فهرست مطالب

فصل اول(کلیات).....۷

۱-۱- مقدمه.....۸

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی.....۱۰

۱-۳- ژئومورفولوژی منطقه.....۱۱

۱-۴ اهداف مطالعه .....۱۲

۱-۵- روش‌های مطالعه.....۱۳

۱-۶- تاریخچه ی مطالعات مرتبط.....۱۳

۱-۷- زمین شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه.....۱۴

۱-۸- افیولیت های ناحیه ریوش .....۱۵

۱-۹- توالی افیولیتی منطقه مورد مطالعه.....۱۷

۱-۹-۱- واحدهای اولترامافیک.....۱۷

۱-۹-۲- پیروکسنیت.....۲۰

۱-۹-۳- واحد گابرو.....۲۰

۱-۹-۴- واحد دیابازی.....۲۱

۱-۹-۵- واحدهای آتشفشانی.....۲۲

۱-۹-۶- واحدهای رسوبی.....۲۳

۱-۱۰- کانی زایی و اندیس های معدنی در منطقه ی مورد مطالعه.....۲۳

۱-۱۰-۱- کرومیت.....۲۴

۱-۱۰-۲-تالک.....۲۴

۱-۱۰-۳- تیتانومگنتیت..... ۲۵

۱-۱۱- ژئوشیمی و ترمودینامیک..... ۲۵

۱-۱۱-۱- تبلور ماگما..... ۲۵

۱-۱۱-۲- اثرات افزایش و کاهش بعضی از عناصر در ماده مذاب..... ۲۶

۱-۱۱-۳- ترمودینامیک تبلور ماگمایی..... ۲۷

۱-۱۱-۴- تبلور تفکیکی و ذوب..... ۲۸

۱-۱۱-۵- شرایط ترمودینامیکی تشکیل پریدوتیت ها..... ۲۹

۱-۱۲- منشاء تیتانیوم و وانادیوم در مجموعه‌های افیولیتی و نحوهٔ تشکیل کانسار..... ۳۰

فصل دوم(دورسنجی)..... ۳۴

۲-۱- دورسنجی..... ۳۵

۲-۱-۱- کلیاتی در مورد دورسنجی ..... ۳۵

۲-۱-۲- مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده..... ۳۷

۲-۱-۳- تفکیک انواع آلتراسیون در منطقه..... ۳۸

۲-۱-۴- تفکیک گسل‌های منطقه ..... ۳۹

۲-۱-۵- تفکیک لیتولوژی منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه زمین شناسی ..... ۴۱

فصل سوم(پتروگرافی)..... ۴۴

۳-۱- مطالعات صحرایی و پتروگرافی..... ۴۵

۳-۲- طبقه بندی سنگ‌های مجموعه افیولیتی..... ۴۵

۳-۲-۱- واحدهای اولترامافیک..... ۴۶

۳-۲-۱-۱-هارزبورگیت..... ۵۰

۳-۲-۱-۲- الیوین وبستریت ..... ۵۳
۳-۲-۱-۳- دونیت ..... ۵۵
۳-۲-۱-۴- سرپانتینیت ..... ۵۶
۳-۲-۲- سنگ‌های مافیک مجموعه‌ی افیولیتی در منطقه ..... ۵۷
۳-۲-۲-۱- گابرو ایرزوتروپ ..... ۵۷
۳-۲-۲-۲- الیوین گابرو ..... ۶۰
۳-۲-۳- دایک های دیابازی ..... ۶۱
۳-۲-۴- سنگ‌های دگرگونی مجموعه افیولیتی ..... ۶۳
۳-۲-۵- مجموعه‌ی سنگ‌های ولکانیکی ..... ۶۴
۳-۲-۵-۱- بازالت ..... ۶۴
۳-۲-۵-۲- آندزیت بازالتی ..... ۶۵
۳-۲-۵-۳- آندزیت ..... ۶۷
۳-۳- پدیده‌ی سیمپلکتیت در پریدوتیت‌ها ..... ۶۸
۳-۴- آنالیزهای XRD ..... ۷۲
۳-۵- نتیجه گیری ..... ۷۸
فصل چهارم(ژئوشیمی) ..... ۸۰
۴-۱- مقدمه ..... ۸۱
۴-۲- روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی ..... ۸۱
۴-۳- آنالیزهای شیمیایی ..... ۸۴
۴-۴- اساس طبقه‌بندی ..... ۸۷

۴-۴-۱- نمودار آلکالی سیلیس(TAS) ..... ۸۸
۴-۴-۲- نمودار$SiO_2$ در برابر$K_2O$..... ۸۹
۴-۴-۳- نمودار Batchelor and Bowden (1985)..... ۹۰
۴-۴-۴- نمودار کاتیونی(جنسن،۱۹۷۶)..... ۹۱
۴-۴-۵- نمودار Mullen 1983..... ۹۲
۴-۵- نمودارهای روند تغییرات عناصر اصلی نسبت بهم در سنگ‌ها..... ۹۳
۴-۵-۱- نمودار تغییرات منیزیم، تیتان، کلسیم، سیلیس و آهن..... ۹۳
۴-۵-۲- تغییرات نسبت$Al_2O_3$ نسبت به $SiO_2$ و MgO..... ۹۷
۴-۶-بررسی روند تغییرات عناصر در کانی‌ها و سنگ‌ها..... ۹۹
۴-۶-۱-روند تغییرات Mg در کانی‌ها و سنگ‌های منطقه..... ۹۹
۴-۶-۲- روند تغییرات Ti در سنگ‌ها..... ۹۹
۴-۶-۳- روند تغییرات Fe در سنگ‌ها..... ۱۰۵
۴-۷- محاسبه‌ی ضریب توزیع عناصر تیتانیوم و وانادیوم..... ۱۰۸
۴-۸- تیپ ماگمایی..... ۱۰۹
۴-۹- نتیجه گیری..... ۱۱۰
فصل پنجم(میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۱
۵-۱- مقدمه ..... ۱۱۲
۵-۱-۱- مزایا و کاربردهای EPMA..... ۱۱۳
۵-۱-۲- مشخصات دستگاه مورد استفاده در این تحقیق..... ۱۱۴
۵-۱-۳- دقت آنالیزهای EPMA مورد استفاده..... ۱۱۶
۵-۱-۴- محدودیت‌های دستگاهی در این تحقیق..... ۱۱۷

۵-۱-۵- **۵-۱-۵**- آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌های مورد مطالعه ..... ۱۱۸

۵-۱-۶- مشخصات دستگاه SEM مورد استفاده در این تحقیق..... ۱۱۹

۵-۲- بررسی نتایج آنالیزهای EPMA و SEM..... ۱۲۶

۵-۲-۱- بررسی آنالیز بلورهای الیوین در واحدهای سنگی منطقه..... ۱۲۶

۵-۲-۲- بررسی نتایج آنالیز بلورهای پیروکسن در واحدهای سنگی منطقه..... ۱۳۳

۵-۲-۳- بررسی آنالیز بلورهای پلاژیوکلاز در واحدهای سنگی منطقه..... ۱۴۶

۵-۲-۴- بررسی نتایج آنالیز بلورهای آمفیبول در واحدهای سنگی منطقه..... ۱۵۱

۵-۲-۵- بررسی نتایج آنالیز بلورهای اسپینل واحدهای سنگی منطقه..... ۱۵۷

۵-۳- آنالیز طیف EDS..... ۱۶۵

۵-۴- آنالیز XRM..... ۱۶۷

۵-۵- نتیجه‌گیری..... ۱۶۹

فصل ششم(زمین گرمافشارسنجی)..... ۱۷۲

۶-۱- مقدمه..... ۱۷۳

۶-۲ روش‌های دمافشارسنجی مورد استفاده..... ۱۷۴

۶-۳- آنالیزهای تجزیه کانی‌ها..... ۱۷۵

۶-۴- دماسنج کلینوپیروکسن-ارتوپیروکسن..... ۱۸۰

۶-۵- دماسنجی الیوین-اسپینل..... ۱۸۳

۶-۶- فشارسنج بر اساس نوع و نسبت آلومینیوم‌های کلینوپیروکسن..... ۱۸۵

۶-۷- محاسبه‌ی دما با روش ژئوترمومتری نیمیس و تایلر (۲۰۰۰) ..... ۱۸۶

۶-۸- ژئوترموبارومتری در نمونه‌ی گابرو بر اساس میزان آلومینیوم در هورنبلند..... ۱۸۷

۶-۹- نتیجه‌گیری.....۱۸۸

فصل هفتم : نتیجه‌گیری.....۱۸۹

منابع.....۱۹۵

# فصل یک

# کلیات

**۱-۱- مقدمه**

از آنجا که افیولیت‌ها، توالی‌هایی از سنگ‌های (اولترامافیک و مافیک) پوسته و گوشتهٔ فوقانی هستند که در ارتباط با زون‌های فرورانش، به صورت تکتونیکی جابجا شده و روی خشکی قرار گرفته‌اند، قسمتی از پوستهٔ اقیانوسی جوان یا حوضهٔ پشت‌کمانی، می‌توانند محسوب شوند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی و ساختمانی افیولیت‌ها نشاندهندهٔ محیط‌های تکتونیکی مختلف از منشاء تشکیل آنها می‌باشد (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در زمین‌شناسی ایران، افیولیت به مجموعه‌ای از سنگ‌های مافیک و اولترامافیک گفته می‌شود که ممکن است منظم و لایه‌لایه باشند و یا در اثر تنش‌های زمین‌ساختی با یکدیگر مخلوط شده باشند (علوی‌تهرانی، ۱۹۷۶). به این مجموعه‌ها، توالی افیولیتی، کمپلکس افیولیتی و یا آمیزه‌رنگین اطلاق می‌شود که از میان آنها، واژهٔ «آمیزه رنگین» کاربرد بیشتری دارد که اغلب به عنوان یک واحد سنگ-چینه‌ای به کار می‌رود. آمیزه‌های رنگین ایران، بیشتر به صورت نوارهای کم‌وبیش پیوسته‌ای هستند که اغلب در امتداد گسل‌های طولی اصلی رخنمون دارند.

شواهد زمین‌شناسی به ویژه بررسی‌های ژئوشیمیایی این مجموعه‌ها از نظر نحوهٔ پراکنش عناصر خاکی کمیاب نشانگر آن است که ترکیب شیمیایی آنها همانند سنگ‌کرهٔ اقیانوسی (oceanic lithosphere) است. لذا پذیرفته‌شده که مجموعه‌های افیولیتی ایران در اثر کافتی‌شدن (rifting) شکل-گرفته و در اثر فرارانش (obduction) و در هنگام جابه‌جایی قاره‌ها و خرده‌قاره‌ها در محل و امتداد زمین‌درزهای کهن (paleo – geosuture) جای گرفته‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). جدا از مسائل ژئودینامیکی پوسته، داشتن کرومیت، سولفید مس توده‌ای، کانی‌های گروه نیکل، عناصر خاکی کمیاب و غیره از ویژگی‌هایی است که به مجموعه‌های افیولیتی ایران ارزش اقتصادی می‌دهند.

ارتباط مجموعه‌های افیولیتی با کانسارهای مجاور را می‌توان به روش‌های ژئوشیمیایی و ترمودینامیکی بررسی کرد. مفاهیم ژئوشیمی بیان‌کنندهٔ روابط بین اتم‌ها، یون‌ها، شبکه‌های بلوری و عوامل تعیین‌کنندهٔ شرایط تعادلی آنها می‌باشند (میسون، ۱۹۱۷). این فاکتورها را می‌توان با روابط ترمودینامیکی با دقت بالا تعیین کرد و عناصر چه به شکل اتم و یا به صورت یون، جزء پایه‌ای بررسی‌های ترمودینامیکی هستند. اتم‌ها و یون‌ها دارای مقدار مشخصی انرژی هستند که هنگام تغییرات فیزیکی و شیمیایی تغییر می‌کنند. در مورد شرایط ترمودینامیکی جایگزینی افیولیت‌ها، چهار نظریه وجود دارد:

۱. نظریه جایگزینی، به صورت جامد و سرد (Cold Intrusion).

۲. نظریه فعالیت نفوذی - آتشفشانی

۳. نظریه آتشفشانی

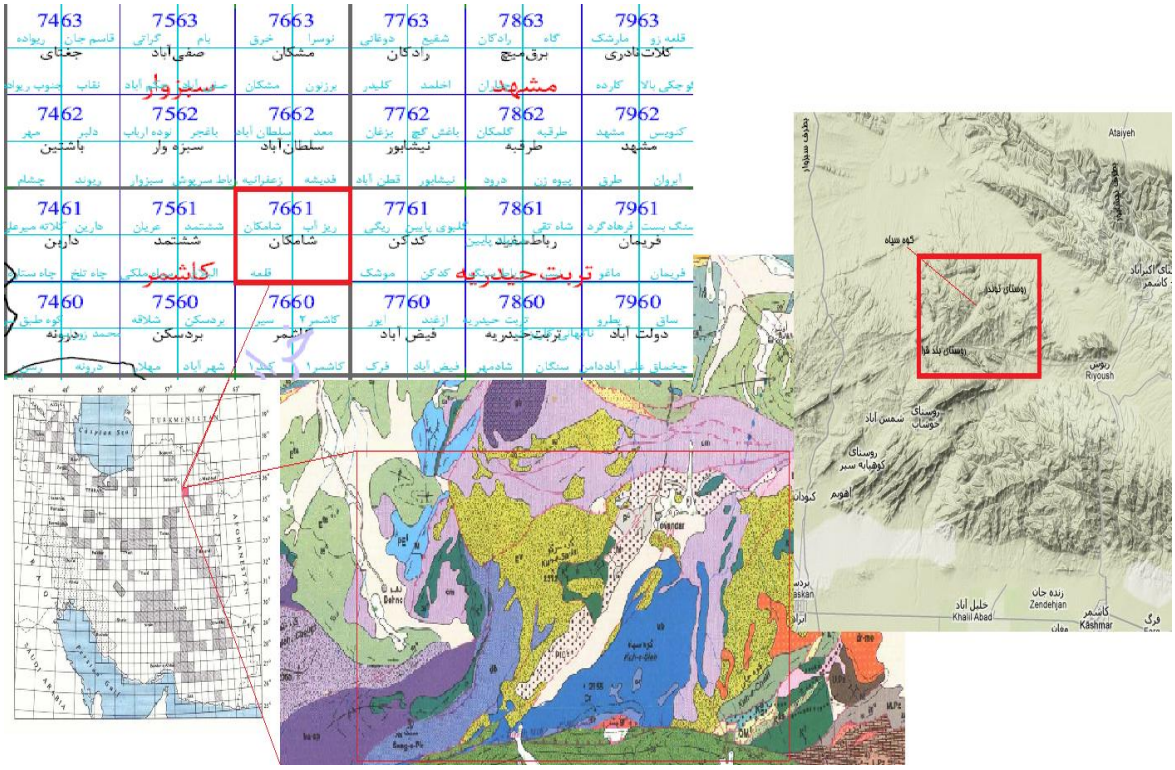
۴. نظریه فعالیت نفوذی

در مورد افیولیت‌های ایران، نظریه سرد و جامد پذیرفتنی‌تر است. میسون (۱۹۱۷)، با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، توده اولترابازیک نیریز را نشانه تبلور آرام ماگما در دما و فشار بالا می‌داند. وی وجود هاله دگرگونی گرمایی (به ضخامت چندین ده متر) در همبری پریدوتیت‌ها با سنگ آهک‌های تنگ حنا را دلیلی بر این نظر می‌داند. کارهای ژئوترمومتری و ژئوبارومتری در مورد سنگ‌های دگرگونی به دلیل وجود کانی‌های شاخص مشکلات کمتری دارد اما در مورد سنگ‌های آذرین بویژه توالی‌های افیولیتی که در زون‌های فرورانش حجم‌های زیادی به صورت انواع سنگ‌های اولترامافیکی، گدازه‌های بالشی، دایک‌های ورقه‌ای و گابرویی یافت می‌شود، به دلیل بهم‌ریختگی و نبود کانی‌های شاخص، مشکل‌تر است.

توالی افیولیتی شمال‌غربی شهرستان کاشمر (واقع در استان خراسان رضوی) جزئی از شاخه جنوبی افیولیت سبزوار می‌باشد که رابطه ژنتیک آن با کانسارهای پلاسری آهن در بخش شمالی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته غالب سنگ‌های توالی افیولیتی منطقه از نوع پریدوتیت‌های سرپانتینیزه‌شده، گابرو، دیاباز و بازالت‌های اقیانوسی هستند که مورد مطالعه قرار گرفتند. میانگین سیستم MAS ($MgO-Al_2O_3-SiO_2$) شامل ۸۸% تا ۹۰% ترکیبات پریدوتیتی است و چون سیستم سه‌تایی است برای بررسی روابط فازی در حالت طبیعی برای پریدوتیت‌ها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. از این سیستم برای تفسیر مراحل تبلور ماگما در پریدوتیت‌ها نیز استفاده شده است. علاوه‌براین، در این تحقیق، انواع سیمپلکتیت‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین بافت‌های همرشدی در پریدوتیت-های منطقه که می‌توانند در اثر اختلاط ناپذیری بدلیل اختلاف فاز بوجود بیایند مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

### ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی

منطقه کوه‌سیاه در ورقهٔ زمین شناسی شامکان، در شمال غربی شهرستان کاشمر، در مختصات جغرافیایی طول‌های "۵۹ '۹ °۵۸ و "۶۴ '۲۰ °۵۸ و عرض‌های "۱۹ '۳۰ °۳۵ و "۵۲ '۳۴ °۳۵ قرار گرفته است. منطقهٔ مورد مطالعه در محدودهٔ سه شهرستان نیشابور، کاشمر و سبزوار جای گرفته است. نقشهٔ کلی منطقه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این منطقهٔ جزء شهرستان کاشمر می‌باشد و جاده نیشابور به کاشمر جاده اصلی منطقه است. جاده‌های فرعی، روستاهای خزربیگ و توندر را به منطقهٔ کوه سیاه و افیولیت ملانژهای منطقه مورد مطالعه مرتبط می‌کنند.




**تصویر شماره ۱-۱) موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه**

## ۱-۳- ژئومورفولوژی منطقه

از نظر ژئومورفولوژی منطقه از سه قسمت تشکیل شده است. ارتفاعات کوه سرخ باروند شرقی-غربی و شمال غربی-جنوب شرقی که در قسمت جنوبی منطقهٔ شامکان قرار دارد در حالی که دشتها در قسمت شمالی کوه سرخ قرار دارند. بلندترین نقطه، در ارتفاع ۲۳۱۴m و پست‌ترین نقطه، ۱۰۵۰m از سطح دریا ارتفاع دارد. قسمت‌های مرتفع عمدتا از سنگ‌های رسوبی آواری، ولکانیک و افیولیتی مربوط به دوران‌های اول، دوم و ترسیری است. به دلیل تنوع لیتولوژی، دو نوع مورفولوژی غالب در منطقه قابل مشاهده می باشد.

الف- مناطق با مورفولوژی خشن

در قسمت شمال غرب و غرب منطقه، سنگ‌های گابرویی و آذرآواری وجود دارند که قسمت‌های گابرویی به دلیل مقاومت بالاتر در برابر هوازدگی و عدم گسل‌خوردگی نسبت به مناطق اطراف، مرتفع‌تر می‌باشند.

ب- مناطق با مورفولوژی ملایم

مورفولوژی ملایم در قسمت‌های شمالی و مرکزی قرار دارند که شامل تپه‌ماهورهای رسوبی در شمال که تغذیه‌کننده کانسارهای رسوبی آهن درون آبراهه‌ها می‌باشند. قسمت مرکزی شامل کوه‌سیاه است که توپوگرافی ملایم‌تری نسبت به گابروها و سنگ‌های پیروکلاستیک دارد و علت آن آلتراسیون شدید پریدوتیت‌ها می‌باشد.

### ۱-۴ اهداف مطالعه

- استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شناخت مجموعه افیولیتی.
- پتروگرافی مجموعه افیولیتی با کمک مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی.
- انجام مطالعات ژئوشیمیایی با استفاده از آنالیزهای شیمیایی و نرم‌افزارهای تحلیلی
- مطالعات ژنتیکی توالی افیولیتی.
- بررسی روابط فازی در هنگام تبلور ماگما.
- بررسی منشاء عناصر تیتانیوم و وانادیوم کانسارهای پلاسری در سنگ‌های مجموعه‌ی افیولیتی.
- ژئوترمومتری و ژئوبارومتری سنگ‌های غالب منطقه.

لازم به ذکر است که مطالعات قبلی در منطقه، بیشتر بر روی پتروگرافی و زمین‌شناسی اقتصادی بوده و مطالعات زمین‌گرمافشارسنجی در کانیهای این سنگها صورت نگرفته است

- تعیین موقعیت ژئوتکتونیکی منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی.

- امکان‌سنجی ارتباط ژنتیک کانسارهای پلاسری با افیولیت‌های منطقه.

**۱-۵- روش مطالعاتی:**

روش مطالعاتی شامل مراحل زیر بوده است که به طور کلی به آن اشاره می‌شود:

- مطالعات اولیهٔ کتابخانه‌ای.

- بررسی تصاویر هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه.

- بررسی دقت روش‌های دورسنجی در مورد افیولیت‌ها.

- تهیهٔ داده‌های ماهواره‌ای از سازمان نقشه‌برداری و انجام مطالعات سنجش از دور با استفاده از نرم-افزار Envi4 و تهیهٔ نقشه لیتولوژی با نرم‌افزار Arc Gis 9.2

- مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری اولیه.

- - مطالعات پتروگرافی

- آزمایشات EPMA, SEM ،XRF, XRD

- تفسیر آنالیزهای شیمیایی، ساخت فرمول دقیق کانی‌ها با نرم‌افزار Minpet و انجام مطالعات ترمودینامیکی.

- ژئوترمومتری و ژئوبارومتری.

- تهیهٔ نمودارهای ژئوشیمیایی با استفاده از نرم‌افزارهای GCD Kit و Igpet

**۱-۶- تاریخچه‌ی مطالعات مرتبط**

گرچه بیشتر توالی‌های افیولیتی ایران مورد مطالعه تفضیلی قرار گرفته است اما در مورد افیولیت های شمال شرق ایران بیشترین مطالعات تنها بر روی افیولیت‌های سبزوار بوده است و شاخهٔ جنوبی

افیولیت سبزوار کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. از مهمترین مطالعات به موارد زیر می‌توان اشاره کرد.

- لنچ، صدرالدینی و وزیری‌تبار (۱۹۷۵)، ژئوشیمی و پتروژنز افیولیت شمال منطقه (شمال خاوری ایران).

- لنچ و علوی تهرانی (۱۹۷۶)، پترولوژی و زمین‌شناسی کمربند افیولیتی شمال سبزوار.

- رساله دکتری علوی تهرانی (۱۹۷۶): زمین‌شناسی و پتروگرافی افیولیت‌های شمال باختری سبزوار.

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگه‌ی شامکان(میقیان و همکاران، ۱۹۷۸) توسط سازمان زمین-شناسی و نقشه‌برداری کشور.

-لنچ و همکاران (۱۹۷۹): مقاله‌ای تحت عنوان ژئوشیمی عناصر اصلی افیولیت‌های شمال خاوری ایران.

-حاج‌امینی (۱۳۷۱): تکوین ساختاری و زمین‌ساختی ناحیه درونه-سبزوار، شمال شرقی ایران

- قاضی و همکاران (۱۹۹۷) ژئوشیمی، پترولوژی، زمین‌شناسی افیولیت سبزوار، شمال شرق ایران.

-پرورش، محبوبه (۱۳۸۶) پترولوژی و ژئوشیمی ولکانیسم سنوزوئیک کوهسرخ (کاشمر) با نگرشی بر ژئوشیمی و آلودگی منابع آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.

- اسدی (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: پترولوژی، ژئوشیمی. پتانسیل معدنی افیولیت کوه‌سرخ (کاشمر).

### ۱-۷- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای افیولیتی و واحدهای پست‌افیولیتی است. واحدهای افیولیتی شامل سنگ‌های اولترامافیک، سرپانتینیت، مافیک و حدواسط است. واحدهای پست‌افیولیتی شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی‌های حدواسط تا اسیدی و توالی‌های رسوبی منطقه است. در قسمت

شمالی منطقه، رسوبات کواترنری شامل کنگلومراهای حاوی قطعاتی از مجموعه افیولیتی (مثل آندزیت، بازالت، گابرو، دیاباز و غیره) به همراه توالی‌های ماسه‌سنگی نازک‌لایه به سن نئوژن است که تشکیل-دهنده کانسارهای پلاسری تیتانومگنیتیت می‌باشند. به طور کلی از شرق به غرب، توالی افیولیتی، روند تقریباً منظمی را نشان می‌دهد.

### ۱-۸-افیولیت‌های ناحیه ریوش

در مجموعهٔ مورد مطالعه، آمیزه‌های رنگین در شمال منطقهٔ کوه‌سیاه قابل مشاهده است. توالی افیولیتی منطقهٔ مورد مطالعه از قاعده به سمت بالا شامل قسمت‌های زیر می‌باشد (شکل ۱-۲):

- پریدوتیت‌های اولترامافیک تکتونیزه و خردشده که بخش غالب توالی افیولیتی را تشکیل می‌دهند. ترکیب پریدوتیت‌ها بسیار متنوع بوده و از هارزبورگیت، لرزولیت، ورلیت تا دونیت متغیر است و بیشتر سرپانتینیتی شده‌اند (همانند کوه‌سیاه). در مرکز و جنوب منطقهٔ مورد مطالعه، بیشتر سنگها هارزبورگیتی می‌باشند.

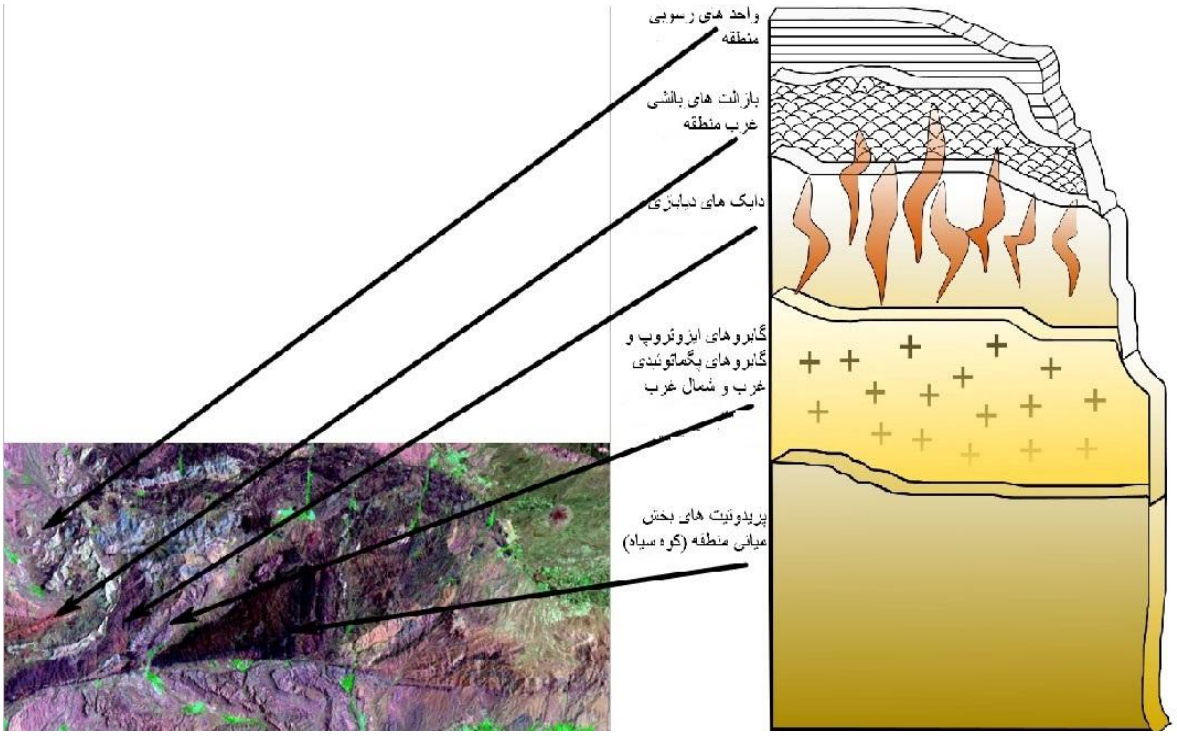
- سنگ‌های گابرویی ایزوتروپ که به شکل توده‌ای هستند و نیز گابروهای کومولیت که به شکل لایه‌ای می‌باشند و بیانگر محیط آرام در حین تبلور ماگمای بازیک می‌باشند که معمولا ترکیب گابرویی، تروکتولیتی و گابرونوریتی دارند. در قسمت شمال غرب منطقه، این گابروها قابل مشاهده هستند که بیشتر گابرونوریت می‌باشند. دگرسانی هیدروترمال باعث تبدیل بعضی از پیروکسن‌ها به آمفیبول شده است.

- دایک‌های دیابازی و صفحه‌ای به عنوان دایک‌های تغذیه‌کننده که مسیر عبور مواد مذاب تزریق شده از اتاق ماگمایی به سمت لایه‌های فوقانی می‌باشند. دایک‌های دیابازی، پریدوتیت‌ها را قطع می‌کنند و از آنها جوانترند. میکروگابروها از سنگ‌های رگه‌ای افیولیت‌ها هستند که سختی زیاد و رنگی بسیار تیره

دارند و به صورت دایک‌های نه چندان ممتد و یا به شکل عدسی رخنمون دارند. در شرق و غرب منطقه، ترتیب قرارگیری دایک‌های دیابازی در کنار بازالت‌ها به خوبی مشاهده می‌شود.

- گدازه‌های بالشی که ترکیب بازالتی و آندزیت بازالتی داشته و دارای سطح شیشه‌ای می‌باشند که نشاندهندهٔ سرد شدن سریع و تشکیل آنها به صورت فورانهای زیردریایی می‌باشد. در جنوب و جنوب-غربی منطقه، این گدازه‌های بالشی به خوبی مشاهده می‌شود که اسپیلیتی هم شده‌اند که این مسأله نشان‌دهندهٔ محیط دریایی تشکیل بازالت‌ها می‌باشد.

- لایه‌های رسوبی کف اقیانوس که شامل رسوبات آهکی، سنگ‌های سیلیسی رسوبی، چرت‌های رادیولاریت و رسوبات آذرآواری می‌باشند که به رنگ‌های قرمز تا سبز در غرب منطقه رخنمون‌های وسیعی دارند.




**تصویر شماره ۱-۲) ترتیب نمادین از توالی افیولیت‌های منطقه ریوش (از قاعده به سمت بالا)**

### ۱-۹- توالی افیولیتی منطقه مورد مطالعه

شمال و شمال غرب منطقه کوه‌سیاه به صورت گسترده‌ای از آمیزه‌های رنگین تشکیل شده که تغییرات واحدهای سنگی در آن بسیار زیاد است اما در قسمت شرق تا غرب منطقه، توالی افیولیتی به صورت کاملا منظم دیده می‌شود به طوری که از مرکز به سمت شرق و غرب شامل موارد زیر می باشد: ۱) سنگ‌های پریدوتیتی، ۲) گابرو، ۳) دایک‌های دیابازی، ۴) بازالت، ۵) رسوبات و آهک‌های رادیولاریتی، ۶) سنگ‌های ولکانیکی و ولکانوسدیمنت‌ها.

### ۱-۹-۱- واحدهای اولترامافیک

واحدهای اولترامافیک که بیشتر در منطقهٔ کوه‌سیاه مشاهده می‌شوند شامل هارزبورگیت، دونیت، لرزولیت و پیروکسنیت هستند و آمیزه‌های رنگین در قسمت شمالی منطقه کوه سیاه گسترده شده‌اند. بیشتر سنگ‌ها سرپانتینی شده و توپوگرافی ملایمی دارند (شکل ۱-۳). هارزبورگیت‌ها با وسعت قابل توجه، در سطح هوازده، قهوه‌ای ولی در سطح تازه، قهوه‌ای تیره هستند. درشت‌بلورهای براق ارتوپیروکسن‌های برونزیت در سطح سنگ به خوبی مشاهده می‌شوند. آلتراسیون در اکثر نمونه‌های اولترامافیک مشاهده می‌شود.

**تصویر شماره ۱-۳) واحدهای اولترامافیک در مجاورت واحد گابرویی**

دونیت‌ها از گسترش کمتری برخوردار بوده و به صورت بیرون‌زدگی‌های کوچک درون سرپانتینیت‌ها و هارزبورگیت‌ها دیده می‌شوند که سطح آلتره‌شده آنها زردرنگ ولی در سطح تازه سبزتیره با بلورهای درشت ولی در سطوح شکسته، سرپانتینی شده است (شکل ۱-۴).

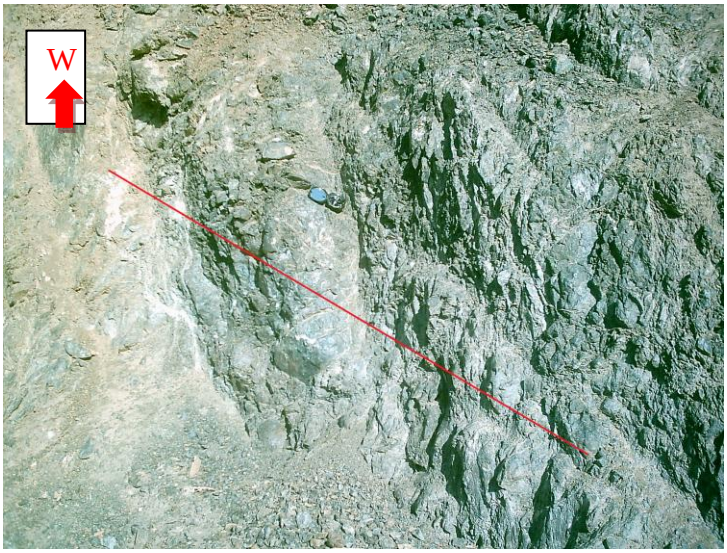
سنگ‌های پریدوتیتی شامل هارزبورگیت، لرزولیت، دونیت و پیروکسنیت، تحت تأثیر آلتراسیون‌های مختلف، سرپانتینی شده‌اند اما شدت سرپانتینی‌شدن در هارزبورزگیت‌هایی که تحت تأثیر محلول‌های هیدروترمال و شکستگی‌های ناشی از دیاپیریسم موضعی بوده‌اند، بیشتر است (شکل ۱-۵). شدت خردشدگی در قسمت کوه‌سیاه بیشتر است که نشان‌دهندهٔ تکتونیک فعال‌تر گسل ریوش (شکل ۱-۶) و دیاپیریسم موضعی سنگ‌های اولترامافیک منطقه می‌باشد.

سرپانتینیت‌ها به رنگ‌های سبزروشن، سبزتیره و قهوه‌ای روشن، گسترش زیادی در هارزبورگیت‌ها داشته و در امتداد گسل‌های منطقه (بویژه گسل ریوش)، که دارای اسپینل‌های کروم بیشتری است، در قسمت میانی کوه‌سیاه، کانسارهای کرومیت با ذخایر قابل توجه را تشکیل داده‌اند. سرپانتین‌ها با توجه

به نتایج آنالیزهای XRD، عمدتاً از نوع لیزاردیت و کریزوتیل می‌باشند. در قسمت غرب کوه‌سیاه (در مرز سنگ‌های اولترامافیک و دیابازها)، دایکهای گابرویی پگماتوئیدی مشاهده می‌شوند.

**تصویر شماره ۱-۴) سنگهای دونیتی در قسمت میانی کوه سیاه**

**تصویر شماره ۱-۵) آلتراسیون شدید سرپانتینیتی در منطقه‌ی کوه‌سیاه**




**تصویر شماره۱-۶) تکتونیک شدید در امتداد گسل ریوش باعث خردشدگی و سرپانتینیزاسیون هارزبورگیت‌ها شده است.**

### ۱-۹-۲- پیروکسنیت

پیروکسنیت‌ها، برونزدهای اندکی در قسمت شمالی کوه‌سیاه داشته و در مقاطع میکروسکوپی بافت گرانولار دارند. بلورهای ارتوپیروکسن انستاتیت و کلینوپیروکسن‌های دیوپسید به صورت هم‌بعد، نشان-دهنده‌ی شرایط تعادلی در هنگام تبلور ماگما و عمق زیاد تبلور است.

### ۱-۹-۳- واحد گابرو

گابروها به عنوان یکی از واحدهای معمول افیولیت‌ها، نقش مهمی در تعیین محیط تکتونیکی افیولیت‌ها دارند. در مجموعه افیولیتی شمال کاشمر، گابروها به دو شکل ایزوتروپ و کومولیت دیده می‌شوند. گابروهای توده‌ای خود به دو صورت لایه‌ای و ایزوتروپ دیده می‌شوند و گابروهایی که به