

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه

گروه زمین‌شناسی

رساله جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی

گرایش پترولوژی

عنوان

**پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های مافیک تا اسیدی در زون افیولیت ملانژهای جنوب  
شرق سلطان آباد سبزوار با نگرش ویژه بر توده‌های گابرویی**

استاد راهنما:

**دکتر سید مسعود همام**

استاد مشاور:

**دکتر آزاده ملکزاده شفارودی**

نگارنده:

**محمد شورگشتی**

بهمن ماه ۱۳۹۱

## تعهد نامه

**عنوان رساله:** پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین درونی مافیک تا اسیدی در زون افیولیت‌ملازهای جنوب شرق سلطان‌آباد سبزوار با نگرش ویژه بر توده‌های گابرویی.

اینجانب محمد شورگشتی دانشجوی دوره کارشناسی‌ارشد رشته زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پترولوژی، ژئوشیمی سنگ‌های آذرین درونی مافیک تا اسیدی در زون افیولیت‌ملازهای جنوب شرق سلطان‌آباد با راهنمایی دکتر سید مسعود همام و دکتر آزاده ملکزاده سفارودی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در این رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی به جایی ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد است و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از آن رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۱۲

امضای دانشجو

## حق نشر و مالکیت نتایج

حق انتشار و بهره‌برداری از نتایج این پایان‌نامه متعلق به نگارنده آن است. هرگونه کپی برداری به صورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نگارنده یا کتابخانه دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد مجاز می‌باشد.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

© متن این صفحه باید در نسخه تکثیر شده وجود داشته باشد.

قل سیروانی الارض فانظروا کیف بدأ الخلق (سوره عنکبوت آیه ۲۰)

بگوید زمین سیر کنید و بسکرید خداوند چگونه آفرینش را بوجود آورده است.

خداوند را سپاس می گویم بر نعمت های بیکرانیش

و با عرض ارادت و ادای احترام به پیشگاه ملکوتی ولی نعمتان، علی بن موسی الرضا که مراد بجوار خود خواند و

به این بنده با نظر عنایت نگر است و مراد برداشتن این گام هر چند کوچک یاری فرمود.

تقدیم به:

پدرم

تکیه گاه استوار زندگیم

به مادرم

زیباترین هدیه خدا

به همسر و فرزندان عزیزم

که همواره وجودشان کرمانش زندگیم بوده است.

## مشکر و قدردانی

پاس خدای را که سفر وجود آدمی را به پیمان علم، ایمان و شرافت، بنحید و بوستان طالبانش راه چشمه زلال جهاد فرین نمود. بدین وسیله از زحمات اساتید بزرگوار جناب آقای دکتر سید مسعود همام و سرکار خانم دکتر ملک زاده که موفقیت خود را مرهون حمایت و راهنمایی های بی دریغ این عزیزان می دانم، مشکر نموده و باینکه زحمات این بزرگواران شایستگی تقدیری وصف ناشدنی و پاس بی پایان را دارد. امید است بتوانیم ذره ای از مقام والا ایشان را ارج نهم. از استاد عزیزم جناب آقای دکتر سید احمد مطهری و آقای دکتر خسرو ابراهیمی به عنوان اساتید مدعو که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند صمیمانه مشکر می نمایم و از خداوند متعال برای ایشان آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون دارم. از تمامی اساتید گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، به خصوص جناب آقای دکتر رزم آراء و آقای دکتر ابراهیمی که در طی مدت تحصیل در محضرشان کسب فیض نمودم، مشکر و قدردانی می نمایم. از هم کلاسی های عزیزم، آقایان مهندس مجتبی رستمی، مهندس مجتبی لشکری پور، مهندس و بهار آقای مهندس قره باغی، و مهندس نویانی و سرکار خانم ها مهندس سرخوش، مهندس عبادی، مهندس تقوی، مهندس سلانی و مهندس رجبی و از دانشجویان دکتری آقای مهندس مهدوی و مهندس سرکار خانم عبدی کمال مشکر را دارم و برای این عزیزان از خداوند متعال آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون را دارم. از پرسنل گروه زمین شناسی سرکار خانم نیکدل، و آقای مهندس اسفندیار پور، حافظی، سالاری، قزوینی، ذبیحی، شیرینی، ترشیزی، علی زاده، فودی، بهادوری، و وطن پرور به پاس زحمات فراوانشان مشکر می نمایم. از آقای آب باریکه از روستای چشمه سیر که در امر شناسایی منطقه بایجناب، بهکاری داشتند مشکر و قدردانی می نمایم. در پایان از پدر و مادر، همسر و فرزندان عزیزم که دعای ایشان همیشه بدرقه راه اینجانب بوده و در مسیر ادامه تحصیل بنده کمک و تحل سختی ها نموده اند و همچنین از سایر آشنایان که همیشه لطفشان شامل حال بنده بوده، پاس گزارم و از درگاه خداوند برای ایشان طول عمر با عزت و سلامتی خواستارم.

محمد شورشکشی بهمن ماه ۱۳۹۱

## فهرست مطالب

### فصل اول / کلیات

I	چکیده
۱-۱	مقدمه
۲	۲-۱) موقعیت جغرافیایی منطقه
۲	۳-۱) راه‌های ارتباطی
۴	۴-۱) ژئومورفولوژی منطقه
۵	۵-۱) آب و هوا
۵	۶-۱) پوشش گیاهی
۶	۷-۱) تاریخچه‌ای از کارهای انجام شده قبلی در منطقه
۶	۸-۱) هدف از مطالعه
۸	۹-۱) روش مطالعه
۸	۱-۹-۱) جمع‌آوری اطلاعات
۹	۲-۹-۱) مطالعات صحرایی
۹	۳-۹-۱) مطالعات آزمایشگاهی
۹	۴-۹-۱) جمع‌بندی، تلفیق و نتیجه‌گیری

### فصل دوم / زمین‌شناسی

۱۱	۱-۲) مقدمه
۱۲	۲-۲) شرح اجمالی افیولیت‌های سبزوار
۱۵	۳-۲) کانی‌زایی و اندیس‌های معدنی در منطقه

- ۱۶ ..... زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (۴-۲)
- ۱۷ ..... پریدوتیت‌ها (Peridotites) (۱-۴-۲)
- ۱۹ ..... پیروکسنیت‌ها (Pyroxenites) (۲-۴-۲)
- ۲۰ ..... واحدهای مافیک منطقه (۳-۴-۲)
- ۲۱ ..... گابروها (۱-۳-۴-۲)
- ۲۱ ..... میکروگابروها (۲-۳-۴-۲)
- ۲۳ ..... مجموعه‌ی دایک‌های دیابازی (Diabasic dikes complex) (۳-۳-۴-۲)
- ۲۴ ..... پلاژیوگرانیت‌ها (Plagiogranites) (۴-۴-۲)
- ۲۵ ..... آمیزه‌های رنگین (Colored mélange) (۵-۴-۲)
- ۲۶ ..... سکانس ولکانیکی منطقه (۶-۴-۲)
- ۲۷ ..... سکانس رسوبی افیولیت‌ملازهای منطقه (۷-۴-۲)
- ۲۸ ..... واحدهای رسوبی - آتشفشانی منطقه (۸-۴-۲)
- ۲۹ ..... توالی‌های رسوبی (۹-۴-۲)
- ۲۹ ..... کنگلومراهای منطقه (۱-۹-۴-۲)
- ۳۰ ..... نهشته‌های آبرفتی جوان (۲-۹-۴-۲)
- ۳۰ ..... مخروط‌افکنه (۳-۹-۴-۲)

### فصل سوم / پتروگرافی

- ۳۲ ..... مقدمه (۱-۳)
- ۳۳ ..... مطالعات پتروگرافی (۲-۳)
- ۳۴ ..... پتروگرافی واحدهای الترامافیک منطقه (۳-۳)
- ۳۴ ..... هارزبورگیت (۱-۳-۳)

- ۳۵..... لرزولیت (۲-۳-۳)
- ۳۷..... دونیت (۳-۳-۳)
- ۳۸..... پیروکسنیت (۴-۳-۳)
- ۳۸..... سرپانتینیت‌های منطقه (۵-۳-۳)
- ۳۹..... پتروگرافی واحدهای مافیک منطقه (۴-۳)
- ۳۹..... گابرونوریت (۱-۴-۳)
- ۴۲..... هورنبلندمیکروگابروها (۲-۴-۳)
- ۴۲..... گابروهای رودنگیتی شده منطقه (۳-۴-۳)
- ۴۴..... دیابازها (۴-۴-۳)
- ۴۵..... پتروگرافی سنگ‌های حدواسط (پیروکسن دیوریت) (۵-۳)
- ۴۶..... سنگ‌های اسیدی (پلاژیوگرانیت) (۶-۳)
- ۴۷..... پتروگرافی سنگ‌های خروجی منطقه (بازالت‌های بالشی اسپیلیتی شده) (۷-۳)

### فصل چهارم / ژئوشیمی

- ۵۱..... مقدمه (۱-۴)
- ۵۲..... آنالیز شیمیایی به روش طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) (۲-۴)
- ۵۵..... بررسی داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز سنگ کل (۳-۴)
- ۵۶..... طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه بر اساس اکسیدهای عناصر اصلی (۴-۴)
- ۵۶..... رده‌بندی سنگ‌های پلوتونیک (۱-۴-۴)
- ۵۶..... رده‌بندی بر اساس نمودار  $SiO_2$  در برابر  $Na_2O+K_2O$  (Middelmost, 1985) (۱-۱-۴-۴)
- ۵۷..... رده‌بندی پلاژیوگرانیت‌ها با استفاده از نمودار Ab - Ab - Or از (O'Connor, 1965) (۲-۱-۴-۴)
- ۵۸..... تقسیم‌بندی گرانیت‌ها توسط نمودار (Maniar & Picooli, 1989) (۳-۱-۴-۴)



- ۵-۴) تعیین سری ماگمایی با استفاده از عناصر فرعی و اصلی..... ۵۹
- ۱-۵-۴) نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971)..... ۵۹
- ۲-۵-۴) نمودار پتاسیم در برابر سیلیس (Peccerillo & Taylor, 197)..... ۶۰
- ۳-۵-۴) نمودار  $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O+K}_2\text{O}$ ..... ۶۱
- ۶-۴) ژئوشیمی اکسیدهای اصلی توسط نمودارهای هارکر..... ۶۲
- ۱-۶-۴) بررسی روند تغییرات MgO نسبت به  $\text{SiO}_2$ ..... ۶۳
- ۲-۶-۴) بررسی روند تغییرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  و MgO..... ۶۳
- ۳-۶-۴) بررسی روند تغییرات  $\text{TiO}_2$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  و MgO..... ۶۴
- ۴-۶-۴) بررسی روند تغییرات  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  و MgO به عنوان شاخصی برای تفریق..... ۶۵
- ۵-۶-۴) بررسی روند تغییرات CaO نسبت به  $\text{SiO}_2$  و MgO..... ۶۶
- ۷-۴) ژئوشیمی عناصر فرعی..... ۶۷
- ۱-۷-۴) بررسی روند تغییرات عناصر ناسازگار نسبت به  $\text{SiO}_2$  و MgO به عنوان شاخصی برای تفریق..... ۶۸
- ۱-۱-۷-۴) استرانسیوم (Sr)..... ۶۸
- ۲-۱-۷-۴) روییدیم (Rb)..... ۶۹
- ۳-۱-۷-۴) باریم (Ba)..... ۷۰
- ۴-۱-۷-۴) زیرکنیوم (Zr)..... ۷۱
- ۵-۱-۷-۴) کروم (Cr)..... ۷۲
- ۶-۱-۷-۴) نیکل (Ni)..... ۷۳
- ۷-۱-۷-۴) وانادیوم (V)..... ۷۴
- ۸-۴) بررسی روند تغییرات عناصر فرعی بر اساس نمودارهای بهنجاری سازی (عنکبوتی)..... ۷۶
- ۱-۸-۴) نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and Mcdonough. 1989)..... ۷۷

- ۸۰.....(Pearce,1983) MORB نموده نسبت به ۲-۸-۴ نمودار عنكبوتی نرمالیز شده نسبت به
- ۸۲..... پتروژنز ۹-۴
- ۸۳.....(Tectonomagmatic Environment) محیط تکتوماگمایی ۱-۹-۴
- ۸۳..... Th-Zr/117-Nb/16(Wood,1980) نمودارهای مثلثی ۲-۹-۴
- ۸۴..... V-Ti (Shervais,1982) ۳-۹-۴
- ۸۵.....MnO-TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> نمودار تمایزی ۴-۹-۴
- ۸۶.....(Maniar & Piccoli,1989) نمودارهای تکتونوماگمایی برای پلاژیوگرانیت منطقه ۵-۹-۴
- ۸۶.....K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> نمودار ۱-۵-۹-۴

### فصل پنجم / مینرال شیمی و پتروژنز کانی‌ها

- ۸۹..... مقدمه ۱-۵
- ۹۱..... مراحل انجام کار ۲-۵
- ۹۱..... الیوین (Ol) ۳-۵
- ۹۴..... پیروکسن‌ها ۴-۵
- ۹۵..... فرمول ساختاری کلینوپیروکسن‌های منطقه .. ۱-۴-۵
- ۹۵..... طبقه‌بندی پیروکسن‌ها ۲-۴-۵
- ۹۶..... خصوصیات ژئوشیمیایی ماگما ۳-۴-۵
- ۹۷..... بررسی ماهیت ماگمای تشکیل دهنده کلینوپیروکسن‌ها ۴-۴-۵
- ۱۰۰..... ژئوترموبارومتري (Geothermobarometry) ۵-۴-۵
- ۱۰۰..... ژئوترمومتری کلینوپیروکسن (Cpx Geobarometry) ۱-۵-۴-۵
- ۱۰۱..... روش تک کلینوپیروکسن نمیس و تایلر (Nimis and Taylor,2000) ۲-۵-۴-۵
- ۱۰۲..... روش تک کلینوپیروکسن لیندسلی (Lindsley,1983) ۳-۵-۴-۵

- ۱۰۲ ..... (Cpx Geobarometry) کلینوپیروکسن (۶-۴-۵)
- ۱۰۲ ..... (Na مقابل Mg#) (۲۰۰۹) همکاران و Faruk روش (۱-۶-۴-۵)
- ۱۰۴ ..... آمفیبول (Amph) (۵-۵)
- ۱۰۵ ..... تعیین ترکیب آمفیبول‌های موجود در منطقه (۱-۵-۵)
- ۱۰۷ ..... تعیین موقعیت تکتونیکی آمفیبول‌های منطقه (۲-۵-۵)
- ۱۰۹ ..... ژئوترموبارومتری آمفیبول (Amph Geothermobarometry) (۳-۵-۵)
- ۱۱۱ ..... پلاژیوکلاز (Plag) (۶-۵)
- ۱۱۳ ..... فرمول ساختاری پلاژیوکلازهای منطقه (۱-۶-۵)
- ۱۱۴ ..... اعضای پایانی فلدسپارها (۲-۶-۵)
- ۱۱۵ ..... تأثیر افزایش غلظت آب ماگما بر میزان اکتیویته آنورتیت در پلاژیوکلازها (۳-۶-۵)
- ۱۱۵ ..... بررسی تأثیر دما در ترکیب پلاژیوکلازها (۴-۶-۵)
- ۱۱۵ ..... تأثیر فشار بر روی ترکیب پلاژیوکلازها (۵-۶-۵)

### فصل ششم / نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۱۱۹ ..... نتیجه‌گیری (۱-۶)
- ۱۲۱ ..... پیشنهادات (۲-۶)

### فصل هفتم / منابع

- ۱۲۳ ..... منابع

## فهرست اشکال

### فصل اول: کلیات

- شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پراکندگی آمیزه‌های رنگی شمال شرق ایران..... ۳
- شکل ۲. نقشه جغرافیایی راه‌های دسترسی به منطقه و مناطق مسکونی..... ۴
- شکل ۳. الف و ب) نمایی از توپوگرافی منطقه مورد مطالعه دید رو به شمال N..... ۵
- شکل ۴. نمایی از پوشش گیاهی در دامنه‌ی جنوبی منطقه مورد مطالعه دید رو به شمال N..... ۶

### فصل دوم: زمین شناسی

- شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی افیولیت‌های شمال شرق ایران..... ۱۱
- شکل ۲. (a) پراکندگی بقایای اقیانوس تتیس در کمربند کوهزایی آلپ - هیمالیا. (b) نقشه زمین‌شناسی ساده (با تغییرات از باقری و Stampfli، 2008) از واحدهای تکتونیکی اصلی و کوهزایی افیولیتی در ایران..... ۱۳
- شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی ساده (Lensch و همکاران، ۱۹۷۹) از نوار افیولیتی سبزوار..... ۱۴
- شکل ۴. مس‌زایی، ب) رگه آزبست، ج) کرومیت‌زایی، د) رگه منیزیت را نشان می‌دهد..... ۱۶
- شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه..... ۱۷
- شکل ۶. الف) نمونه دستی از هارزبورگیت‌های منطقه، ب) نمونه دستی از لرزولیت‌های منطقه..... ۱۹
- شکل ۷. الف) سرپانتینیت‌ها دید رو به شمال غرب (NW)، ب) تصویر از توده لرزولیت منطقه دید به سمت غرب (W)..... ۱۹
- شکل ۸. نمونه دستی و بستریت منطقه مورد مطالعه..... ۲۰
- شکل ۹. الف) نمونه دستی گابروپگماتوئیدی منطقه، ب) نمونه دستی گابرونوریت منطقه..... ۲۱
- شکل ۱۰. الف) نمونه دستی از هورنبلندپیروکسن دیوریت منطقه، ب) نمونه دستی پیروکسن دیوریت منطقه..... ۲۲

- شکل ۱۱. الف) توده گابرویی کوه پیر نورآباد، ب) توده گابرویی مسیر روستای چشمه‌سیر به نورآباد هر دو دید رو به شمال (N)..... ۲۲
- شکل ۱۲. الف) گابروپگماتوئیدی ب) مرز گابروپگماتوئیدی و دایک میکرو گابرو منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد..... ۲۳
- شکل ۱۳. دستی از دیابازهای منطقه مورد مطالعه..... ۲۴
- شکل ۱۴. الف نمونه دستی پلاژیوگرانیت‌های منطقه مورد مطالعه، ب) مرز پلاژیوگرانیت و الترامافیک دید به سمت غرب (W) در جنوب روستای طالبی..... ۲۵
- شکل ۱۵. ملانژ و گابرو در جنوب غرب روستای نورآباد دید به سمت شمال غرب (NW)..... ۲۶
- شکل ۱۶. الف) گدازه‌های بالشی در شمال روستای چشمه‌سیر دید رو به شمال (N) ، ب) توده بازالتی بالشی دید رو به شمال غرب (NW)..... ۲۷
- شکل ۱۷. توده آهکی در کنار ملانژها دید رو به شمال N..... ۲۸
- شکل ۱۸. توده کنگلومرایی در محل توده گابرویی در مسیر روستای چشمه‌سیر - نورآباد دید رو به شمال N..... ۲۹

### فصل سوم: پتروگرافی

- شکل ۱. موقعیت نمونه‌های سنگی جمع آوری شده از سطح منطقه مطالعه..... ۳۳
- شکل ۲. الف) مقطع میکروسکوپی از هارزبورگیت در xpl ب) سمت راست در ppl..... ۳۴
- شکل ۳. الف) مقطع میکروسکوپی از هارزبورگیت بافت مشبک در xpl ب) سمت راست در ppl..... ۳۵
- شکل ۴. تصویر الف) مقطع میکروسکوپی از اسپینل در لرزولیت در xpl ب) در ppl..... ۳۶
- شکل ۵. الف) مقطع میکروسکوپی از بافت اکسلوشن در لرزولیت در xpl ب) آلتراسیون پیروکسن در xpl..... ۳۶
- شکل ۶. الف) بلورهای الیوین ایدنگسیتی شده در xpl ب) در ppl..... ۳۶

- شکل ۷. نمونه دستی از دونیت‌های سرپانتینی شده منطقه ..... ۳۷
- شکل ۸. الف) مقطع میکروسکوپی از دونیت (که بلورهای الیوین دارای شکستگی است) در xpl، ب) در ppl ..... ۳۷
- شکل ۹. الف) مقطع نازک بلور ارتوپروکسن به دام افتاده در داخل کلینوپروکسن و پیروکسن در حال تجزیه در xpl، ب) در ppl ..... ۳۸
- شکل ۱۰. الف) مقطع میکروسکوپی از بافت مشبک در سرپانتین مختص به لیزاردیت در xpl، الیوین‌ها کاملاً تجزیه شده‌اند، ب) در ppl ..... ۳۹
- شکل ۱۱. الف) مقطع میکروسکوپی از رگچه کوارتز در گابرو در xpl، ب) در ppl ..... ۴۰
- شکل ۱۲. الف) مقطع میکروسکوپی از بافت افیتیک (بلور پیروکسن درون پلاژیوکلاز) در xpl، ب) مقطع میکروسکوپی از ماکل پلی‌سنتیک در گابرو در xpl ..... ۴۰
- شکل ۱۳. الف) مقطع میکروسکوپی از هورنبلند گابرو در xpl، ب) در ppl ..... ۴۱
- شکل ۱۴. الف) مقطع میکروسکوپی از بافت پوئی‌کلیتیک (قرار گرفتن پلاژیوکلاز روی هورنبلند) در xpl، ب) در ppl ..... ۴۱
- شکل ۱۵. الف) مقطع میکروسکوپی از بافت هیپیدئومورف گرانولار پلاژیوکلازها در xpl، ب) نمونه دستی از میکروگابرو منطقه مورد مطالعه ..... ۴۲
- شکل ۱۶. الف) مقطع میکروسکوپی از گابرو رودنگیتی شده در xpl، ب) در ppl ..... ۴۴
- شکل ۱۷. مقطع میکروسکوپی از دیابازهای منطقه ..... ۴۵
- شکل ۱۸. مقطع میکروسکوپی از هورنبلند در حال تجزیه به کلریت و کتینولیت در xpl، ب) در ppl ..... ۴۶
- شکل ۱۹. الف) مقطع میکروسکوپی از هورنبلند در حال تجزیه در xpl، ب) در ppl ..... ۴۶
- شکل ۲۰. الف) مقطع میکروسکوپی از پلاژیوگرانیت بافت گرافیکی، ب) پلاژیوکلازها در حال سوسوریتی شدن را نشان می‌دهد هر دو در xpl ..... ۴۷

شکل ۲۱. مقطع میکروسکوپی بازالت‌های بالشی اسپیلیتی شده با بافت میکرولیتی اینترگرانولار میکرولیت‌های پلاژیوکلاز در زمینه‌ی شیشه‌ای و بافت حفره‌ای در xpl. .... ۴۸

### فصل چهارم: ژئوشیمی و پتروژنز

شکل ۱. نمادهای بکار برده شده در دیاگرام‌ها. .... ۵۵

شکل ۲. نمودار طبقه بندی توسط Middelmost (1985) برای سنگ‌های پلوتونیک منطقه ..... ۵۷

شکل ۳. تقسیم‌بندی پلاژیوگرانیت‌های منطقه توسط نمودار (Shand, 1943). .... ۵۸

شکل ۴. نمودار تعیین سری ماگمایی AFM (Irvine and Baragar, 1971) برای سنگ‌های پلوتونیک منطقه ..... ۶۰

شکل ۵. نمودار  $SiO_2$  در مقابل  $K_2O$  برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، اقتباس از ( Peccerllo & Taylor, 1976) ..... ۶۱

شکل ۶. - نمودار TAS بیانگر ساب کالک‌آلکالن بودن سنگ‌های مورد بررسی می باشد. ( Irvine & Bargar, 1971) ..... ۶۲

شکل ۷. بررسی روند تغییرات  $MgO$  در برابر  $SiO_2$  (Harker, 1909) ..... ۶۳

شکل ۸. روند تفریق  $Al_2O_3$  در برابر  $SiO_2$  و  $MgO$  برای واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۶۴

شکل ۹. روند تغییرات  $TiO_2$  در برابر  $SiO_2$  و  $MgO$  برای واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۶۵

شکل ۱۰. روند تغییرات  $Fe_2O_3$  نسبت به  $SiO_2$  و  $MgO$  برای واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۶۶

شکل ۱۱. روند تغییرات  $CaO$  نسبت به  $SiO_2$  و  $MgO$  در واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۶۷

شکل ۱۲. روند تغییرات  $Sr$  نسبت به  $SiO_2$  و  $MgO$  در واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۶۹

شکل ۱۳. روند تغییرات  $Rb$  نسبت به  $MgO$  و  $SiO_2$  در واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۷۰

شکل ۱۴. روند تغییرات  $Ba$  نسبت به  $MgO$  و  $SiO_2$  در واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۷۱

شکل ۱۵. روند تغییرات  $Zr$  نسبت به  $MgO$  و  $SiO_2$  در واحدهای سنگی منطقه (Harker, 1909). .... ۷۲

- شکل ۱۶. روند تغییرات Cr نسبت به MgO و SiO<sub>2</sub> در واحدهای سنگی منطقه (Harker,1909)..... ۷۴
- شکل ۱۷. روند تغییرات Ni نسبت به MgO و SiO<sub>2</sub> در واحدهای سنگی منطقه (Harker,1909)..... ۷۵
- شکل ۱۸. روند تغییرات V نسبت به MgO و SiO<sub>2</sub> در واحدهای سنگی منطقه (Harker,1909)..... ۷۵
- شکل ۱۹. نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به گوشته اولیه برای سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، اقتباس از: ( Sun & Mcdonough,1989)..... ۸۰
- شکل ۲۰. نمودار عنکبوتی نرمالیز شده نسبت به MORB (Pearce,1983)..... ۸۲
- شکل ۲۱. نمودار مثلثی (Wood,1980) جهت تشخیص انواع بازالت‌های میان اقیانوسی و جزایر قوسی. تمام نمونه‌های سنگ‌های تجزیه شده مجموعه مورد مطالعه در قلمرو تولیت‌های جزایر قوسی قرار می‌گیرند..... ۸۴
- شکل ۲۲. نمودار تمایزی V در مقابل Ti (Shervais,1982) برای تشخیص جایگاه تشکیل سنگ‌های مافیک منطقه و سمت راست و نمودار تمایزی MnO-TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> برای سنگ‌های مافیک (Mullen,1983) سمت چپ..... ۸۶
- شکل ۲۳. نمودار تکتونوماگمایی از (Maniar & Piccoli, 1989) برای نمونه پلاژیوگرانیتی منطقه ، ..... ۸۷

### فصل پنجم: مینرال شیمی و پتروژنز کانی‌ها

- شکل ۱. تصویر دستگاه الکترون مایکروپروب..... ۹۰
- شکل ۲. نمودار سه تایی ترکیب شیمیایی SiO<sub>2</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>..... ۹۳
- شکل ۳. نمودار سه تایی ترکیب شیمیایی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>..... ۹۳
- شکل ۴. تصاویر میکروپروب از الف و ب: الیون در گابرو نمونه (CH-53)..... ۹۳
- شکل ۵. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار مثلثی Wo-En-Fs. (Morimoto et al,1988)..... ۹۵
- شکل ۶. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار J-Q. قلمرو کانی‌ها از (Morimoto et al,1988)..... ۹۶



- شکل ۷. موقعیت پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد بررسی بر روی نمودار تغییرات  $AlIV+Na$  در برابر  $AlVI+2Ti+Cr$  (Schweitzer et al,1979) و (Benncce et al,1975)..... ۹۷
- شکل ۸. تعیین سرشت پیروکسن‌های مورد مطالعه (Berger et al,2005)..... ۹۸
- شکل ۹. تعیین سری ماگمایی با استفاده از نمودار  $Al_2O_3$  در مقابل  $SiO_2$ ..... ۹۸
- شکل ۱۰. تعیین سری ماگمایی با استفاده از نمودار  $Ti-Ca+Na$ ..... ۹۹
- شکل ۱۱. ترکیب کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد بررسی بر روی نمودار تغییرات  $Al-Si$ ..... ۱۰۰
- شکل ۱۲. دمای تشکیل پیروکسن‌ها با استفاده از ترمومتر پیروکسن..... ۱۰۲
- شکل ۱۳. محدوده فشار برای کلینوپیروکسن‌های منطقه مورد مطالعه (Faruk et al ,2009)..... ۱۰۳
- شکل ۱۴. نمودار  $AlIV$  در مقابل  $AlVI$  (Aoki and Shiba,1973)..... ۱۰۳
- شکل ۱۵. تصاویر میکروپروب از الف، ب، ج، د: پیروکسن‌ها در نمونه گابرو (CH-53) و ه، ی: پیروکسن در گابرو نمونه (T-42)..... ۱۰۴
- شکل ۱۶. نمودار رده بندی و نام‌گذاری آمفیبول‌ها (Leaket al,1977)..... ۱۰۶
- شکل ۱۷. نمودار رده‌بندی و نام‌گذاری آمفیبول‌ها (Leak et al,1997)..... ۱۰۷
- شکل ۱۸. نمودار نسبت  $Ti$  نسبت به  $AlIV$  در آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد ..... ۱۰۷
- شکل ۱۹. نمودار طبقه‌بندی تکتونوماگمایی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه ( Coltorti et al,2007)..... ۱۰۸
- شکل ۲۰. نمودار تعیین فوگاسیته اکسیژن بر پایه ترکیب آمفیبول‌ها (Anderson and Smite,1995)..... ۱۰۸
- شکل ۲۱. نمودار تغییرات  $AlIV$  نسبت به مجموع  $AlVI+2Ti+Asite+Fe+3$ ..... ۱۰۹
- شکل ۲۲. تصاویر میکروپروب از الف، ب، ج، د: آمفیبول در پیروکسن دیوریت (نمونه T-18)..... ۱۱۱

- شکل ۲۳. ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در نمونه T-42 (گابرو)..... ۱۱۳
- شکل ۲۴. ترکیب پلاژیوکلازهای موجود در نمونه T-18 (پیروکسن دیوریت)..... ۱۱۴
- شکل ۲۵. نمایش تغییرات میزان آهن کل در پلاژیوکلاز نسبت به میزان آنورتیت..... ۱۱۶
- شکل ۲۶. تصاویر میکروپروب از الف، ب، ج، د: پلاژیوکلاز در پیروکسن دیوریت (T-18) ه، ی، و: پلاژیوکلاز در گابرو (نمونه T-42)..... ۱۱۷

## فهرست جداول

### فصل اول: کلیات

- جدول ۱. مختصات چهار گوشه‌ی منطقه مورد مطالعه..... ۳

### فصل چهارم: ژئوشیمی

- جدول ۱. مشخصات و مختصات جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیز برحسب UTM..... ۵۱
- جدول ۲. آنالیزهای XRF از اکسیدهای اصلی ( درصد وزنی ) و عناصر فرعی (برحسب گرم در تن)..... ۵۲
- جدول ۳. آنالیزهای XRF از اکسیدهای اصلی (درصد وزنی) و عناصر فرعی (برحسب گرم در تن)..... ۵۴

### فصل پنجم: مینرال شیمی و پتروژنز کانی‌ها

- جدول ۱. ترکیب شیمیایی و فرمول ساختمانی کانی الیوین موجود در سنگ‌های مورد مطالعه..... ۹۲
- جدول ۲. ترکیب شیمیایی و فرمول ساختمانی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های مورد مطالعه..... ۹۴
- جدول ۳. اعضای پایانی پیروکسن‌های موجود در منطقه..... ۹۵
- جدول ۴. میزان دمای محاسبه شده در فشارهای ۱ تا ۶ کیلو بار برای کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های منطقه با استفاده از روش (Nimis and Taylor,2000)..... ۱۰۱

- جدول ۵. آنالیز میکروپروب و محاسبه فرمول ساختمانی آمفیبول‌های موجود در سنگ‌های مورد مطالعه بر پایه ۲۳ اکسیژن..... ۱۰۵
- جدول ۶. تعیین نوع ترکیب آمفیبول‌های منطقه..... ۱۰۶
- جدول ۷. ترکیب شیمیایی و فرمول ساختمانی کانی پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های مورد مطالعه..... ۱۱۲
- جدول ۸. سه عضو پایانی پلاژیوکلازهای منطقه مورد مطالعه..... ۱۱۴

## چکیده

مجموعه‌های نفوذی جنوب شرق سلطان‌آباد در ۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سبزوار واقع شده و از لحاظ تقسیم‌بندی تکتونیکی، بخشی از زون افیولیتی سبزوار محسوب می‌شود. ترکیب این توده‌های نفوذی از گابرو تا گابرو-دیوریت و پلاژیوگرانیت تغییر می‌کند. کانی‌های اصلی سنگ شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن از نوع کلینوپيروکسن (اوژیت - دیوپسید) و ارتوپيروکسن (انستاتیت - هیپرستن) و دارای کانی‌های فرعی شامل آپاتیت، اسفن، بیوتیت، اکسیدهای مختلف آهن و کانی اپاک می‌باشد. این توده‌ها طبق نمودارهای ژئوشیمیایی تولییتی تا کالک‌آلکان متاآلمین تا پراآلمینوس هستند.

بر اساس مطالعات ژئوشیمیایی، موقعیت زمین‌ساختی توده‌های گابرویی جنوب شرق سلطان‌آباد با بازالت‌های قوس آتشفشانی (CAB) قابل مقایسه است و در رژیم تکتونیکی قوس‌های آتشفشانی مرتبط با فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای به‌وجود آمده‌اند. با تکیه بر داده‌های ژئوشیمیایی و روابط صحرایی منبع ماگمایی مجموعه‌های پلوتونیکی باید ماگمایی مشتق از گوشته باشد. این ماگما از عناصر Nb, Ti, Ba و تپی‌شدگی و از عناصر Rb و K غنی‌شدگی نشان می‌دهند که بیانگر تشکیل این سنگ‌ها در محیط فرورانش است.

بررسی شیمی کانی‌ها ترکیب کلینوپيروکسن‌های منطقه از نوع دیوپسید و اوژیت، ترکیب آمفیبول‌ها عمدتاً آکتینولیت و ترکیب پلاژیوکلازها در محدوده بیتونیت تا لابرادوریت می‌باشند. بررسی‌های کانی‌شناسی، زمین-دماسنجی پیروکسن‌ها، آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای ناحیه مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای تشکیل توده‌های گابرویی - گابرو دیوریتی در فشارهای ۱ تا ۶ کیلوبار، ۱۱۲۰ تا ۱۴۵۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. آمفیبول‌های منطقه در گستره‌ی آمفیبول‌های وابسته به مناطق فرورانش (S-Amph) قرار می‌گیرند.