی سبزوار. جهت مقایسه محدوده کومولاها و پریدوتیت های اقیانوسی از (Elthon et al., 1992) و همچنین محدوده ترکیبی الیوین در کومولاهای افیولیت کهنوج (کنعانیان، ۱۳۸۰) نیز آورده شده است..... ۷۴
شکل ۵-۲: ترکیب کلینوپیروکسن ها در واحدهای سنگی مختلف افیولیت های سبزوار(سلیمانیه)..... ۷۶
شکل ۵-۳: نمودار اکسید آلومینیوم در مقابل $TiO_2+Cr_2O_3$ با تغییرات از (Hout et al., 2002) برای کلینوپیروکسن های نمونه های گابروئیدی سلیمانیه..... ۷۷
شکل ۵-۴: ترکیب ارتوپیروکسن ها در واحدهای سنگی مختلف افیولیت های سبزوار(سلیمانیه)..... ۷۹
شکل ۵-۵: نمودار TiO_2 در مقابل Al_2O_3 برای اسپینل موجود در نمونه های گابروئیدی منطقه سلیمانیه. (Kamenetsky et al., 2001)..... ۸۰
شکل ۵-۶: a-نمودار TiO_2 در برابر #Cr جهت مقایسه اسپینل‌های موجود در نمونه‌های گابروئیدی سلیمانیه با نمونه‌هایی از پریدوتیت‌های گوشته‌ای پشته‌های میان اقیانوسی. b- مقایسه نمونه‌های گابروئیدی سلیمانیه با نمونه-هایی از پریدوتیت‌های قوس‌های آتشفشانی . با تغییرات از (Arai et al., ۲۰۱۱)..... ۸۲
شکل ۵-۷: ترکیب پلاژیوکلازها در واحدهای سنگی مختلف افیولیت سبزوار(سلیمانیه)..... ۸۴
شکل ۵-۸: نمودار Na در مقابل Na+Ca برای گابروئیدهای منطقه سلیمانیه (a). تغییرات ترکیبی آمفیبول ها در نمونه‌های گابروئیدی منطقه سلیمانیه سبزوار در نمودار Mg/(Mg+Fe) در مقابل سیلیس تتراهدری (Leak et al., ۱۹۷۷) برای آمفیبول هایی با $Na+K<0.5$, $Ti<0.5$, $Fe^{+3}<Al^{vi}$ (b) و برای آمفیبول‌هایی با $Na+K>0.5$, (c)$Ti<0.5$..... ۸۶
شکل ۵-۹: فراوانی عناصر نادر خاکی و کمیاب نرمالیز شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه برای کلینو پیروکسن-ها و آمفیبول‌های موجود در الیوین‌گابرونوریت ها و آمفیبول‌لرزولیت‌های منطقه سلیمانیه. جهت مقایسه کلینوپیروکسن‌های افیولیت عمان نیز آورده شده است **(**Tsuchiya et al, 2013**)** ۸۸
شکل ۶-۱: نمودار AFM برای تفکیک ژئوشیمیایی کومولاهای مافیک و اولترامافیک سلیمانیه با تغییرات از (Beard, 1986)..... ۱۰۷
شکل ۶-۲: نمودار Hf-Nb-Th (Wood, 1980) برای تقسیم بندی محیط تشکیل گابروئیدها و گدازه های منطقه سلیمانیه سبزوار..... ۱۰۸
شکل ۶-۳: نمودار Nb/Yb در مقابل Nb/La برای گابروئیدها و گدازه های منطقه سلیمانیه سبزوار..... ۱۰۹
شکل ۶-۵: نمودار عناصر نادر خاکی نرمالیز شده نسبت به کندریت (McDonough & Sun, 1995) و نمودار عناصر کمیاب نرمالیز شده نسبت به N-MORB (Sun & McDonough, 1989) برای گابروئیدها و مذاب اولیه نمونه های

منطقه سلیمانیه. نمونه های گابرویی افیولیت عمان از (Tsuchiya et al, 2013), همچنین نمونه های V_1 و V_2 از (Godard et al., 2003) نیز جهت مقایسه آورده شده است..... ۱۱۳

فصل ۱: کلیات

۱-۱- مقدمه:

اکثر افیولیت‌های ایران بقایایی از پوسته اقیانوسی نئوتتیس محسوب می‌شوند که افیولیت‌های خاور مدیترانه را به افیولیت‌های شمال هندوستان و هیمالیا متصل می‌کنند. بر اساس مطالعات انجام شده دراین مناطق، تشکیل بخش قابل توجهی از افیولیت‌های این نواحی مرتبط با فرورانش تشخیص داده شده‌اند (Dilek & Furnes, 2009). بر اساس سن و فراوانی، افیولیت‌های ایران به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند (Alavi, 1991; Arvin and Robinson, 1994): افیولیت‌های پالئوزوئیک با فراوانی کمتر و افیولیت‌های مزوزرئیک با فراوانی بیشتر.

۱-۲- افیولیت سبزوار:

افیولیت سبزوار بزرگترین و کاملترین مجموعه در بین مجموعه‌های افیولیتی واقع در شمال شرق ایران است. به گفته برخی از مولفین در کرتاسه بالایی، بر اثر همگرایی بلوک لوت و خرده بلوک‌های مجاور آن با البرز شرقی در ناحیه بینالود حوضه سبزوار که شاخه ای از اقیانوس نئوتتیس بوده است بر اثر فرورانش پوسته اقیانوسی به سوی شمال بسته شده است. و در نتیجه سبب رخنمون بقایای افیولیتی سبزوار شده است (Berberian & king 1981; Shojaat et al., 2003).

۱-۳-تاریخچه مطالعات قبلی در افیولیت های سبزوار:

- اولین بار Lensch et al., (1975) در سمپوزیوم ژئودینامیک جنوب غرب آسیا[1] به بررسی زمین شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز سنگ های افیولیتی ناحیه سبزوار پرداخته‌اند. به طور کلی مطالعات آنها شامل بررسی توالی‌های افیولیتی به ویژه دگرگونی‌های همراه (گارنت آمفیبولیت‌ها) بوده است. علاوه بر دگرگونی‌های فوق، دگرگونی‌های فشار زیاد-حرارت متوسط، به صورت گلوکوفان شیست و شیست‌های آبی نیز در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند. با توجه به وسعت و حجم این سنگ‌ها، می توان آنها را به فشارهای ناشی از عملکرد زون‌های فرورانش و برخورد در فازهای کوهزایی مرتبط دانست.

- Lensch et al., (1977, 1979, 1980) و همچنین Alavi-Tehrani, (1976, 1980) نیز به بررسی پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی سنگهای الترامافیک و مافیک افیولیتی و همچنین توالی‌های

[1] Geodynamic of South-West Asia

آتشفشانی جوانتر (ائوسن تا میوسن) و همراه با افیولیت‌ها پرداخته‌اند. به طور کلی سکانس اصلی افیولیت‌های سبزوار متشکل از سنگ های گوشته‌ای شامل هارزبورژیت، دونیت و سرپانتینیت می-باشد. هارزبورژیت‌ها از مهمترین و فراوان ترین سنگ های گوشته‌ای می‌باشند. سنگ های رسوبی این مجموعه افیولیتی شامل سنگ های آهکی پلاژیک فسیل‌دار متمایل به قرمز و رادیولاریت‌هایی به سن کرتاسه فوقانی می‌باشند. سنگ های آذرین پوسته‌ای عبارتند از گابروهای کومولایی لایه‌ای ایزوتروپ، دایک های صفحه‌ای دیابازی به همراه بازالت های توده‌ای و بالشی. از لحاظ پترولوژیکی سنگ های آتشفشانی جوان و همراه با افیولیت‌های سبزوار یک محدوده ترکیبی وسیعی شامل بازالت‌ها، آندزیت‌ها و داسیت ها را شامل می‌شوند.

- Noghreyan, (1982) به بررسی تکامل ژئوشیمیایی و پتروژنز افیولیت‌های سبزوار (در بخش مرکزی این افیولیت؛ ناحیه باغ جر) پرداخته است. در این مطالعه با توجه به ژئوشیمی توالی‌های گوشته‌ای، گابرویی و ولکانیکی افیولیت‌های سبزوار، یک محیط پشت قوس برای پیدایش این سکانس افیولیتی پیشنهاد شده است.

- Berberian and King, (1981) افیولیت‌های میکرو قاره ایران مرکزی، شامل افیولیت‌های نایین-بافت و افیولیت‌های سبزوار را بخشی از یک حوضه اقیانوسی عمیق (شاخه ای از نئوتتیس) همانند دریای سرخ فرض نموده که در بین میکرو قاره ایران مرکزی و بلوک سنندج - سیرجان (برای افیولیت های نایین- بافت) و کپه داغ یا اوراسیا (افیولیت‌های سبزوار) در حال باز شدن بوده است. مطالعات جدید تر نشان می‌دهد که افیولیت‌های نایین- بافت متفاوت از افیولیت‌های سبزوار بوده و در ارتباط با گسترش یک حوضه پشت قوس (برای مثال، Shafaii Moghadam et al., 2007, 2008, 2009) و یا زایش لیتوسفر اقیانوسی در مراحل اولیه فرورانش (subduction initiation) بوده است (برای مثال، Shafaii Moghadam et al., 2010).

Ohnenstetter, (1983) به معرفی گابروهای کومولایی مناطق سلیمانیه، باغ جر، نورآباد و طبس پرداخته و یک محیط مرتبط با پشته اقیانوسی ناپیوسته و یا یک حوضه کششی (Pull-apart) را برای پیدایش آنها پیشنهاد نموده است.

- Barot and Macaudiere, (1984) با مطالعه سری‌های آتشفشانی- رسوبی همراه افیولیت‌های سبزوار چهار تیپ تشکیلات متفاوت از کرتاسه فوقانی (کامپانین) تا پالئوسن تشخیص داده‌اند که مشتمل بر پیلولاواهای آلکالن؟ تا کالک آلکالن، لیت آرنایت‌ها، برش‌ها و آگلومراها همراه با رسوبات کرتاسه فوقانی می‌باشند. با توجه به این رخساره‌ها، آنها گسترش یک محیط پشت قوس را برای

ایجاد لیتوسفر اقیانوسی (در بخش‌های میانی کرتاسه فوقانی) و سپس نهشته شدن رسوبات مرتبط با یک قوس بالغ را در حوضه اقیانوسی در حال فرونشست (کرتاسه فوقانی- پالئوسن) پیشنهاد نموده‌اند.

Baroz et al., (1984) اولین بار به تعیین سن دایک‌های دیابازی و گابروهای ایزوتروپ مجموعه افیولیتی سبزوار با روش K-Ar پرداخته و سنی برابر ۸۵-۸۴ میلیون سال (کونیاسین) را برای تشکیل این سنگ‌ها پیشنهاد نموده‌اند.

- Shafaii Moghadam et al., (2009) به بررسی حضور کرومیت‌های نودولار در ناحیه فرومد (غرب سبزوار) پرداخته‌اند. به طور کلی پتانسیل کرومیتی موجود در این مجموعه شامل کرومیت-های غنی از آلومینیوم در هارزبورژیت‌ها و لرزولیت‌ها به همراه عدسی‌های بزرگ کرومیتیتی همراه با دونیت‌های زون انتقالی می‌باشند. در برخی از موارد همراه با کرومیت‌های پدیفرم موجود، دانه-های کرومیت به صورت نودولار، نیز تجمع پیدا کرده‌اند. این نهشته‌ها می‌توانند در یک محیط مرتبط با زون فرورانش[1] و در ارتباط با اثر متقابل مذاب- سنگ تشکیل شده باشند.

- Shojaate et al., (2003) پترولوژی، ژئوشیمی و تکتونیک افیولیت‌های سبزوار در را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعات با توجه به مشاهدات پتروگرافی و تحلیل داده‌های عناصر کمیاب و نادر خاکی دست کم سه نوع متفاوت سنگ های بیرونی شناسایی شده‌اند ۱- بازالت‌هایی مشتق شده از یک مذاب اولیه با ویژگی N- MORB که با گابروها از لحاظ پتروژنتیکی هم منشا می‌باشند. ۲- سنگ های بازالتی با ویژگی E-MORB ۳-سنگ های بازالتی با خصوصیات تولئیت‌های جزایر قوسی. با توجه به این خصوصیات ژئوشیمیایی آنها یک محیط فرورانش را برای تکامل افیولیت‌های سبزوار پیشنهاد نموده‌اند.

Rossetti et al., (2010) به بررسی تکامل سنگ های دگرگونی افیولیت های سبزوار پرداخته‌اند. سن سنجی U(Th)-Pb سن اواخر کرتاسه پیشین (آلبین) را برای پیدایش و تکامل دگرگونی‌های این منطقه نشان می‌دهد.

[1] Supra-Subduction Zone