

## بررسی زمین شیمی و کانه‌زایی در آمیزه افیولیتی غرب رودان با تاکید بر کانه کرومیت

هاجر کریمی حقیقی<sup>۱</sup>، بهمن رحیم زاده<sup>۱\*</sup>، ساسان باقری<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۵/۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۴/۷/۶)

**چکیده:** آمیزه افیولیتی رودان در استان هرمزگان در مرز پهنه‌های ساختاری زاگرس در جنوب و مکران-سندج - سیرجان در شمال واقع است. سنگ‌های فرامافیک به عنوان یکی از تشکیل دهنده‌های اصلی این آمیزه بیشتر شامل دونیت، هارزبورژیت و کمی کرومیتیت هستند که به شدت سرپانتینی شده‌اند. در این پژوهش، از روش‌های زمین‌شناسی (ساختارهای زمین شناسی و دگرسانی‌های در ارتباط با کانه‌زایی) و زمین شیمی در پی‌جویی کانه‌های مربوط به رخنمون‌های افیولیت غرب رودان استفاده شده است. این بررسی‌ها شامل تجزیه‌های شیمیایی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، ذوب قلیایی (AF)، طیف‌سنجی پلاسما جفت‌شده القایی (ICP) و روش ملغمه سربی (FA)، نشان می‌دهند که افیولیت‌های غرب رودان مستعد کانه‌زایی آهن ماگمایی، مس و کرومیت بوده و در مقابل، از نظر غنی‌شدگی از فلزهای گروه پلاتین و طلا ضعیف هستند. کانه‌زایی کرومیت در بخش‌های فرامافیک و درون سنگ میزبان هارزبورژیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت‌ها به صورت دانه پراکنده، عدسی شکل و رگه-رگچه‌ای دیده می‌شوند. بافت‌های اولیه کرومیت در سنگ‌های میزبان پریدوتیتی شامل بافت دانه‌ای، مشبک و افشان و بافت‌های ثانویه سنگ‌های کرومیت دار در انواع برشی، میلونیتی و تنش آواری هستند. براساس نتایج طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) در نمونه‌های کرومیتی، مقدار اکسید کروم ( $Cr_2O_3$ ) بین ۲۱/۳۷ تا ۵۵/۰۸ درصد وزنی (wt.%)، مقدار اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) بین ۷/۱۳ تا ۱۵/۸۸ درصد وزنی و مقدار اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) بین ۵/۴۴ تا ۱۶/۸۷ درصد وزنی است. مقادیر بالای اکسید کروم ( $Cr_2O_3$ ) در کرومیتیت‌های منطقه مورد بررسی با کرومیتیت‌های پرعیار و نوع آلی همخوانی دارد. بر پایه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، افزایش سرپانتینی شدن با افزایش پتانسیل کرومیت همراه است، این افزایش سرپانتینی شدن به‌ویژه در هارزبورژیت‌ها مشاهده شد. عیار کرومیت در رخدادهای اقتصادی بین ۲۰ تا ۷۵ درصد متغیر بوده و در صورت وجود ذخیره کافی، معدن‌کاری امکان‌پذیر است.

**واژه‌های کلیدی:** آمیزه افیولیت؛ پهنه جوش خورده زاگرس؛ افیولیت کمر بند خارجی زاگرس؛ کانه زایی؛ کرومیتیت آلی.

### مقدمه

اقیانوسی پی برد [۴].  
از جمله موضوع‌های مورد توجه در سال‌های اخیر پیرامون افیولیت‌ها، می‌توان به بررسی جایگاه زمین‌ساختی افیولیت‌ها، واحدهای ساختاری سازنده آن‌ها، سازوکار تولید و مهاجرت مذاب در گشته و پیامدهای آن چون میزان تهی‌شدگی مذاب (melt depletion) [۴-۶]، چگونگی و شرایط تشکیل کرومیت

مجموعه‌های افیولیتی شامل واحدهای مافیک-فرامافیک از سنگ کره اقیانوسی هستند که طی فرایند زمین‌ساختی بر پوسته قاره‌ای طی کوه‌زایی جایگزین شده‌اند [۱-۳] و با استفاده از توالی فرامافیک آن‌ها می‌توان به فرایندهای حاکم بر گوشته بالایی و فرایندهای فیزیکی و شیمیایی در محیط

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۷۹۶۵۲۰۰، پست الکترونیکی: [b\\_rahimzadeh@sbu.ac.ir](mailto:b_rahimzadeh@sbu.ac.ir)



مناطق دربردارنده پهنه‌های کرومیت‌دار ارزشمند هستند، زیرا نه تنها منبع شناخته شده کروم و عناصری چون Fe، Ti و V بوده بلکه منبع عناصر گروه پلاتین (PGE) و عناصر زیرگروه ایریدیوم (IPGE) چون Os، Ir و Ru نیز هستند [۹]. افزون بر این، کرومیت‌ها نقش مهمی در فرایندهای گوشته، سنگزایی، شرایط تفکیک ماگمایی و تغییر سطوح گریزندگی اکسیژن ( $fO_2$ ) طی تبلور مجموعه ماگمایی دارند [۲۰-۲۳]. براساس بررسی‌های صالحی [۲۴]، مجموعه‌های افیولیتی در مناطق پیرامون رودان، بصورت آمیزه‌های افیولیتی و بخش‌های تکه تکه شده شامل دونیت، ورلیت، پیروکسنیت و همچنین کرومیتیت و سرپانتینیت هستند که دونیت بصورت توده‌ای و دربردارنده کرومیت است. سنگ‌های فرامافیک منطقه رودان بخشی از مجموعه فرامافیک سرخ بند هستند که فرض بر این است که این سنگ‌ها مشابه دیگر بخش‌های مجموعه افیولیتی سرخ بند در قسمتی از قطعه اقیانوسی تئیس هستند که طی کرتاسه پسین بر کرانه قاره قرار دارند [۲۴]. کانه‌زایی کرومیت در غرب رودان درون واحدهای پریدوتیتی از جمله هارزبورژیت و دونیت سرپانتینیتی شده روی داده است. کرومیت عضوی از گروه اسپینل است و یک کانی اولیه در پریدوتیت‌های گوشته‌ای به شمار می‌رود. بررسی‌های زمین شیمیایی این کانی می‌تواند اطلاعاتی مهم در مورد محیط تشکیل، نوع کانه‌زایی و ویژگی‌های زمین شیمیایی ماگمای مادر به دست دهد.

در این پژوهش، با پایه شهود صحرایی و نتایج زمین شیمیایی، کلیدهای اکتشافی کانی‌زایی کرومیت به همراه سایر موارد اکتشافی در سرپانتینیت‌ها، در منطقه رودان بررسی شده است. این روش‌ها می‌توانند در پی‌جویی این نوع کانی‌ها در سایر مناطق افیولیتی ایران استفاده شوند. در این پژوهش افزون بر عملیات گسترده صحرایی، از بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی، تجزیه PGE ها و همچنین تجزیه طلا انجام شده است.

#### زمین‌شناسی عمومی

افیولیت رودان در استان هرمزگان بخشی از مجموعه افیولیت‌های پراکنده و رخنمون یافته در گستره وسیعی بنام زیرپهنه سبزواران [۲۵] بین گسل‌های رانده زاگرس در غرب و سبزواران در شرق است. این زیرپهنه در ادامه جنوب شرقی پهنه سندانج-سیرجان از یک سو و شمال غربی پهنه مکران از سوی دیگر واقع است. در این زیرپهنه که به بیانی چارراه

در پریدوتیت‌های گوشته‌ای [۷، ۸] و همچنین مقایسه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی واحدهای افیولیتی با نمونه‌های به‌دست‌آمده از بستر اقیانوس‌های امروزی [۵، ۹] اشاره کرد. در افیولیت‌ها، نهشته‌های کرومیتی به شکل‌های مختلف بیشتر در بالای افق‌های گوشته بالایی نزدیک مرز گوشته-پوسته و یا به اصطلاح در پهنه انتقالی موهو جایگیری می‌کنند [۱۰، ۱۱]. بر اساس بررسی کانسارهای کرومیت در افیولیت‌ها، سازوکارهای مختلفی برای توجیه تحریک پذیری کروم و در پی آن تبلور کرومیت با حجم قابل ملاحظه پیشنهاد شده است [۱۲].

مجموعه‌های افیولیتی به دلیل امکان میزبانی کرومیت (توده‌ای، لایه‌ای)، سولفید مس توده‌ای، کانی‌های گروه پلاتین و عناصر خاکی نادر و همچنین کانی سازی قابل توجه در ارتباط با لاتریتها (Co، Cr، Ni) اهمیت اقتصادی بالایی دارند [۱۳-۱۸]. کانه‌زایی فلزی (سولفیدی، کرومیتی) در مجموعه‌های افیولیتی در معرض فرایندهایی است که طی ذوب‌بخشی سنگ‌های گوشته بالایی هنگام صعود و سپس پدیده‌هایی که طی تبلور ماگمای به دست آمده در آشیانه ماگمایی رخ می‌دهند [۱۹].

کرومیت تنها کانی اقتصادی کروم به فرمول عمومی  $O_4 (Cr, Fe, Al)_2 (Fe, Mg)$  است. این کانی به عنوان ماده اولیه تولید کننده کروم و ترکیب‌های آن در بازار جهانی اهمیت ویژه‌ای دارد. تجارت کرومیت به عنوان ماده‌ای خام در جهان بیشتر نیازمند تولید فروکروم است که ۷۰ درصد آن در ساخت فولاد ضد زنگ مصرف می‌شود. کانسارهای کرومیت انبانی (آلی) توده‌های کرومیت ماگمایی کوچکی هستند که بیشتر در بخش فرامافیکی و کمتر در بخش مافیک یک مجموعه افیولیتی تشکیل می‌شوند [۸].

بسیاری از کانسارهای انبانی (آلی) در سنگ‌های دونیتی یا پریدوتیتی در نزدیکی همبری بخش انباشتی و پهنه‌های زمین ساختی در افیولیت‌ها یافت می‌شوند [۸]. این ذخایر ساختار منظم ندارند و به صورت عدسی، رگه‌ای و لایه‌ای نامنظم ظاهر می‌شوند. از مهم‌ترین نمونه‌های این نوع ذخایر می‌توان به معادن فیلیپین، کوبا، ترکیه، یونان، قبرس، آلبانی، یوگسلاوی، هند، پاکستان و ایران اشاره کرد [۸]. ذخایر نوع آلی کمتر از ۳ درصد ذخایر جهانی را دارا هستند، اما بیش از ۵۵ درصد تولید جهانی را شامل می‌شوند [۸].

مزوزوئیک تا اوایل سنوزوئیک هستند که در یک محیط فرورانش با شیب شمال شرقی، به صورت آمیخته زمین ساختی همراه با رسوب‌های اقیانوسی و قاره‌ای رخمون یافته‌اند [۲۶، ۳۰، ۳۱]. قدیمی‌ترین واحدهای منطقه را سنگ‌های فرامافیک تشکیل می‌دهند که به‌عنوان اصلی‌ترین عضو مجموعه آمیزه افیولیتی منطقه شناخته می‌شوند. این سنگ‌ها بیشتر شامل دونیت، هارزبورژیت و کمی لرزولیت هستند که شدت بالایی از سرپانتینی شدن را تجربه کرده و در بسیاری موارد، به سرپانتینیت کامل تبدیل شده‌اند. در گستره‌های بیکاه و جعفرآباد، این واحدهای فرامافیک به صورت پریدوتیت‌های سرپانتینی شده و سرپانتینیت‌هایی با سازه‌های مختلف، از جمله توده‌های کوچک تا متوسط بازالتی و گاهی قطعه‌های گابرویی رخمون دارند. این سرپانتینیت‌ها نقش یک بستر میزبان را در منطقه دارند و سایر واحدها را در قالب آمیزه با خود حمل می‌کنند. بر این واحدهای فرامافیک، توالی‌های رسوبی-آذرین نابرجا شامل (۱) بازالت‌های بالشی، (۲) آهک‌ها و دولومیت‌های مرمیتی، (۳) رادیولاریت‌ها و (۴) مارن‌های لای‌دار، شیت‌های سبز و ماسه‌سنگ‌ها قرار دارند که ساختار آمیزه‌ای دارند. درون پریدوتیت‌های منطقه، توده‌ها و عدسی‌های کرومیت‌دار به‌ویژه به صورت دونیت‌های کرومیت‌دار و در مقیاس کمتر، کرومیت همراه با هارزبورژیت دیده می‌شوند. در برخی نقاط نیز برون‌زدهای کرومیتیت به صورت توده‌ای یا رگه‌ای وجود دارند. این ویژگی‌ها با ویژگی‌های کرومیت‌های نوع آلیپی هم‌خوانی دارند.

از نظر صحرایی، توده‌های پریدوتیتی منطقه دارای ویژگی‌هایی از جمله (۱) گسترش شدید تورق و برش‌های سرپانتینیتی، (۲) درزه‌ها و شکستگی‌های پر شده با سرپانتین، منیزیت و اکسیدهای آهن، (۳) رنگ‌های هوازده تیره با رگه‌های سفید مشخصه نشان‌دهنده اثر فرایندهای زمین ساختی شدید و دگرسانی گسترده هستند.

در بخش غربی منطقه، دو گسل اصلی گسل زندان و گسل میناب به ترتیب از شرق به غرب قرار دارند. در شمال و مرکز منطقه نیز گسل فرعی پالامی (Palamy) که موازی با گسل زندان است، مرز غربی گستره را مشخص می‌کند. روند عمومی گسل‌ها در بخش جنوبی، شمالی-جنوبی است، اما در بخش‌های مرکزی و شمالی، این روند با چرخش به سمت غرب تغییر کرده و به شمال‌غربی-جنوب‌شرقی (NW-SE) مایل

افیولیتی ایران بحساب می‌آید، چند کمربند افیولیتی به هم می‌پیوندند؛ کمربند افیولیتی نئوتتیس وابسته به زاگرس مرتفع که از سمت حاجی آباد وارد این زیرپهنه گشته و به احتمال بسیار به سمت جنوب، به افیولیت عمان می‌پیوندد. افیولیت-های مکران داخلی و خارجی نیز به نوبه خود به ترتیب از سمت کهنوج و میناب وارد این زیر پهنه می‌شوند. از سوی دیگر، افیولیت‌های پراکنده اسفندقه چون فاریاب از طرف شمال و به احتمال بسیار از سمت کمربند دهشیر-بافت وارد این زیر پهنه می‌گردد. در هر حال، به سبب نزدیکی جغرافیایی افیولیت رودان به افیولیت‌های زاگرس و مکران خارجی محتمل‌تر است که رودان را در طول گسل زندان و با یک روند شمالی-جنوبی در اتصال این دو کمربند در نظر گرفت، البته اثبات این امر نیازمند اطلاعات همه جانبه زمین شناسی است.

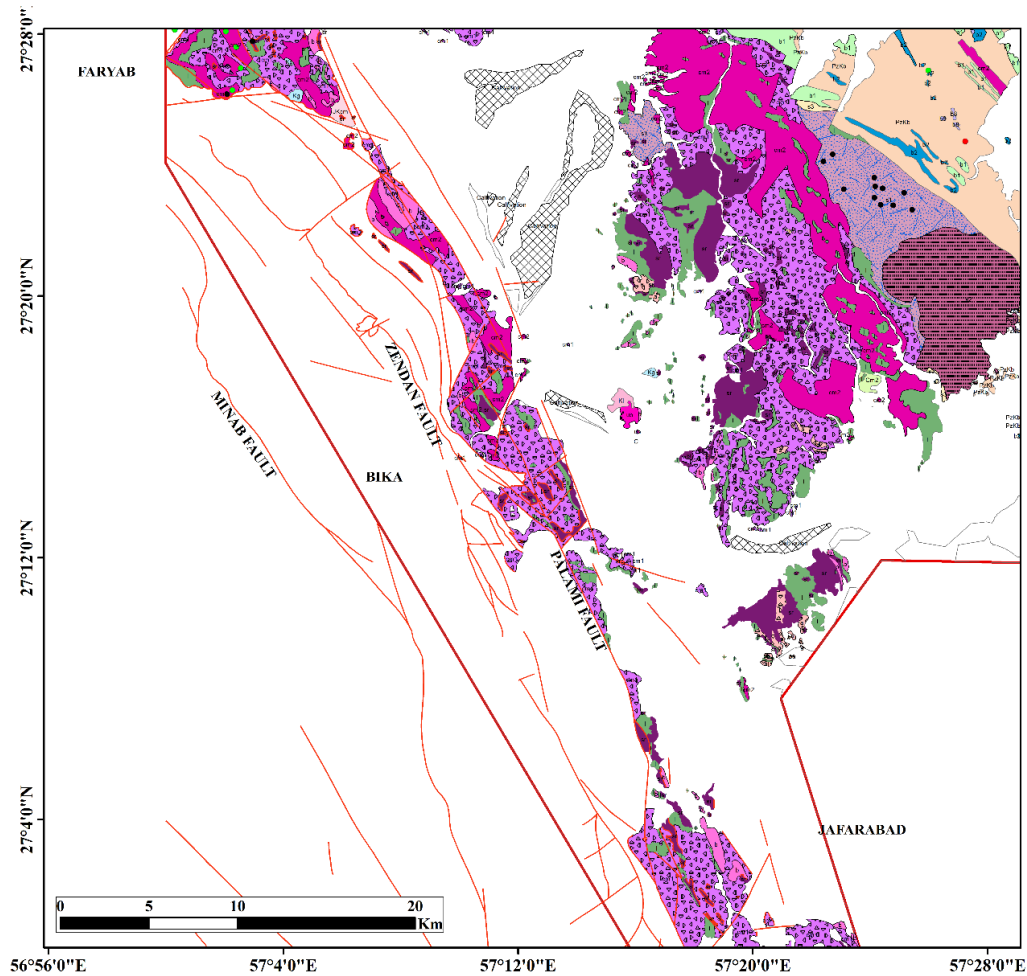
افیولیت‌های جنوبی ناحیه مکران شمالی را افیولیت‌های سرخ‌بند و رودان تشکیل می‌دهند که در پهنه برشی بین مجموعه آمیزه افیولیتی و مجموعه باجگان قرار دارند [۲۶، ۲۷]. مجموعه باجگان مجموعه‌ای دگرگونی از شیت‌ها، پاراگنیس‌ها و آمفیبولیت‌هاست. رخساره‌های دگرگونی از شیت سبز تا آمفیبولیت هستند، هرچند به صورت پراکنده رخساره گلوکوفان نیز گزارش شده است [۲۸]. آمیزه‌های افیولیتی در مرز قطعه‌ها و پهنه‌های زمین‌شناسی کنار گسل‌ها و روراندگی‌ها قرار دارند و به دلیل خاستگاه خود، به شدت در معرض زمین ساخت هستند، بطوری که همه واحدهای سنگی گسله شده‌اند و پهنه‌های برشی بسیاری در آنها تشکیل شده است همچنین، رسوب‌های کواترنری میان مجموعه‌های بازیک در کنار فرامافیک‌های رودان دیده شده‌اند [۲۹].

#### زمین شناسی صحرایی منطقه غرب رودان

بخش عمده افیولیت رودان در غرب شهرستان رودان (ده بارز) و دشت رودان قرار دارد. به سبب ساختار بهم ریخته این افیولیت، بهتر است که از آن با نام آمیزه افیولیتی رودان صحبت شود [۲۹]. منطقه مورد بررسی از نظر جغرافیایی، بین طول‌های جغرافیایی ۵۷°، ۱۵' تا ۵۷°، ۰۰' غربی و عرض‌های جغرافیایی ۲۷°، ۰۰' تا ۲۷°، ۳۰' شمالی واقع است (شکل ۱). این آمیزه از واحدهای مختلف سنگی تشکیل شده است که همبری آنها با هم و یا دیگر واحدهای غیر افیولیتی گسله و بیشتر از نوع راندگی (Thrust Fault) است. واحدهای آمیزه افیولیتی این منطقه بقایای سنگ کره اقیانوسی مربوط به اواخر

به صورت توده‌های جدا از هم با ارتباط گسلی با سنگ‌های در برگیرنده خود (چون رودان و سرخیند) یا به شکل آمیزه در راستای گسل‌های اصلی مانند پالامی-زندان رخمون یافته‌اند (شکل ۱).

می‌شود. این ساختارهای زمین ساختی، افزون بر اثر جابجایی واحدها، نقش مهمی در کنترل کانی‌زایی‌های آهن و منگنز در منطقه داشته‌اند، به طوری که بخشی از کانه‌زایی‌ها به طور مستقیم در راستای گسل‌های شمالی-جنوبی گسترش یافته‌اند. فیولیت‌های پهنه سبزواران به ویژه در زیرپهنه فاریاب،



LEGEND

**MINERALIZATION**

- Cr
- Cu
- Cu, Fe, Mn
- Cu, Mn

— FAULT

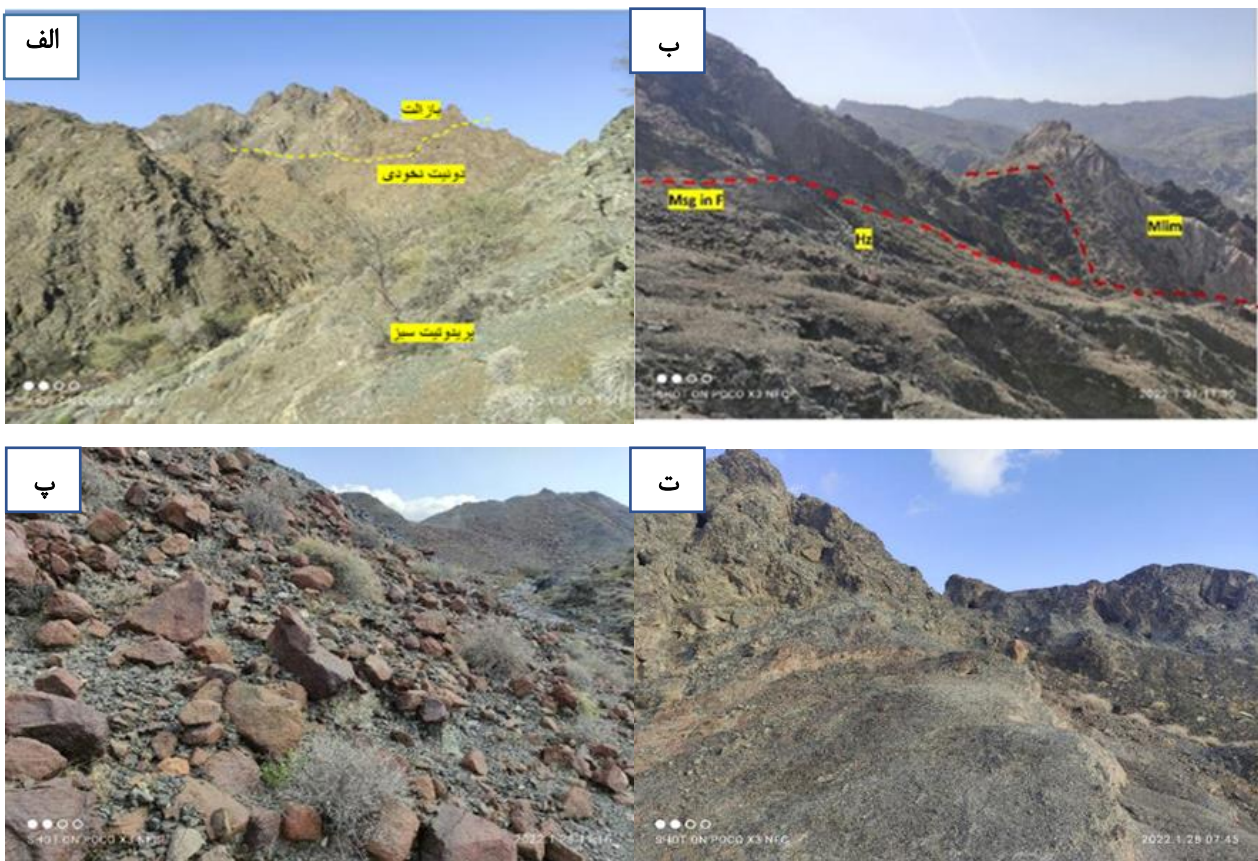
C) Cenozoic sediments

- Basic association - basalt and basaltic andesite pillow lava with minor pelagic sediment
- Globotruncana limestone with radiolarian chert.
- Reefal limestone containing orbitolina.
- Recrystallised pelagic limestone and minor radiolarian chert.
- Serpentinit, dunite, harzburgite and lherzollite.
- Well lalered serpentinitised ultramafics.
- Basalt and basaltic andesite pillow lava.
- Amphibolite with minor gabbro.
- Sorkhaban ultrabasics gabro.
- Poorly layered dunite, harzburgite
- Well layered dunite, pyroxenite, harzburgite, websterite, wehrllite and chromitite
- Rudan ultrabasics harzburgite with minor Websterite and serpentinitised dunite.
- Bajgan complex undifferentiated pelitic and psammitic, recrystallised limestone and marble; includes quartz-muscovite-chlorite schist.
- Basic schistose rock minor pelitic schist, phyllite and calc-silicate rock.
- Recrystallised limestone with marble and minor pelitic schist.
- Magnesian rock.

شکل ۱ نقشه زمین شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از مرجع [۳۲] با کمی تغییر.

با آهک‌های دگرگون‌شده هم‌بر هستند و به سمت غرب شیب دارند. رگه‌های منیزیتی، بیشتر در راستای گسل‌ها و کناره‌های شرقی و غربی، با طول زیاد اما ضخامت کم (کمتر از نیم متر، با میانگین ۲۰ سانتی‌متر) تشکیل شده‌اند (شکل ۲ ب). در منطقه بیکاه، پریدوتیت‌های نخودی‌رنگ بیشتر رخمون دارند و تنها در بخش‌های شمالی، قطعه‌های سالمی از آن‌ها دیده می‌شوند که به دلیل شباهت رنگ و رخساره با بازالت‌های آجری‌رنگ، بدون بررسی میدانی دقیق قابل تفکیک نیستند (شکل ۲ پ). در منطقه جعفرآباد، سرپانتینیت بخش زیادی از جنوب و مرکز را پوشانده (شکل ۲ ت) و در جنوب به صورت توده‌های به نسبت کروی بالا آمده است که آثار آهک‌های دگرگون‌شده هنوز روی برخی بخش‌های آن دیده می‌شود.

بررسی‌های پیرامون روابط صحرایی، ساختار، سنگ‌شناسی و کانه‌سازی افیولیت (به ویژه فرامافیک‌های گوشته‌ای) در سه منطقه فاریاب (رودان)، بیکاه و جعفرآباد منتهی به غرب رودان متمرکز بوده است. منطقه فاریاب (رودان) در اصل یک گستره افیولیتی با سازوکار دیپیری است که در راستای گسل پالامی-زندان برونزد دارد. عمده رخمون در این منطقه شامل پریدوتیت (با رنگ‌های بیشتر سبز تیره تا سیاه و در بخش جنوب شرقی نخودی رنگ)، پریدوتیت سرپانتینی شده است (شکل ۲ الف) که بر این فرامافیک‌ها، بخش‌های مختلفی شامل بازالت، آهک‌دولومیت‌های مرمریتی و مجموعه‌های خرد شده و بهم ریخته رسوبی چون رادیولاریت و ماسه‌سنگ دیده می‌شوند. در مرزهای غربی و جنوب‌غربی منطقه، هارزبورژیت‌ها



شکل ۲ الف) پریدوتیت‌های نخودی رنگ که در پای ارتفاع‌های بازالتی دیده می‌شوند (با دید به شمال غرب). ب) همبری پریدوتیت‌ها با آهک بلوری در بخش غربی منطقه (با دید به جنوب غرب). پ) قطعه‌های پریدوتیت‌های نخودی در سطح سرپانتینیت‌های سبز رنگ (با دید به شمال غرب). ت) پریدوتیت‌های سرپانتینیتی غرب بیکاه (با دید به شمال غرب).

**روش بررسی**

برای بررسی احتمال کانه‌زایی، عیار و رفتار برخی عناصر (Cu, Fe, Cr) مربوط به افیولیت‌های رودان، با چند پیمایش در بخش‌های مختلف این مجموعه، ارتباط صحرایی بررسی و از واحدهای سنگی و ویژه بخش‌های فرامافیکی در سه بخش متفاوت از غرب رودان نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها پس از جمع‌آوری، در آزمایشگاه به صورت استاندارد آماده شدند که این آماده‌سازی شامل خرد کردن، آسیاب کردن و تهیه نمونه‌های مناسب برای بررسی به هر روش است. در مرحله بعد، نمونه‌ها از نظر کیفی و کمی آزمایش شدند. برای این منظور، ۴۰ نمونه مقاطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌شناسی ۲۰ نمونه مقطع پرداخت شده برای کانه‌نگاری و کانی‌شناسی میکروسکوپی با

نور بازتابی، ۶ قطعه برای سنجش عیار طلا و ۹ نمونه برای تعیین عیار عناصر طلا، پلاتین و پالادیوم با روش آماده‌سازی ملغمه سربی (Fire Assay)، ۴۰ نمونه برای طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و ۶ نمونه برای طیف‌سنجی نشر نوری پلاسما جفت‌شده القایی (ICP-OES) به شرکت زرآزما (تهران) ارسال شدند. مقادیر حد آشکارسازی عناصر در این روش‌ها اغلب در گستره ۰/۱ تا ۱۰ ppm قرار دارد که بر اساس استانداردهای رایج آزمایشگاهی است و نتایج در قالب درصد وزنی (wt.%) گزارش شده‌اند. مقاطع نازک تهیه شده از نمونه‌ها با میکروسکوپ قطبشی المپوس مدل BH-2 و مقاطع صیقلی با میکروسکوپ بازتابی المپوس مدل BX-60 در دانشگاه شهید بهشتی بررسی شدند (جدول ۱).

**جدول ۱** نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی نمونه‌های افیولیتی غرب رودان به روش XRF

Sample	SiO2	TiO2	Al2O3	BaO	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	Cr2O3	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Z11T1-XRF-	۸۶٫۷۳	۰٫۳۷	۰٫۶۱	۰٫۳۷	۱٫۴۹	۰٫۱۲	۰٫۵۹	۵٫۳۴	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۵
Z11T1-XRF-	۸٫۹	۰٫۳۷	۰٫۴۶	۰٫۳۷	۸۰٫۷۱	۰٫۰۶	۷٫۳۹	۱٫۴۱	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۵۷	۰٫۵
Z11T1-XRF-	۳٫۳۳	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۳۷	۹۴٫۵۹	۰٫۰۷	۳٫۱۲	۰٫۲۸	۰٫۰۹	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۳۷۵	۱٫۷
Z11T1-XRF-	۷۹٫۵۱	۰٫۳۷	۰٫۲۵	۰٫۳۷	۱۵٫۹۵	۰٫۰۶	۰٫۲۳	۰٫۶۲	۰٫۳۸	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۳٫۳
Z11T1-XRF-	۱۵٫۶۳	۰٫۰۹	۰٫۹۴	۰٫۳۷	۶۴٫۶۵	۰٫۰۶	۱۳٫۳۲	۲٫۴۲	۰٫۱۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۱۳	۰٫۳۷۵	۲٫۷
Z11T1-XRF-	۷۱٫۶۷	۰٫۳۷	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۹٫۶۷	۱۲٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۹	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۱۳	۰٫۳۷۵	۴٫۶
Z11T1-XRF-	۵۰٫۰۵	۰٫۰۶	۲٫۲۲	۰٫۳۷	۵٫۷۶	۰٫۱۲	۲۹٫۵۷	۸٫۴۱	۰٫۱۳	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۷	۰٫۷۶	۲٫۸
Z11T2-XRF-	۴۸٫۱۶	۲٫۴۱	۱٫۶۳۴	۰٫۳۷	۱۳٫۵۹	۰٫۱۵	۲٫۷۸	۷٫۶۳	۵٫۴۹	۱٫۲۲	۰٫۳	۰٫۰۸	۰٫۳۷۵	۲٫۹
Z11T2-XRF-	۳۷٫۳۱	۰٫۳۷	۰٫۶۵	۰٫۳۷	۷٫۷۵	۰٫۱	۳۹٫۴۶	۱٫۳	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰٫۳۷۵	۱۳
Z11T2-XRF-	۷۲٫۹۱	۰٫۳۷	۰٫۷۷	۰٫۳۷	۱۱٫۵۱	۹٫۲۸	۰٫۳۹	۱٫۸	۰٫۰۹	۰٫۰۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۳۷۵	۲٫۹
Z11T2-XRF-	۶۲٫۲۱	۰٫۵۱	۶٫۱۶	۰٫۳۷	۱۹٫۸۸	۰٫۰۹	۲٫۸	۱٫۲۴	۰٫۵۹	۰٫۲۵	۰٫۰۷	۰٫۳۶	۰٫۳۷۵	۵٫۹
Z11T2-XRF-	۵۰٫۷۷	۱٫۵۵	۱۳٫۲۲	۰٫۳۷	۱۳٫۸۶	۰٫۱۶	۳٫۴۷	۵٫۶۷	۵٫۶۳	۰٫۲	۰٫۵۸	۰٫۱۸	۰٫۳۷۵	۴٫۶
Z11T2-XRF-	۶۰٫۲۶	۰٫۱	۲٫۶۵	۰٫۳۷	۲٫۸۴	۱۲	۰٫۵۵	۱۰٫۴	۰٫۵۴	۰٫۱۵	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۳۷۵	۱۰
Z11T2-XRF-	۱٫۶۶	۰٫۱۶	۹٫۸۹	۰٫۳۷	۱۳٫۳	۰٫۱۴	۱۴٫۳۲	۴٫۶۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۲٫۰۵	۳٫۷
Z11T2-XRF-	۳٫۸۶	۰٫۱۱	۷٫۹۵	۰٫۳۷	۱۱٫۷۴	۰٫۱۶	۱۳٫۷	۸٫۲۱	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۴۵٫۳۸	۸٫۷
Z11T2-XRF-	۱٫۶۳	۰٫۱	۴٫۸۹	۰٫۳۷	۹٫۹۲	۰٫۱۵	۲۳٫۲۲	۸٫۷۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۲۶٫۱۳	۱۱
Z11T2-XRF-	۳۰٫۲	۰٫۳۷	۰٫۷	۱٫۴۳	۷۶٫۸۵	۰٫۰۷	۱٫۷۶	۸٫۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۹۲	۰٫۳۷۵	۶٫۳
Z11T2-XRF-	۱۲٫۱۵	۰٫۲۹	۱۲٫۴۳	۰٫۳۷	۱۳٫۳۲	۰٫۱۶	۲۲٫۱	۰٫۵۵	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۳۲٫۶۱	۶٫۲
Z11T2-XRF-	۳۹٫۷	۰٫۳۷	۱٫۵۷	۰٫۳۷	۹٫۱۲	۰٫۱۷	۳۸٫۷	۲٫۲۵	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۸٫۱
Z11T2-XRF-	۵۷٫۶۵	۰٫۷۱	۱۴٫۴۹	۰٫۳۷	۱۱٫۳۸	۰٫۱۵	۳٫۹۶	۰٫۹۳	۷٫۴۷	۰٫۲	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۳
Z11T2-XRF-	۴۳	۰٫۶۵	۱۳٫۶	۰٫۳۷	۵٫۶۷	۰٫۱۱	۲٫۰۷	۱۳٫۶	۴٫۰۳	۲٫۴۷	۰٫۲۹	۰٫۰۶	۰٫۳۷۵	۱۴
Z11T2-XRF-	۵۰٫۲۴	۰٫۶۲	۱۳٫۲۸	۰٫۳۷	۱۴٫۹۸	۱٫۷۸	۳٫۶۲	۵٫۶۶	۱٫۲۳	۲٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۰۶	۰٫۳۷۵	۶
Z11T2-XRF-	۳۱٫۹۷	۰٫۳۷	۰٫۱۱	۰٫۳۷	۶٫۵۴	۰٫۱	۳۸٫۹۱	۰٫۰۵	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۳۷۵	۲۲
Z11T2-XRF-	۴۱٫۴۴	۰٫۳۷	۱٫۰۵	۰٫۳۷	۵٫۵۸	۰٫۱	۳۸٫۶۸	۰٫۲۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۱۲
Z11T2-XRF-	۳۶٫۴۸	۰٫۳۷	۱٫۰۵	۰٫۳۷	۸۰٫۱	۰٫۱۱	۳۸٫۳۴	۰٫۰۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۳۷۵	۱۵
Z11T2-XRF-	۴٫۴۱	۰٫۱	۷٫۳۴	۰٫۳۷	۲۵٫۵۵	۰٫۱۵	۱۲٫۵۱	۶٫۳۴	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۳۶٫۸۷	۶٫۴
Z11T2-XRF-	۲٫۵۸	۰٫۱۵	۷٫۲۲	۰٫۳۷	۱۴٫۰۴	۰٫۱۸	۱۱٫۹۱	۶٫۰۲	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۲٫۷	۵٫۱
Z11T3-XRF-	۶٫۴۸	۰٫۲۵	۱۲٫۷۲	۰٫۳۷	۱۵٫۷۵	۰٫۱۷	۱۷٫۶۸	۰٫۴۱	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۴۳٫۹۵	۲٫۴
Z11T3-XRF-	۲۱٫۲۲	۰٫۱۱	۵٫۴۴	۰٫۳۷	۱۲٫۶۲	۰٫۱۶	۲۷٫۵۸	۰٫۰۷	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۲۱٫۳۷	۱۱
Z11T3-XRF-	۴٫۲۶	۰٫۲۲	۱۰٫۵۱	۰٫۳۷	۱۴٫۸۷	۰٫۱۵	۱٫۶۶	۰٫۰۴	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۱٫۶۹	۱٫۶
Z11T3-XRF-	۳٫۴۴	۰٫۲۲	۱۰٫۴۶	۰٫۳۷	۱۴٫۶۱	۰٫۱۷	۱۵٫۷۲	۰٫۳۶	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۳٫۱۲	۱٫۸
Z11T3-XRF-	۳٫۴۱	۰٫۳۸	۱۶٫۸۷	۰٫۳۷	۱۵٫۸۸	۰٫۱۷	۱۵٫۸۴	۰٫۲۴	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۴۵٫۵۴	۱٫۵
Z11T3-XRF-	۳۸٫۸۷	۰٫۸۵	۱۳٫۹۲	۰٫۳۷	۷٫۱۳	۰٫۱	۴٫۶۷	۱۳٫۳	۳٫۵۹	۲٫۴۵	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۳۷۵	۱۵
Z11T3-XRF-	۲٫۱۷	۰٫۱۸	۸٫۸۲	۰٫۳۷	۱۶٫۵۳	۰٫۲۹	۱۲٫۹۶	۳٫۶۳	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۲٫۲۶	۳
Z11T3-XRF-	۳٫۹۷	۰٫۲	۱۰٫۷۴	۰٫۳۷	۱۴٫۹۷	۰٫۱۴	۱۶٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۲٫۴۷	۱٫۳
Z11T3-XRF-	۴٫۴۲	۰٫۲۴	۹٫۴۲	۰٫۳۷	۱۴٫۹۴	۰٫۱۵	۱۶٫۳۲	۰٫۰۴	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۰٫۷۱	۳٫۷
Z11T3-XRF-	۶٫۹۵	۰٫۳	۱۱٫۰۲	۰٫۳۷	۲۹٫۶	۰٫۲۲	۱۳٫۵	۰٫۲۳	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۳۶٫۳۵	۱٫۷
Z11T3-XRF-	۳٫۷۱	۰٫۱۲	۸٫۷۴	۰٫۳۷	۱۵٫۸۷	۰٫۱۷	۱۵٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۳۸	۰٫۳۸	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۵۵٫۰۸	۰٫۹

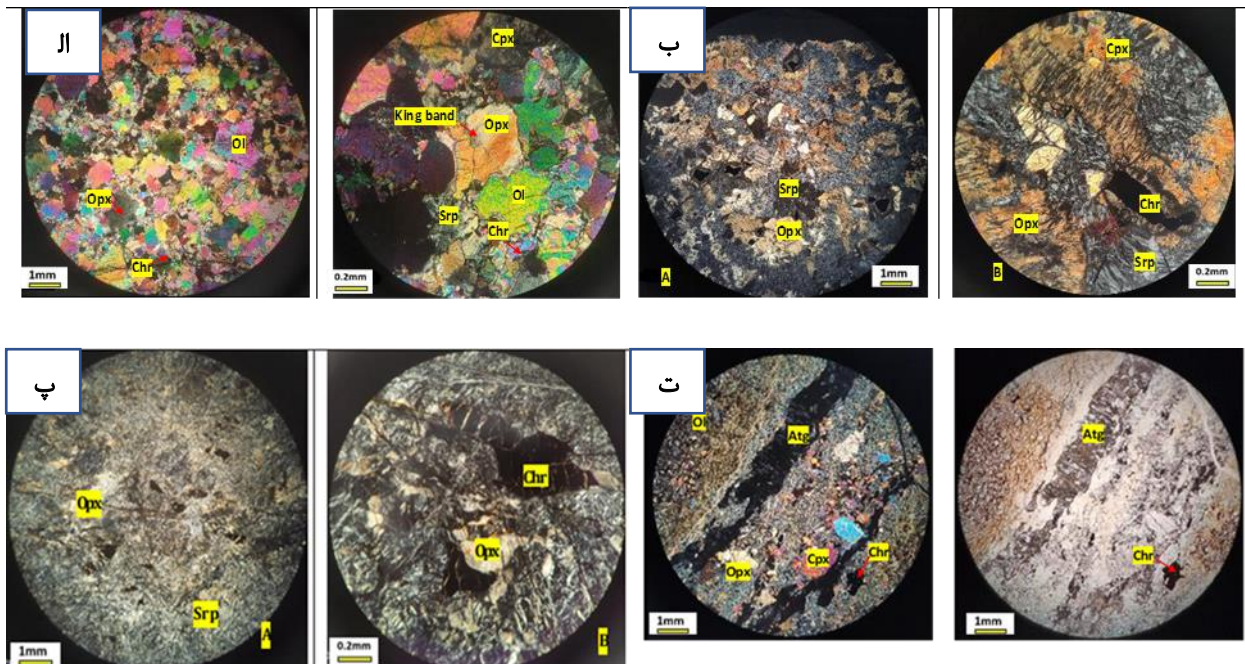
### نتایج سنگ‌نگاری

#### پریدوتیت-سرپانتینیت‌ها

در منطقه مورد بررسی، سنگ میزبان کانه‌زایی شامل پریدوتیت‌هایی از نوع دونیت، هارزبورژیت و به‌ندرت لرزولیت است که به‌شدت سرپانتینیتی شده‌اند و نمایانگر بخش‌هایی از گوشته بالایی تهی‌شده هستند. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل اولیوین، ارتوپیروکسن و اسپینل کروم‌دار که اولیوین و ارتوپیروکسن بیشترین سهم را دارند. بر اساس تجزیه مدال نمونه‌های میکروسکوپی به روش اشتراک‌یازن و لایس [۳۳]، ۳۴ پریدوتیت‌های منطقه رودان بیشتر از نوع هارزبورژیت و دونیت هستند و بیشترین فراوانی را دارند.

هارزبورژیت: در منطقه فاریاب (رودان)، پریدوتیت‌ها بیشتر سالم با بافت دانه‌ای هستند. کانی‌های اصلی شامل اولیوین، کلینوپیروکسن، و کانی‌های فرعی ارتوپیروکسن و کروم‌اسپینل هستند. بلورها بیشتر درشت‌دانه هستند و آثار تغییرشکل مانند نوارشکنجی و چین‌خوردگی در آن‌ها دیده می‌شود (شکل ۳

الف). در منطقه بیکاه، این پریدوتیت‌ها رخنمون کمتری داشته و براساس بررسی سنگ‌نگاری، ترکیب دونیت-هارزبورژیت و گاهی لرزولیتی (شکل ۳ ب) و بعضی نمونه‌ها بافت انباشتی دارند. اولیوین به‌طور گسترده سرپانتینیتی شده و ارتوپیروکسن درشت‌بلور است. سایر کانی‌های فرعی شامل اسپینل، کلینوپیروکسن، اکسیدهای آهن و کربنات‌های منیزیم هستند. دونیت: در منطقه فاریاب، این سنگ‌ها دارای بافت مشبک و الیوین‌های موزائیکی هستند و اکسیدهای آهن بی‌شکل درلبه-های الیوین سرپانتینیتی‌شده و در راستای شکستگی‌ها دیده می‌شوند. این شکستگی‌ها اغلب با سرپانتین (به احتمال بسیار کریزوتیل) و اکسید آهن پر شده‌اند (شکل ۳ پ). در منطقه جعفرآباد، سرپانتینیت‌ها حدود ۸۰٪ الیوین سرپانتینیتی‌شده دارند و بخشی از الیوین‌ها همچنان سالم باقی مانده‌اند. ارتوپیروکسن به‌صورت بلورهای درشت و کلینوپیروکسن به‌شکل پرکننده بین بلورها دیده می‌شود (شکل ۳ ت).



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های هارزبورژیتی با نور عبوری: الف) A- بافت دانه‌ای و سالم دور از انتظار سنگ در یال شرقی محدوده B- نوارشکنجی در ارتوپیروکسن‌ها ناشی از فشار کمپرسونی پایینی به سمت سطح زمین (در نور قطبیده متقاطع، XPL)، ب) A- بافت دانه‌ای در لرزولیت. B- کانی کروم اسپینل در بین بلورهای اولیوین و ارتوپیروکسن درشت بلور سرپانتینیتی شده به‌همراه کلینوپیروکسن (XPL)؛ پ) مقطع دونیتی A. بافت مش مانند دونیت اولیه هنوز دیده می‌شود. B کمی از ارتوپیروکسن‌های سنگ که بطور عمده دگرسان شده‌اند ولی هنوز می‌توان آنها را از اولیوین‌های سرپانتینیتی شده تفکیک کرد. کروم اسپینل بیشکل و بودین شده است (XPL)؛ ت) A - بافت میلونیتی در دونیت و B) شکل گیری آنتیگوریت در رگه‌های دونیت (در نور قطبیده صفحه‌ای، PPI).

**کرومیتیت‌ها**

با وجود کاوش‌های گسترده در منطقه فاریاب، کرومیت در کمینه‌های اقتصادی یافت نشده است. در منطقه بیکاه، در سه بخش جنوبی، شرقی و شمالی، گستره‌های قابل توجهی از سرپانتینیت‌ها دیده می‌شود که مستعدترین مکان‌ها برای رخداد کرومیت تشخیص داده شدند. در این بخش کرومیت‌زایی در هر دو نوع سرپانتینیت دیده می‌شود.

سرپانتینیت‌های کبود-سبز رنگ در بخش میانی منطقه با روند شمال غربی-جنوب شرقی و در معرض گسل‌ها گسترش یافته‌اند. کرومیت‌ها در این سنگ‌ها دارای اندازه‌های متغیر، بافت دانه‌ای تا توده‌ای (شکل ۴ الف)، و آثار خوردشدگی و بافت تنش آواری هستند. همچنین بلورهای بی‌شکل مگنتیت با برجستگی‌ها و تفاوت‌های رنگی بر سطح کرومیت‌ها دیده می‌شوند (شکل ۴ الف). برخی کرومیت‌ها به شدت خرد شده‌اند و شکستگی‌هایی در راستای ساختار بلوری دارند که نشانگر دگرشکلی است (شکل ۴ ب).

سرپانتینیت‌های نخودی‌رنگ در بخش جنوبی منطقه به‌عنوان سنگ میزبان کرومیت‌های درشت‌بلور با بافت توده‌ای و دانه‌ای افشان شناخته می‌شوند. بلورهای ریزتر در لبه بلورهای درشت به دلیل بازسازی (بازتبلور) شکل گرفته‌اند. شکستگی‌ها هم به صورت نامنظم و هم در راستای سطوح بلوری دیده می‌شوند (شکل ۴ پ). وجود بلورهای خودشکل کانی‌های باطله (به احتمال بسیار اولیوین) درون کرومیت‌ها نشان می‌دهد که بخشی از کرومیت پس از تبلور اولیوین از مذاب شکل گرفته است (شکل‌های ۴ پ و ت).

در منطقه جعفرآباد در دو بخش سرپانتینیت‌ها گسترش قابل توجهی دارند. (۱) بخش جنوبی منطقه بیشتر از هارزبورژیت‌های سرپانتینی‌شده تشکیل شده است که در برخی نمونه‌ها، کانی‌زایی پرعیار کرومیت دیده می‌شود. بلورهای درشت کرومیت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و به شدت خرد شده، با شکستگی‌های بیشتر نامنظم هستند، اما گاهی راستای آن‌ها با ساختار درونی بلورها همخوانی دارد. برخی کرومیت‌ها دارای عیار پایین (شکل ۴ ت). و بافت‌های دانه‌ای و دنداندار هستند، ولی بافت‌های برشی و تنش آواری در آن‌ها بسیار محدود است (شکل ۴ ت). (۲) در بخش مرکزی جعفرآباد، توده‌ای از سنگ‌های دونیتی-ورلیتی سرپانتینی‌شده وجود دارد که

کرومیت‌های آن با عیار به نسبت خوب و گاهی همراه با اکسیدهای آهن دیده می‌شوند (شکل ۴ ث) کانی‌زایی کرومیت با عیار متوسط و بافت‌های اسکلتی، دانه‌ای و توده‌ای بوده و اندازه بلورها بین ۵۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر متغیر است (شکل ۴ ث). همچنین، تیغه‌های مگنتیت میان بلورهای خودشکل کرومیت دیده می‌شوند. بلورهای درشت به شدت خرد شده و بلورهای سالم کمیاب هستند (شکل ۴ ج-ث).

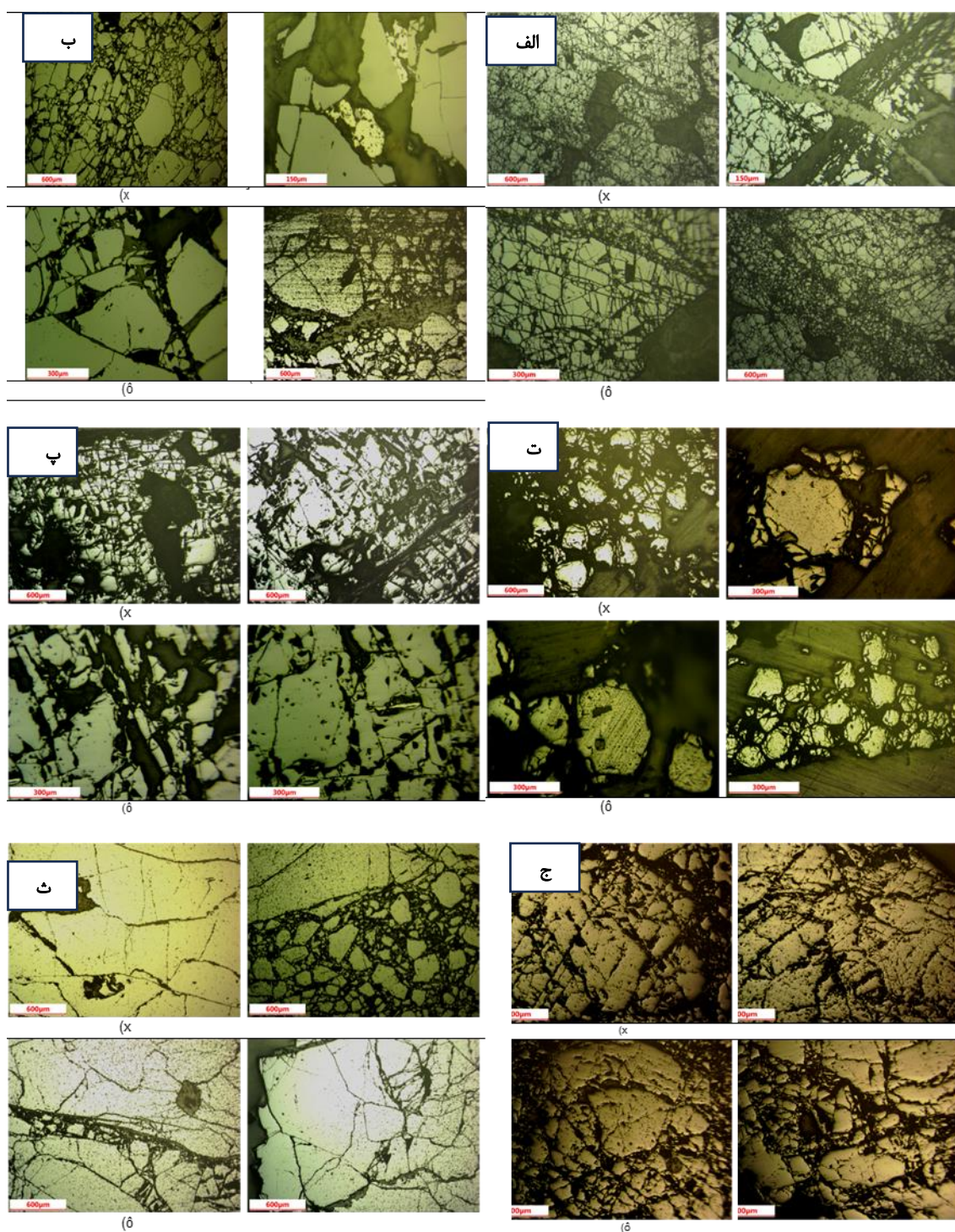
**ویژگی‌های زمین شیمیایی**

برای بررسی عیار و رفتار عناصر مختلف در پهنه‌های سه گانه رودان اقدام بررسی‌های میکروسکوپی و عیار سنجی بر روی نمونه‌های مختلف انجام شد. پتانسیل کانی‌زایی عناصر مختلف در سه گستره انتخابی با تجزیه شیمیایی به روش‌های XRF، ICP-OES و FA بررسی گردید که نتایج به دست آمده در ادامه بیان می‌شود.

**کرومیت‌زایی**

در پهنه فاریاب (FB)، مقدار  $Cr_2O_3$  بسیار پایین و زیر حد تشخیص بوده که نشان‌دهنده نبود کانی‌زایی قابل توجه کرومیت است. در مقابل، در پهنه بیکاه (BK)، از ۴۶ نمونه بررسی شده (جدول ۱)، ۱۱ نمونه از شرق و جنوب منطقه دارای کانی‌زایی کرومیت با مقدار  $Cr_2O_3$  بین ۲۶ تا ۵۲ درصد هستند که در صورت وجود رخنمون مناسب، پتانسیل اکتشافی و استخراجی دارد.

بررسی رخنمون‌های کرومیت‌دار نشان می‌دهد که این کانی‌زایی‌ها به‌طور متوسط دارای ۸ درصد  $Al_2O_3$  هستند و برخی نمونه‌ها (مانند BK-XRF-45) تا ۲۵٫۵ درصد  $Fe_2O_3$  دارند که بیشتر به صورت مگنتیت است. به دلیل محدود بودن نمونه‌ها، تحلیل آماری دقیق ارتباط کرومیت با سایر عناصر ممکن نیست و نیاز به داده‌های بیشتر است. در منطقه جعفرآباد، ۱۱ نمونه به روش XRF بررسی شد (جدول ۱)، که ۹ نمونه از رخنمون‌های کرومیتی بودند و دارای  $Cr_2O_3$  بین ۲۱٫۳۷ تا ۵۵٫۰۸ درصد،  $Fe_2O_3$  بین ۷٫۱۳ تا ۱۵٫۸۸ درصد (به‌جز نمونه JA-28 با ۲۹٫۶۰ درصد)، و  $Al_2O_3$  بین ۵٫۴۴ تا ۱۶٫۸۷ درصد بودند. سایر عناصر غنی‌شدگی قابل توجهی نشان ندادند.



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی کرومیت با نور بازتابی: الف) کرومیت‌های دارای بافت توده‌ای و دانه‌ای؛ ب. بافت تنش‌آواری در کرومیت‌ها، پ) یک بلور خود شکل الیوین در بلور کرومیت، ت) کرومیت کم عیار، ث) کرومیت‌های با بافت اسکلتی، دانه‌ای و توده‌ای و عیار متوسط و ج) کرومیت با عیار بالا همراه با آهن.

## کانی‌زایی مس

نتایج آزمایش‌های زمین شیمی، نشان می‌دهد که مقدار مس در نمونه‌ها بین ۲۷۲ گرم در تن تا ۱/۹ درصد متغیر است؛ بیشترین مقدار (۱/۹ درصد وزنی) در نمونه BK-37 از یک واحد بازالتی در شمال پهنه بیکاه ثبت شده است (جدول ۱). این رخداد در ارتباط با بازالت‌های بالایی افیولیت است و احتمال وجود سامانه کانی‌زایی سولفید توده‌ای در بازالت‌های بالشی را تقویت می‌کند. مقدار بالای آهن (بیش از ۱۰٪) و سولفید (بیش از ۳٪) در این نمونه نیز نقش فرایندهای سولفیدی‌شدن در تمرکز مس را تأیید می‌نماید.

## کانی‌زایی طلا-پلاتین و پالادیوم

در منطقه فاریاب، بیکاه و جعفرآباد، نمونه‌های دارای مگنتیت برای سنجش طلا، پلاتین و پالادیوم با روش‌های ذوب قلیایی و ملغمه سربی بررسی شدند (جدول ۲). نتایج نشان داد که مقادیر پلاتین و پالادیوم زیر حد تشخیص و بیشترین مقدار طلا بسیار ناچیز تا ۷ ppb بوده است. به‌طور کلی، عناصر فلزی مورد بررسی ارزش اقتصادی قابل توجه ندارند (جدول ۳).

## کانی‌زایی آهن

بر اساس نتایج XRF (جدول ۱)، مقدار اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) در ۷ نمونه آزمایش‌شده در گستره ۴۹/۱ درصد وزنی (نمونه FB-XRF-04) تا ۹۴/۵۹ درصد نمونه (FB-XRF-08) متغیر

است. اکسید منگنز ( $MnO$ ) در این نمونه‌ها، به‌جز یک مورد (نمونه FB-XRF-34 با ۱۲/۱۲ درصد)، مقدار بسیار کمی اغلب کمتر از ۰/۱۳ درصد دارد. در نمونه‌های با عیار بالای آهن، این مقدار به حدود ۰/۰۶ تا ۰/۰۷ درصد کاهش می‌یابد. مقدار اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) در بیشتر نمونه‌ها کمتر از حد تشخیص دستگاه بوده و تنها در برخی نمونه‌ها تا ۰/۰۹ درصد گزارش شده است. اکسید فسفر ( $P_2O_5$ ) نیز، به‌جز یک نمونه (FB-XRF-34 با ۰/۱ درصد)، مقدار بسیار ناچیزی دارد. افزون بر این، نمونه‌های با عیار بالای آهن، دارای مقادیر ناچیز سیلیس، آلومینیوم و گوگرد هستند. آزمایش‌های عیاری نشان می‌دهد که مقدار کروم ( $Cr_2O_3$ ) در این نمونه‌ها اغلب ناچیز بوده و بطور عمده زیر حد تشخیص دستگاه است. در منطقه بیکاه (جدول ۱)، اکسیدهای آهن ( $Fe_2O_3$ ) و کروم ( $Cr_2O_3$ ) اهمیت بیشتری دارند. برای مثال، در نمونه BK-XRF-31 که از یک رخنمون کانی‌زایی آهن در جنوب منطقه برداشت شده است، حدود ۷۶ درصد اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) با ماهیت مگنتیتی (بر اساس بررسی‌های کانه‌نگاری میکروسکوپی) دیده می‌شود. این نمونه دارای مقادیر ناچیزی از گوگرد، فسفر، تیتانیوم، منگنز و سیلیس است و به نظر می‌رسد که ارزش انجام یک مرحله پی‌جویی دقیق‌تر یا بررسی‌های زمین فیزیکی (چون مغناطیس‌سنجی زمینی) را در این پهنه دارد.

جدول ۲ عیار عناصر طلا، پلاتین، پالادیوم با استفاده از روش آماده‌سازی با ملغمه سربی در نمونه‌های پهنه فاریاب

ROW	X	Y	Element	Au	Pd	Pt
			Unit	ppb	ppb	ppb
			DL	۵۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰
۱	۵۰۳۲۷۲	۳۰۴۱۴۴۶	Z11T1-۰۷	۵۰۰	<	<
۲	۵۰۳۲۴۳	۳۰۴۱۵۰۳	Z11T1-۰۸	۷۰۰	<	<
۳	۵۰۳۰۵۲	۳۰۴۲۴۲۲	Z11T1-۱۰	۵۰۰	<	<

جدول ۳ عیار طلا در نمونه‌های مختلف برداشت شده از پهنه بیکاه

ROW	X	Y	Element	Au
			Unit	ppb
			DL	۵
۱	۵۱۶۴۴۵	۳۰۲۲۳۲۱	Z11T2-۱۸	۳۱
۲	۵۱۶۴۴۵	۳۰۲۲۳۲۱	Z11T2-۱۶	۴۶
۳	۵۱۶۴۴۵	۳۰۲۲۳۲۱	Z11T2-۱۷	۵

## بحث و بررسی

در همه نهشته‌های افیولیتی، توده‌های معدنی کرومیت در بخش کوچکی از مجموعه‌های افیولیتی قرار دارند و بقیه بخش‌ها بدون کانسازسازی هستند [۳۵]. در افیولیت‌های غرب رودان، ذخایر کرومیتی بصورت عدسی‌های کوچک و نامنظم، رگه‌ای و لایه‌ای ناپیوسته نهشته شده‌اند. این کرومیت‌ها با رنگ تیره و ضخامت چند متر در سنگ مادر دونیتی دیده می‌شوند. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده تشابه آنها به کرومیت‌های نوع آلیپی (انبانی) است، زیرا کرومیت‌های نوع آلیپی نامنظم و عدسی شکل هستند و درون پریدوتیت‌های گوشته‌ای مجموعه افیولیتی دیده می‌شوند [۳۶]. پی‌جویی کانسارهای کرومیت آلیپی به دلیل اندازه کوچک، تغییرپذیری زیاد، جابه‌جایی‌های زمین‌ساختی شدید، نبود هاله‌های دگرسانی و زمین‌شیمیایی اولیه با پیچیدگی‌های بسیاری همراه است. این عوامل باعث کاهش کارایی روش‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌فیزیکی در شناسایی موفق توده‌های معدنی، به‌ویژه کانسارهای پنهان انبانی شده‌اند. این نهشته‌های معدنی نسبت به ذخایر نوع لایه‌ای گسترش کم و اندازه کوچک دارند [۳۷] از این رو بیشتر نهشته‌های کرومیتی ایران، براساس پی‌جویی رخنمون‌های سطحی (نه به روش‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌فیزیکی) شناسایی شده‌اند [۳۸].

وجود سنگ میزبان دونیتی در بین هارزبورژیت‌های سرپانتینی‌شده، شاخص مهمی برای پی‌جویی توده‌های کرومیتی است. به دلیل ارتباط زایشی قوی کرومیت با دونیت، این سنگ می‌تواند به‌عنوان معیار سنگ شناسی مؤثر در شناسایی مناطق مستعد کانی‌زایی کرومیت به‌کار رود. از این رو، مکان‌یابی حفاری‌های اکتشافی باید در مناطقی با رخنمون‌های دونیتی میان هارزبورژیت‌های افیولیتی انجام شود، زیرا این موقعیت‌ها بیشترین امکان میزبانی توده‌های کرومیتی را دارند. در غرب رودان، پی‌جویی کرومیت و سایر فلزها بر پایه رخنمون‌های سطحی، بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های زمین‌شیمیایی انجام شده است. واحدهای سنگی فرامافیک گسترش زیادی در ناحیه مورد بررسی دارند و اصلی‌ترین رخنمون واحد سنگی به شمار می‌روند. سنگ‌های فرامافیک این ناحیه شامل هارزبورژیت‌های سرپانتینی‌شده، سرپانتینیت و دونیت هستند که در منطقه جعفرآباد و بیکاه میزان سرپانتینی‌شدن بیشتر بوده و تا حدی مستعد کانی‌زایی کرومیت و سایر کانی‌هاست. وجود دونیت در میان هارزبورژیت، به‌ویژه با پراکندگی کرومیت در آن، از معیارهای مهم زمین‌شناسی برای پی‌جویی مناطق دارای کانی‌سازی کرومیت است [۳۷]. همچنین شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی و

برداشت‌های دقیق زمین‌شناسی می‌تواند در پی‌جویی توده‌های کرومیتی مفید باشد [۳۷]. در منطقه مورد بررسی، روند اصلی واحدهای سنگی، گسل‌ها و چین‌ها SSE-NNW بوده و با گسل‌های معکوس و تنش‌های منطقه‌ای در ارتباط است، اما نمی‌توان آن را بدون بررسی دقیق‌تر به‌عنوان راستای اصلی تنش، قطعی دانست. کانی‌زایی در منطقه بیکاه بیشتر به ترکیب پریدوتیت‌ها و شدت سرپانتینی‌شدن وابسته است. همچنین، دو نوع کانی‌زایی ساختاری شناسایی شده‌اند: (۱) آهن به‌صورت هماتیت کم‌عیار همراه با بازالت‌های لاتریتی و ژاسپیرها در راستای ساختارهای شمالی-جنوبی و (۲) منگنز در ارتباط با چرت‌های رادیولاریتی و نیز گسل‌های شمالی-جنوبی.

تحلیل ترکیب شیمیایی کرومیت‌ها و سنگ میزبان کرومیت مربوط به افیولیت‌ها نقش مهمی در پی‌جویی کرومیت دارد [۳۹]. با توجه به نتایج XRF (جدول ۱)، کرومیت‌های این مجموعه مقدار  $TiO_2$  کمی دارند و از این رو، از مذاب با تیتانیوم پایین و وابسته به فرورانش بدست آمده‌اند [۴۰]. پایین بودن مقادیر آلومینیوم و تیتانیوم در کرومیت‌های این نهشته‌ها خاستگاه ماگمایی برگرفته از گوشته بالایی است [۳۶]. مقدار بالای  $Cr_2O_3$  (میانگین ۰.۴۹٪) و  $MgO$  (میانگین ۲۰٪) در کرومیت‌های این منطقه نشان‌دهنده تبلور از ماگمایی با درجه ذوب بخشی بالاست [۴۱]. مقدار بسیار کم  $TiO_2$  نیز بیانگر خاستگاه آلیپی آن‌هاست. کرومیت‌های آلیپی با Ti پایین (کمتر از ۰.۴٪)، نسبت  $Cr/Fe$  بالا و نوسان‌های زیاد  $Cr/(Cr+Al)$  از نوع لایه‌ای متمایز می‌شوند. از ویژگی‌های شاخص کرومیت‌های انبانی آلیپی، مقدار بالای Cr و Al آنهاست [۴۲].

از آنجا که نهشته‌های کرومیتی انبانی اغلب در افیولیت‌های نوع ابرفرورانش (SSZ) تشکیل می‌شوند و ارتباط آن‌ها با فرایندهای دگرنهادی ناشی از آب‌های آزادشده از صفحه‌ی فرورونده مطرح است [۳۹]، بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی رخنمون‌های کرومیتی در افیولیت‌های منطقه رودان می‌تواند به درک بهتری از شرایط تشکیل این نهشته‌ها کمک کند. باین‌حال، در این پژوهش، به دلیل محدود بودن داده‌های زمین‌شیمیایی دقیق (برای مثال، از طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی، ICP-MS، و ریزپردازش الکترونی)، تمرکز اصلی بر بررسی ترکیب اکسیدهای اصلی نمونه‌های کرومیتی بر پایه XRF و همچنین شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی است.

داده‌های موجود نشان‌دهنده روند کلی کانی‌زایی کرومیت در افیولیت‌ها هستند، اما تعیین دقیق خاستگاه ماگمایی و شرایط شکل‌گیری نیازمند داده‌های عناصر کمیاب و ایزوتوپی است. با توجه به ویژگی‌های صحرایی و ترکیب شیمیایی،

فرآوری کرومیت و صرفه‌جویی در منابع آبی مورد نیاز برای تولید ماده پرعیار شود.

در کنار کرومیت، آهن و مس، آثار کم‌مقدار طلا و عناصر گروه پلاتین نیز در برخی بخش‌ها ثبت شده که نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر در مراحل بعدی است. سرپانتیت‌ها مهمترین میزبان عناصر گروه پلاتین هستند که در ایران تاکنون ذخیره‌ای از این عناصر گزارش نشده است. بررسی‌های انجام شده پیرامون افیولیت‌های حاجی آباد-اسفندقه مقادیر ضعیفی از عناصر گروه PGE را نشان داده است که آستانه اقتصادی را طی نمی‌کند [۴۴]. نتایج بررسی‌های این پژوهش (جدول ۲) نیز گویای نبود عناصر PGE در حد اقتصادی است. باوجود شواهد صحرایی بیانگر احتمال کانی‌زایی جزئی طلا در پهنه‌های دگرسانی پروپیلیتی-سیلیسی و گوتیت-لیمونیتی در واحدهای بازالتی و رسوب‌های فلیشی منطقه رودان، نتایج زمین‌شیمیایی، هیچ نشانه‌ای از کانی‌زایی طلا نشان ندادند.

#### برداشت

بطور کلی افیولیت‌های غرب رودان پتانسیل و نشانه‌های کانی‌زایی‌های کرومیت در بخش سرپانتیتی، آهن در رسوب-های فلیشی و مس در بازالت‌ها را نشان می‌دهند.

- با توجه به نتایج XRF از رخنمون‌های کرومیتی، مقدار اکسید کروم ( $Cr_2O_3$ ) بین ۲۱/۳۷ تا ۵۵/۰۸ درصد است. در افیولیت‌های رودان از شمال (فارباب) به جنوب (جعفرآباد)، کاهش ارتفاع و ناهمواری خشن دیده می‌شود که نشانگر افزایش شدت سرپانتینی شدن است. در این روند، نهشته‌های کرومیت افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش سرپانتینی شدن و در نتیجه کاهش ناهمواری‌ها احتمال پی‌جویی کرومیت بیشتر است.

- براساس بافت‌های اولیه، این نهشته‌ها بصورت همزاد تشکیل شده‌اند و بافت‌های ثانویه نیز گویای زمین‌ساختی به شدت فعال منطقه هستند که بیانگر قطع و جابه‌جا شدن نهشته‌ها توسط دسته‌های متعدد گسلی طی جایگیری مجموعه افیولیتی و پس از آن است.

- بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی، کرومیت‌های مورد نظر از نوع آلپی هستند که بر این اساس می‌توان در مقایسه با منابع دیگر کرومیت‌های آلپی با وجود ذخیره کم، پتانسیل بالای عیاری و غنی‌شدگی خوبی را انتظار داشت.

- مقدار نهشته‌های آهن از ۱/۴۹ تا ۹۴/۵۹ درصد وزنی و مس از ۲۷۲ گرم در تن تا ۱/۹ درصد وزنی متغیر است که با وجود عیار قابل توجه به دلیل حجم کم قابلیت اقتصادی را ندارند.

احتمال تشکیل این کرومیت‌ها در محیط SSZ وجود دارد و شواهدی چون شکل عدسی، ارتباط با سنگ‌های فرامافیک گوشته‌ای و ترکیب آن‌ها، با ویژگی‌های کرومیتیت‌های انبانی در افیولیت‌های SSZ همخوانی دارد. براساس این شواهد، می‌توان فرض کرد که فرایند تشکیل این کرومیتیت‌ها ناشی از سیال فرورانده‌شده و دگرنهادی در ارتباط با تشکیل افیولیت‌های نوع SSZ بوده است. این امر با مدل پیشنهادی پیرس و همکاران [۴۳] نیز همخوانی دارد، زیرا آب‌های ناشی از فرورانش می‌تواند باعث افزایش حجم الیوین و کرومیت در افیولیت‌های SSZ شوند و در پایان به تشکیل کرومیتیت‌های انبانی منجر گردند.

در نهشته‌های کرومیت غرب رودان، بافت‌های اولیه دانه‌ای، توده‌ای و اسکلتی و همچنین بافت ثانویه تنش آواری و میلونیتی نیز دیده شده‌اند. گاهی خوردگی‌های خلیجی شکل از بلورهای کرومیت دیده می‌شوند که می‌تواند به دلیل واکنش بلور اولیه تشکیل شده با مذاب باقیمانده در محل تبلور رخ داده باشد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که براساس بافت‌های اولیه، این نهشته‌ها بصورت همزاد تشکیل شده‌اند و بافت‌های ثانویه نیز گویای زمین‌ساختی به شدت فعال منطقه هستند که نشان دهنده قطع و جابه‌جا شدن نهشته‌ها توسط دسته‌های متعدد گسلی طی جایگیری مجموعه افیولیتی و پس از آن است. گذشته از تمرکز کرومیت، حضور سایر عناصر فلزی چون آهن و مس نیز در افیولیت‌های منطقه قابل توجه است. افیولیت‌های غرب رودان پتانسیل کانی‌زایی آهن ماگمایی، مس و کرومیت را در خود دارند. به‌طور کلی، منطقه بیکاه از دو جنبه‌ی فلززایی کرومیت و کانه‌زایی آهن ماگمایی، مس و روی از نوع سولفید توده‌ای می‌تواند مهم باشد. از این رو، ادامه‌ی بررسی‌های صحرایی در مقیاس بزرگ‌تر، حفر ترانشه‌های اکتشافی و بررسی‌های زمین‌فیزیکی در این پهنه توصیه می‌شود. در یک جمع‌بندی کلی، منطقه بیکاه (BK) به‌عنوان مستعدترین پهنه از نظر فلززایی کرومیت و کانه‌زایی سولفید توده‌ای شناخته می‌شود. از این رو، بازدیدهای صحرایی گسترده‌تر، حفر ترانشه و بررسی‌های زمین‌فیزیکی در این منطقه توصیه می‌شود. کانه‌زایی آهن در این پهنه‌ها بیشتر از نوع مگنتیتی است و در برخی نمونه‌ها با کانی‌زایی کرومیت همراهی دارد. این هم‌نشینی می‌تواند در مراحل فرآوری، به‌ویژه در رخنمون‌های دارای هر دو نوع کانی‌زایی، مورد توجه قرار گیرد. در چنین مواردی، فرایند جدایش مغناطیسی می‌تواند افزون بر تغلیظ سنگ‌آهن مگنتیتی، به تغلیظ نسبی کرومیت نیز کمک کند. این امر می‌تواند موجب کاهش هزینه‌های

### قدردانی

از همکاری و پشتیبانی آزمایشگاه دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، در فراهم کردن امکان بررسی‌های میکروسکوپی نمونه‌ها و همچنین از شرکت زر آزما تهران به دلیل انجام بررسی‌های دستگاهی، قدردانی می‌کنیم.

### مراجع

- [14] Lewis J. F., Draper G., Proenza J. A., Espaillet J., Jimenez J., "Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean Region", A review of their occurrence, composition, origin, emplacement and Ni-laterite soil formation. *Geologica Acta*, 4, (2006), 237–263.  
<https://revistes.ub.edu/index.php/GEOACTA/article/view/105.000000368>.
- [15] Abedini A., Calagari A.A., "The mineralogy and geochemistry of Permian lateritic ores in east of Shahindezh, West-Azarbaidjan province", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 20 (2012) 59-72.
- [16] Abedini A., Khosravi M., "Geochemical characteristics of aluminum-bearing iron ores: a case study from the Kolijan karst-type bauxite deposit, northwestern Iran", *Minerals* 14 (2024), 151p.
- [17] Alipour S., Abedini A., Abdali S., "Mineralization and Geochemistry of Rare Earth Elements of Heydar-Abad Laterite Horizon, South of Urmia, West Azarbaijan Province, Iran", *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 23 (2014) 195-204.
- [18] Abedini A., Calagari, A.A., "Rare earth elements geochemistry of Sheikh-Marut laterite deposit, NW Mahabad, west-Azarbaidjan Province, Iran", *Acta Geologica Sinica-English Edition* 87 (2013), 176-185.
- [19] Rajabzadeh M.A., Moosavinasab Z., "Mineralogy and distribution of Platinum-Group--Minerals (PGM) and other solid inclusions in the Faryab ophiolitic chromitites", *Southern Iran. Mineralogy and Petrology*, 107,6, (2013): 943-962.
- [20] Naldrett A.J., Kinnaird J., Wilson A., Yudovskaya M., McQuade S., Chunnett G., Stanley C., "Chromite composition and PGE content of Bushveld chromitites", Part 1—the Lower and Middle Groups. *Appl. Earth Sci.*, 118, (2009) 131–161.
- [21] Irvine T.N., "Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions", A new interpretation. *Geology* (1977) 5, 273.
- [22] Barnes S.J., Roeder P., "The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic Rocks", *J. Petrol.* 42, (2001) 2279–230.
- [23] Johan Z., Martin R.F., Ettler V., "Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits", *Eur. J. Mineral.* (2017).
- [24] Salehi S., "Petrography and geochemistry of ultrabasic rocks of Grom Rudan mountain, Master's thesis, Hormozgan university (In Persian)", (2015) 160p.
- [25] Sabzehi M., "Kolān e Masā'el Ophiolit ha ye Iran", [Comprehensive issues of ophiolites of Iran]. Tehran: Iranian Geological Survey (1994).
- [1] Furnes H., Dilek Y., "Geochemical characterization and petrogenesis of intermediate to silicic rocks in ophiolites", A global synthesis. *Earth-Science Reviews*, 166, (2017) 1–37.
- [2] Pearce J., "Immobile element fingerprinting of ophiolites", *Elements*, 10, 2, (2014) 101–108.
- [3] Yilmaz A., Yilmaz H., "Ophiolites and ophiolitic mélange of Turkey", A review. *Geological Bulletin of Turkey*, 56, (2013) 61–114.
- [4] Nicolas A., "Structure of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston (1989).
- [5] Yilmaz A., Yilmaz H., "Ophiolites and ophiolitic melanges of Turkey", A review. *Geological Bulletin of Turkey*, 56, (2013) 61–114.
- [6] Pearce J. A., Robinson P. T., "Ophiolites: Oceanic crustal analogues. In H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.)", *Treatise on Geochemistry* (2nd ed., Vol. 4, pp. 43–88). Elsevier, (2010) <https://doi.org/10.1016/B978-008095975-7.00302>.
- [7] Rajabzadeh M. A., "Chromium and platinum group element mineralization in the Assemion and Neyriz ophiolites", Zagros belt, Iran (Ph.D. thesis). Institut National Polytechnique de Lorraine, (1998) 358pp.
- [8] United States Geological Survey, "Podiform chromite deposits, database and grade and tonnage models", United States Geological Survey, Virginia, Scientific Investigations Report, 2012–5157 (2012) 45 pp.
- [9] Zaccarini F., Garuti G., Pushkarev E., Thalhammer O., "Origin of platinum group minerals (PGM) inclusions in chromite deposits of the Urals", *Minerals* (2018) 8, 379.
- [10] Boudier F., Nicolas A., "Harzburgite and lherzolite subtypes in ophiolitic and oceanic environments", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 76: (1985) 84-92.
- [11] Proenza J.A., "Uvarovite in podiform chromitite: the Moa-Baracoa ophiolitic massif Cuba", *Can. Mineral.* 37, (1999) 679–690.
- [12] Barnes S. J., Lightfoot P. C., "Chromite: From mantle to ore deposits. *Reviews in Economic Geology*", 12, (2005) 1–24.
- [13] Butt C. R. M., Cluzel D., "Nickel laterite ore deposits", Weathered serpentinites. *Elements*, 9(2), (2013), 123–128.  
<https://doi.org/10.2113/gselements.9.2.123>.

- [34] Le Bas M.J., "IUGS Reclassification of the High-Mg and Picritic Volcanic Rocks", *Journal of Petrology*, 41(10), (2000) 1467–1470.
- [35] Guilbert J.M., Park C.F. Jr., "The geology of ore deposits", Freeman publication, USA, (1985) 985 pp.
- [36] Duke J. M., "Magmatic segregation deposits, in Roberts, R. G. and Sheahan, P. A. (eds.), ore deposit models", Geoscience Canada, Reprint Series 3(1988) 133-143.
- [37] Masoudi J., Imamalipour A., "Application of geological methods for prospecting podiform chromite deposits in the Khoy ophiolite zone, northwestern Iran(In Persian)", *Economic Geology*, 11(2) (2019) 285–303. <https://doi.org/10.22067/econg.v11i2.70623>.
- [38] Shayestefar M. R., Mohammadi M., Rezaei A., "Application of geological methods in the exploration of podiform chromite deposits in the Khoy ophiolite zone, NW Iran (In Persian)", *Journal of Economic Geology*, 1(3) (2008) 29–40.
- [39] Jahanshahi M., Dorvishzadeh L., "Metamorphic evolution of parental magma and genesis of chromites at Cheshmeh Bid Neyriz ophiolite (In Persian)", Fars Province, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, (2023) 31(1).
- [40] Veisnia A., Ebrahimi M., Mokhtari M., Ahmadian J., Azimzadeh A., "Application of Cr spinel mineral chemistry in petrogenetic evolution and tectonic setting of NE Kamyaran ophiolitic complex", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 26 (3) (2018) 581-596.
- [41] Zhou M. F., Robinson P. T., Bai W., "Formation of Podiform Chromitites by melt/rock interaction in the upper Mantle", V29 (1994) pp.98-101.
- [42] Irvine T.N., "Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: A new interpretation", *Geology*(1977), 5, 273.
- [43] Pearce J.A., Lippard S.J., Roberts S., "Characteristics and tectonic significance of Suprasubduction Zone Ophiolites", *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, (1984) 16,77-94. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1984.016.01.06>.
- [44] Jannesari G., Shafaii Moghadam H., Peighambari S., "Geochemistry and petrogenesis of the Late Cretaceous Haji-Abad ophiolite (Outer Zagros Ophiolite Belt, Iran): implications for geodynamics of the Bitlis–Zagros suture zone". *Geological Journal*, 48(6), (2013) 579–602. <https://doi.org/10.1002/gj.2458>.
- [26] Saccani E., Delavari M., Dolati A., Marroni M., Pandolfi L., Chiari M., Barbero E., "New insights into the geodynamics of Neo-Tethys in the Makran area: Evidence from age and petrology of ophiolites from the Coloured Mélange Complex (SE Iran)", *Gondwana Res.* 62, (2018) 306–327. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.07.013>.
- [27] Delavari M., Dolati A., Marroni M., Pandolfi L., Saccani E., "Association of MORB and SSZ ophiolites along the shear zone between Coloured Mélange and Bajgan Complexes (North Maran, Iran): Evidence from the Sorkhband area", *Ofioliti* 41, (2016) 21–34.
- [28] Barbero E., Pandolfi L., Delavari M., Dolati A., Saccani E., Catanzariti R., Lucani V., Chiari M., Marroni M., "The western Durkan Complex (Makran Accretionary Prism, SE Iran): A Late Cretaceous tectonically disrupted seamounts chain and its role in controlling deformation style", *Geosci. Front.* 12, (2021) 101106. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.12.001>.
- [29] Saccani E., Delavari M., Dolati A., Pandolfi L., Barbero E., Tassinari R., Marroni M., "Geochemistry of basaltic blueschists from the Deyader Metamorphic Complex (Makran Accretionary Prism, SE Iran): New constraints for magma generation in the Makran sector of the Neo-Tethys", *J. Asian Earth Sci.* 228 (2022), 105141, <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2022.105141>.
- [30] Burg J.P., "Geology of the onshore Makran accretionary wedge: Synthesis and tectonic interpretation", *Earth-Sci. Rev.* 185,( 2018) 1210–1231. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.09.011>.
- [31] McCall G. J. H., "A summary of the geology of the Iranian Makran", In P. D. Clift, F. D. Kroon, C. Gaedecke, & J. Craig (Eds.), *The tectonic and climatic evolution of the Arabian Sea region* (Geological Society, London, Special Publication No. 195, pp. (2002) 147–204. Geological Society of London. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.195.01.10>.
- [32] McCall G. g. H., Morgan K. H., Huber H., "Geological Quadrangle Map of Minab", 1:250,000 Series, Sheet J13., *Geol. Surv. Iran*. Tehran (1983).
- [33] Streckeisen A., "Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks: recommendation and suggestion of the IUGS subcommission on the systematic of Igneous Rock", *Geology*, 7(7), (1979) 331–335.