فصلنامه زمین‌ساخت

بهـار ۱۴۰۲، سـال هفتـم، شـماره ۲۵

doi 10.22077/jt.2024.7560.1177

بررسی کانه زایی پیوهژان-دیزباد در تاریخچه زمین ساختی رشته کوههای بینالود

عبدالرضا پرتابیان[1*]، ساسان باقری[2]، حبیب بیابانگرد[3]، خالد کهرازه[4]، محمد حقگوراد[5]

۱- دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانشیار تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۳- دانشیار پترولوژی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۴- کارشناسی ارشد اقتصادی، شرکت مهندسین مشاور کاوش کانه مکران، پارک علم فنآوری زاهدان، زاهدان، ایران.

۵- کارشناسی ارشد اقتصادی، شرکت مهندسین مشاور کاوش کانه مکران، پارک علم فنآوری زاهدان، زاهدان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

چکیده:

رشته‌کوه‌های بینالـود در حاشـیه شـمال شـرقی ایـران مرکـزی واقـع گردیـده اسـت. پیکـره اصلـی ایـن رشـته‌کوه‌ها را سـنگ‌های سیلیسـی - کلاسـتیکی تشـکیل داده اسـت. ایـن سـنگ‌های تخریبـی ریزدانـه در دریـای ژرفـی بـا رخسـاره توربیدایتـی بـه سـن تریـاس ته‌نشـین گشـته کـه طـی فرورانـش روبه‌شـمال و بسته‌شـدن اقیانـوس قدیمـی تتیـس به‌تدریـج بـه رخسـاره‌های دریاچـه‌ای - کولابی-رودخانـه‌ای زغـال دار ژوراسـیک زیریـن بـدل گشـته اسـت. حادثـهٔ دگرگونـی هم‌زمـان بـا فشرده‌شـدن حاشـیه فعـال تتیـس قدیمـی رخ‌داده اسـت. سـنگ‌های رسـوبی سـکویی پالئوزوییـک متعلـق بـه حاشـیه غیرفعـال بعدهـا بـه شـکل برگه‌هـای رانـده بـه سـمت جنـوب حرکـت و جای‌گیـر گشـته‌اند. در ژوراسـیک میانـی بـا گسـترش حوضه‌هـای پشـت کمـان سـبزوار - حوضـه کاسـپین کـه بـه اورازیـا پیوسـته بـود، ایـن مرتبـه از سـیمرین جـدا می‌گـردد کـه تـا پالئـوژن پابرجاسـت. حـوادث زمیـن سـاختی نئـوژن مجـدداً گسـل‌های جوان‌تـر را در ایـن حوضـه گسـترش می‌دهـد. کانه‌زایـی پیوهـژان - دیزبـاد در واقـع مجموعـه عمدتـاً دوبخشـی از نهشـته‌های اسـتراتی فـورم همـراه بـا فوران‌هـای بازالتـی پالئوزوئیـک زیردریایـی هسـتند کـه بخش‌هـای سـوپرژن آن عمدتـاً شـامل Fe, Cu and Au بـوده و اغلـب در راسـتای تـورق یـا گسـل‌های حادثـه سـیمرین یـا جوان‌تـر از آن در گسـتره بزرگ‌تـری در جنـوب بینالـود گسـترده شـده‌اند. سـیالات حـاوی فلـزات شسـته شـده از اعمـاق بیشـتری در شـمال از کانـال گسـل‌ها بـه سـمت جنـوب صعـود کـرده و دچـار تفریـق گشـته‌اند. در ادامـه گسـله‌های مرتبـط بـا حادثـه دگرشـکلی جـوان، محدوده‌هـای کانه‌زایـی را بریـده و پراکنـده کرده‌انـد؛ بنابرایـن مثـال کانسـار پیوهـژان - دیزبـاد نمونـه‌ای از یـک واقعـه کانه‌زایـی دومرحلـه‌ای اسـت.

کلمات کلیدی: پالئوتتیس، فیلیت مشهد، زمین‌ساخت گسل‌های رانده، نهشته‌های برون‌دمی، نهشته‌های سوپرژن.

*ایمیل: partabian_reza@science.usb.ac.ir

تلفن تماس: ۰۹۱۷۷۸۲۲۶۱۳

Analysis of the Pivehjan-Dizbad mineralization in the context of tectonic history of the Binalud Mountain

Abdolreza, Partabian[1], Sasan, Bagheri[2], Habiab, Biabangard[3], Khaled Kahrazeh[4], Mohammad Haghgo Rad[5]

1- Associate Professor of Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

2- Associate Professor of Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

3- Associate Professor of Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

4- Master of Economics, Kavosh Kaneh Makran Consulting Engineers Company, Zahedan Science and Technology Park, Zahedan, Iran.

5- Master of Economics, Kavosh Kaneh Makran Consulting Engineers Company, Zahedan Science and Technology Park, Zahedan, Iran.

ABSTRACT

The Binaloud mountain ranges is located in the northeastern margin of central Iran. The main body of these mountains is formed by siliciclastic rocks. These rocks seem to have been deposited in a deep-sea basin with turbiditic facies, which have gradually transgressed into the coal-bearing, lacustrine-littoral-alluvium facies during the transformation of the deep oceanic basin into a shallow foreland basin during the northward subduction. The metamorphic event seems to have occurred at the time of the closure of the aforementioned basin in northern Iran, when the active margin of the Paleo-Tethys was compressed. Platform sedimentary rocks belonging to this passive margin were later moved to the south in the form of thrust sheets. With the extension of the Sabzevar-Caspian back-arc basins, Binalud, which was already connected to Eurasia, was separated from the Cimmerian. Neogene tectonic events developed younger faults in this basin. Pivehjan-Dizbad mineralization is actually a collection of mainly two parts. The First part includes the stratiform deposits along with submarine Paleozoic basalt eruptions and the second one includes supergene deposits mainly contain Fe, Cu and Au developed along the foliation or fault planes of the Cimmerian event or younger, spreading over a south of Binalud. Fluids containing leached metals from greater depths in the north have ascended through the fault channels into the south undergone differentiation. In the following, the faults related to the young deformation event have cut and scattered the mineralization zones. Therefore, the example of the Pivejan-Dizbad deposit is a case of two-stage mineralization event.

Keywords: Paleo Tethys, Mashhad Phyllite, Thrust Tectonics, Exhalative deposits, Supergene deposits

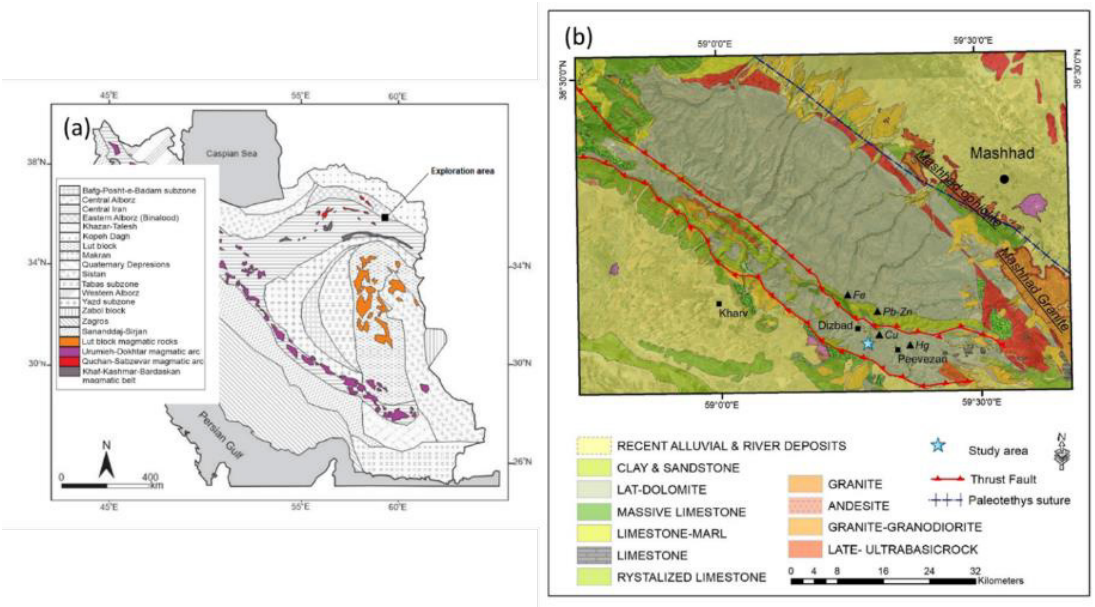
*Email: partabian_reza@science.usb.ac.ir

Tel: +989177822613

۱- مقدمه

کوهزادهای قدیمی به دلیل موقعیت‌های زمین ساختی که در مکان‌های خاصی در طول تاریخچه تکاملی خود فراهم می‌کنند، بستر شکل‌گیری مواد معدنی بوده (Sawkins, 1990) و به سبب زمان کافی برای بروز رخنمون‌های مناسب خود، این مواد را در معرض دید قرار می‌دهند (برای مثال Richards, 2015): کوهزاد سیمرین پیشین در ایران با تحولات اقیانوس پالئوتتیس گره‌خورده و تنها عمدتاً در پاره‌ای از نقاط ایران باقی‌مانده و خودنمایی می‌کند: شمال ایران (Stöcklin., 1974; Ruttner, 1984) و مرکز ایران (Bagheri and Stampfli, 2008). در معدود مناطقی این کوهزاد بستر کانی‌سازی بوده که هم اکنون محفوظ مانده و قابل‌دسترس و مطالعه است.

بخشی از کانی‌زایی مس در جنوب کوه‌های بینالود به ولکانیسم پس از برخورد ترشیاری نسبت‌داده‌شده است. (Entezari et al., 2017). کانسار پیوهزان-دیزباد در جنوب کوه‌های بینالود نمونه‌ای از این کانه‌سازی است (Wauschkuhn et al., 1983). این نهشته به‌عنوان یک ماده معدنی استراتاباند Fe, Pb, Zn, Cu and Ba که در کربنات‌های سازند بهرام جایگزین شده، معرفی گردیده و با انواع مشابهی در مناطق جنوب کاشمر و انارک قابل‌مقایسه است (شکل ۱). در این نوشتار تلاش شده تا ضمن مروری بر روی تحولات کوه‌زایی سیمرین پیشین در رشته‌کوه‌های بینالود، نقش حوادث زمین ساختی مرتبط با ظهور و نابودی اقیانوس پالئوتتیس و حوادث دگرشکلی بعدی در کانه‌زایی ذخائر معدنی بررسی گردد. همچنین تکامل ماده معدنی در بستر این تحولات بررسی شده و تأکید می‌گردد که شکل‌گیری ذخائر معدنی در اغلب موارد درگیر فرایندهای پیچیده شامل تعدادی حادثه زمین ساختی و ماگمایی-دگرگونی است که فرایندهای هیپوژن و سوپرژن هر دو اهمیت ویژه دارند. سوپرژن اصطلاحی است که برای توصیف فرایندهای نزدیک به سطح و محصولات آنها استفاده می‌شود که در دما و فشار پایین توسط فعالیت آب و گاز نزولی تشکیل می‌شوند. اصطلاح مخالف هیپوژن است که از صعود آب و گاز در دما و فشار بالا تشکیل می‌شود. (Perel'man, 1967).



شکل ۱: : (a): موقعیت محدوده موردمطالعه بر روی نقشه پهنه‌های زمین ساختی-چینه‌ای ایران، (Sahandi et al., 2002). (b) نقشه زمین‌شناسی ساده شده پهنه بینالود با نمایش گسل‌های رانده دیزباد و بینالود (رنگ‌های قرمز) و خط زمین‌درز پالئوتتیس (خط آبی‌رنگ)؛ برگرفته از نقشه ۲۵۰,۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور (Aghanabati 1985).

۲- تحول زمین ساختی بینالود

از دیدگاه تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین ساختی - چینه‌ای ایران، کوه‌های بینالود در مرز پهنه سبزوار و کپه داغ واقع گردیده است. پیکره اصلی این کوه‌ها را سنگ‌های سیلیسی-کلاستیکی شامل شیل، سیلت استون، ماسه‌سنگ و مقادیر ناچیزی کنگلومرا تشکیل داده است. این سنگ‌های تخریبی ریزدانه به نظر در دریای ژرفی با رخساره توربیدایتی با سنی در محدوده تریاس متعلق به اقیانوس قدیمی تتیس انباشته گشته که به‌تدریج به رخساره‌های دریاچه‌ای-کولابی-رودخانه‌ای متعلق به یک حوضه رسوبی پیش‌خشکی (foreland basin) ژوراسیک زیرین (معادل سازند شمشک و حاوی شیل‌های زغالی) متحول گشته است. این مجموعه تا حد بخش زیرین رخساره شیست سبز دچار دگرگونی ناحیه‌ای شده و به سنگ‌هایی نظیر اسلیت، فیلیت، کوارتزیت (متاسنداستون) و مقادیر کمتری اسلیت‌های گرافیتی تبدیل گشته است. در مقابل سنگ‌های رسوبی سکویی پالئوزوئیک متعلق به حاشیه غیرفعال این اقیانوس در لبهٔ ایران مرکزی ته‌نشین شده‌اند. بخش‌هایی از این نهشته‌ها را می‌توان در رسوباتی نظیر سازندهای میلا، نیور و بهرام در طاقدیس کوه دیزباد مشاهده نمود. گدازه‌های بازالتی زیر دریایی همراه با سنگ‌های کربناته-شیلی حاوی نهشته‌های استراتاباند Fe, Pb, Zn and Ba گزارش شده‌اند که به نظر در محیط کافتی پالئوزوئیک به‌صورت نهشته‌های برون‌دمی (Exhalative deposits) شکل گرفته‌اند. این نهشته‌ها با گسل تراستی دیزباد بالاآمده‌اند، در مقابل، حادثهٔ دگرگونی به نظر در زمان بسته‌شدن اقیانوس مذکور و برخورد بلوک‌های قاره‌ای در شمال ایران به وقوع پیوسته است. فرایند بسته‌شدن حوضهٔ اقیانوسی با انباشته‌شدن قاچ‌های تکتونیکی از رسوبات سیلیسی-کلاستیکی و سنگ‌های دگرگونی نام‌برده بر روی یکدیگر همراه گشته که مرتبط با حرکت عمومی از شمال-شمال غرب به سمت جنوب-جنوب شرق بر روی لبه قاره‌ای ایران مرکزی بوده است (Alavi, ۱۹۹۱). مطالعات انجام شده عمده فعالیت تکتونیکی رشته‌کوه‌های بینالود را در کنترل تراست‌ها و چین‌خوردگی‌های فعال می‌داند (Shafiee et al., 2010).

۳- محدوده معدنی پیوهژان-دیزباد

محدوده معدنی پیوهژان-دیزباد به وسعت ۷/۹ کیلومترمربع در منطقه‌ای در جنوب کوه‌های بینالود واقع در استان خراسان رضوی واقع گردیده است. از دیدگاه تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین ساختی - چینه‌ای ایران (Aghanabati 1985)، این محدوده در حاشیه شمال شرقی ایران مرکزی، در بخش جنوبی رشته‌کوه‌های بینالود، در مرز پهنه سبزوار و در چهارگوش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طرقبه واقع گردیده است.

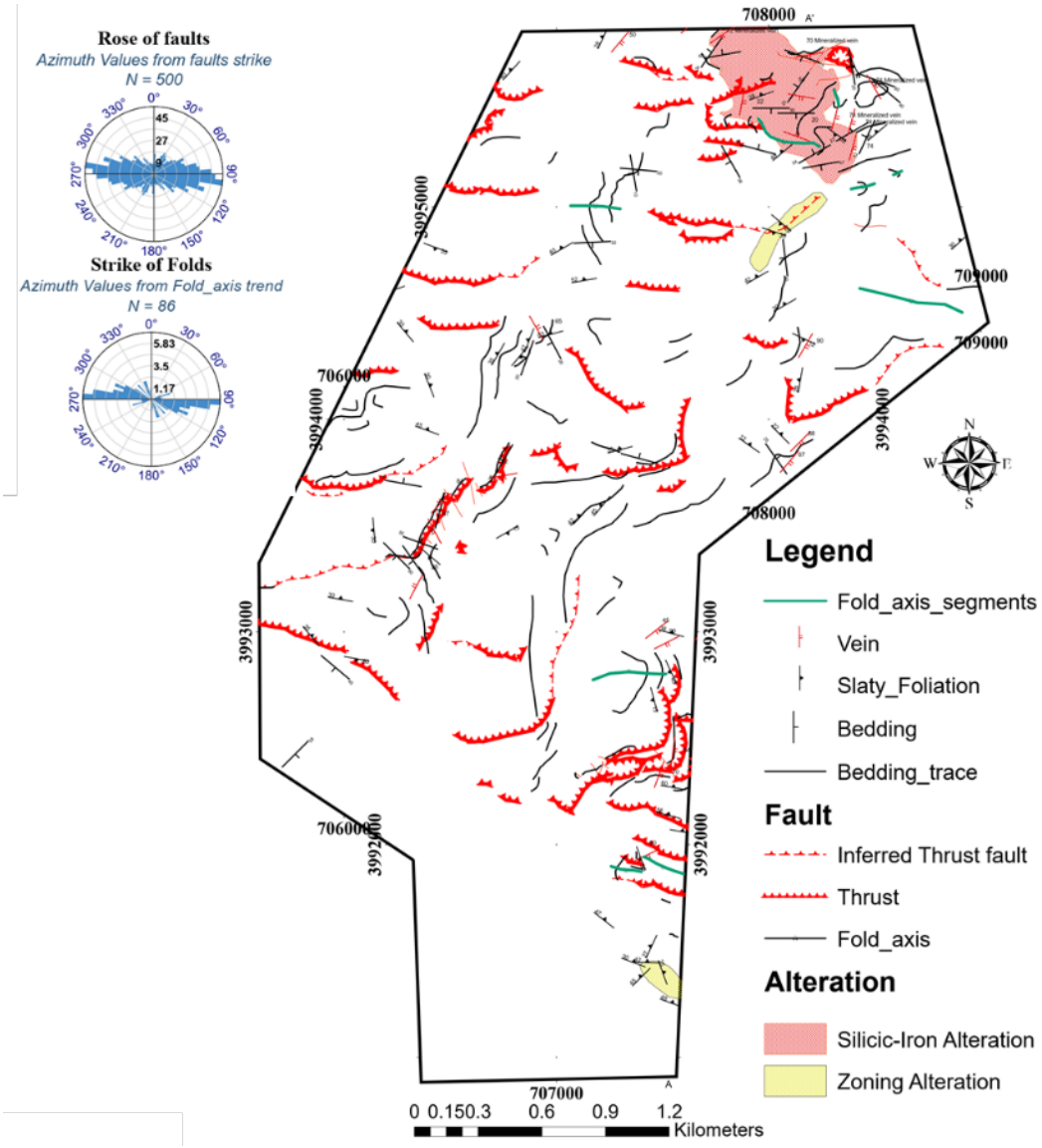
در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های بینالود دو گسل بزرگ راندگی دیده می‌شود. اولی بنام تراست دیزباد که شیبی به سمت شمال دارد و با طولی بیش از ۵۰ کیلومتر با روند شمال غربی گسترش دارد. این گسل سنگ‌های پالئوزوئیک خصوصاً کربنات‌های متبلور دونین و در مواردی سنگ‌های قدیمی‌تر را بر روی سنگ‌های دگرگونی تریاس رانده است. دومین گسل رانده اصلی در منطقه تراستی است که سنگ‌های دگرگونی تریاس را بر روی سنگ‌های غیر دگرگونی جوان‌تر احتمالاً متعلق به اواخر پالئوژن و یا اوایل نئوژن (پور لطیفی، ۱۳۷۶) قرار داده است. کوه‌های بینالود از جنوب به واسطه گسل رانده بینالود از افیولیت ملانژهای سبزوار و سایر نهشته‌های آتشفشانی- رسوبی پالئوژن جدا می‌گردد. طول این تراست به حدود ۱۰۰ کیلومتر می‌رسد و به‌عنوان یک گسل اصلی جداکننده پهنه سبزوار از کوه‌های بینالود بشمار می‌رود (شکل ۲).

۳- کانی‌زایی در محدوده اکتشافی

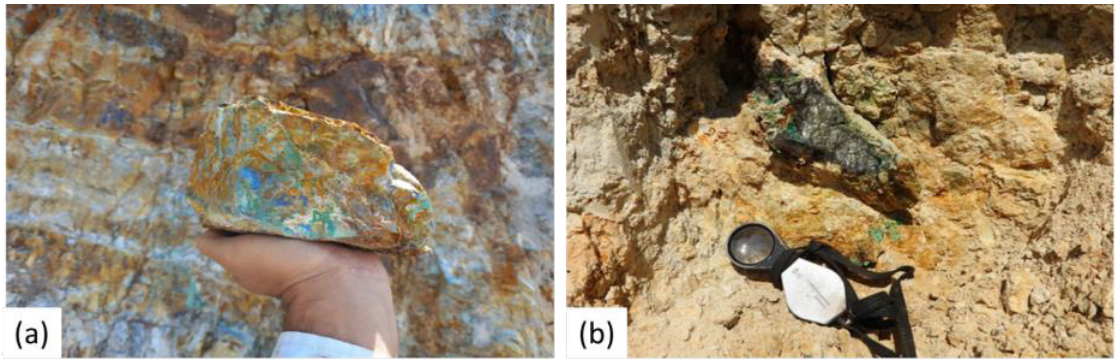
در محدوده اکتشافی قاسم‌آباد کانی‌سازی مس به نظر کم‌عمق است و کانی‌سازی‌های مس عمدتاً تحت کنترل ساختاری و لایه‌بندی رسوبات چین‌خورده که ناشی از آخرین دگرگونی در منطقه بوده می‌باشند. در نواحی سطحی عمدتا با حضور کانی های کربناتی - اکسیدی مس(مالاکیت، آزوریت و نئوتوسیت) و سولفیدی (کالکوپیریت، کالکوسیت و پیریت)، می‌باشند (شکل ۳).

۴- ساختارهای منطقه:

اغلب چین‌های بزرگ تا متوسط مقیاس منطقه جنوب بینالود با راستای عمومی شرقی-غربی، برگشتگی به سمت جنوب تا جنوب شرق داشته، محصول این حادثه تکتونیکی هستند. این رخداد گسلش و چین‌خوردگی

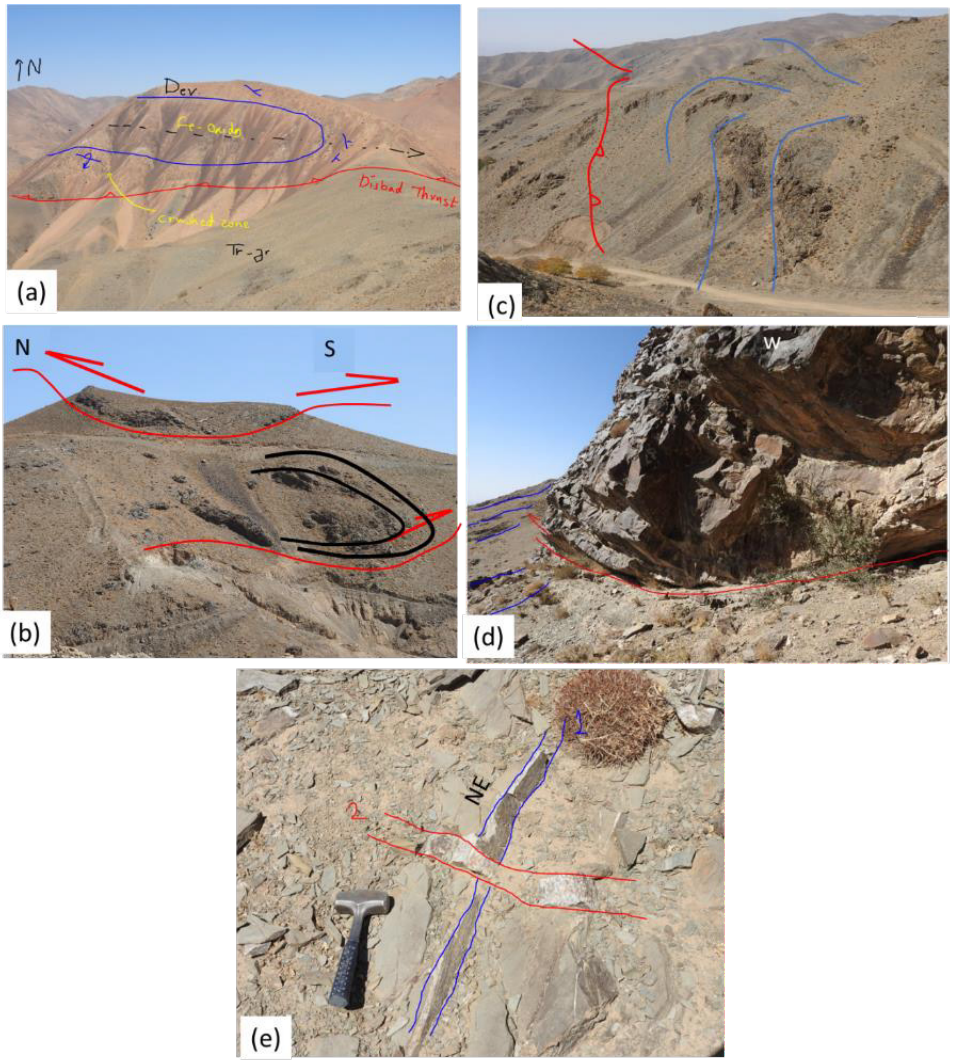


شکل ۲: نقشه ساختاری محدوده اکتشافی پیوهژان- دیزباد



شکل ۳ - کانی‌زایی کربناتی- اکسیدی و سولفیدی مس در محدوده اکتشافی.a) تصویری از نمونه دستی یک سنگ شدیداً آلتره شده با اکسیدهای آهن و کربنات‌های مس است. در پس‌زمینه تصویر لایه‌بندی اولیه سنگ رسوبی قابل‌تشخیص است. b) تصویری از نمای نزدیک از سنگ‌های تخریبی رسوبی خرد شده و آلتره شده با اکسیدهای آهن و همچنین کانی‌های رسی است.

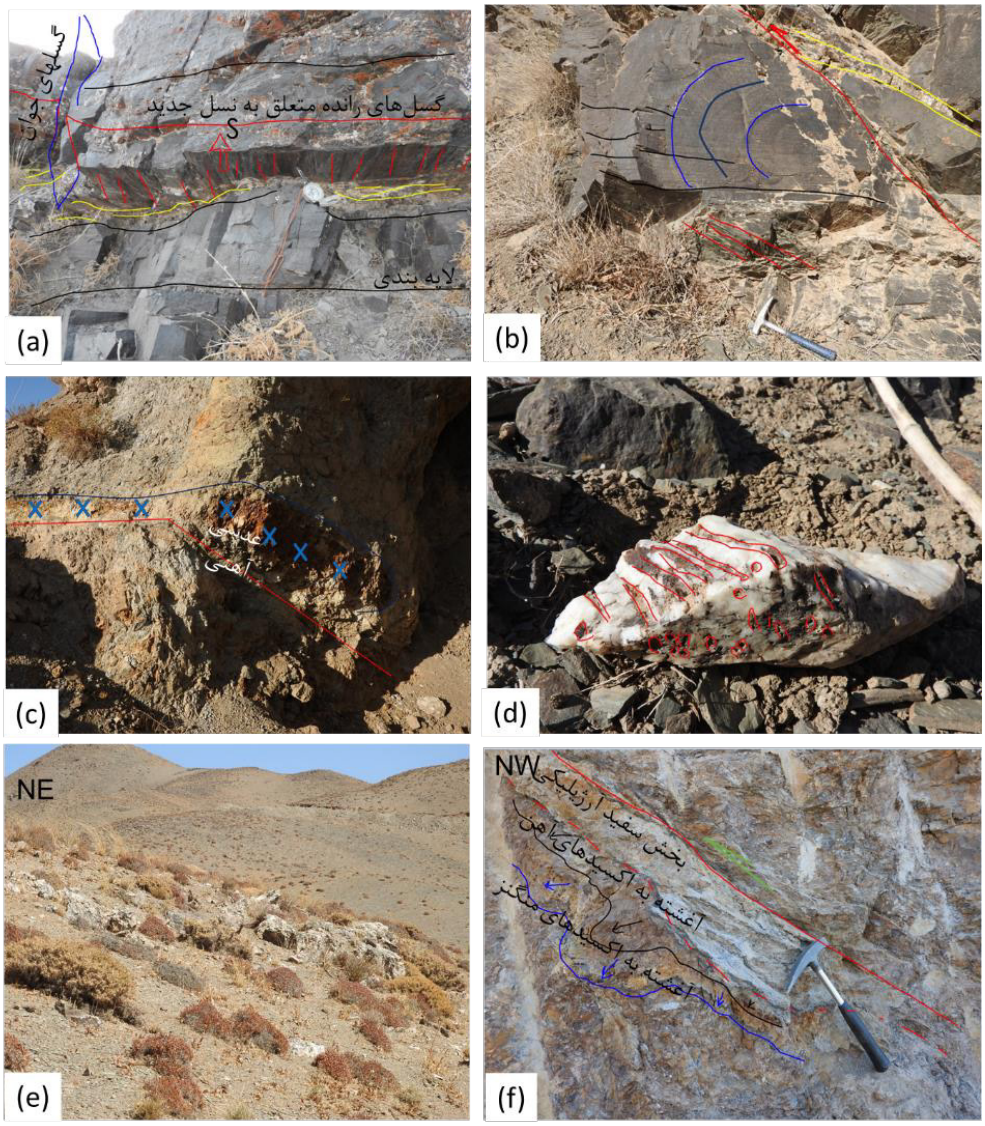
در منطقه با حرکت فرادیواره عمدتاً حاوی لایه‌های ضخیم اولیه ماسه‌سنگی/سیلتی سخت بر روی لایه‌های نازک، نسبتاً نرم و خمیری فیلیتی رخ‌داده است (شکل ۴- a، b و c). نتیجهٔ این حادثه گسلش یا برشی شدن، توسعه شکستگی‌ها و سیلیسی شدن محلی سنگ‌های فرادیواره بوده است (شکل d). گروهی از رگه‌های سیلیسی نازک عمدتاً با روند شمال شرقی در مقیاس‌های مزوسکوپی در لایه‌ها و تورق‌های قدیمی نفوذ کرده که ممکن است منشأ دگرگونی داشته و از این نظر اغلب فاقد کانه‌سازی هستند و خود توسط گسل‌های رانده جوان‌تر بریده شده‌اند (شکل e). در اینجا از مجموعه این عناصر دگرشکلی زیر عنوان حادثه اول دگرشکلی مرتبط با واقعه سیمرین پیشین یاد می‌کنیم. هیچ توده ماگمایی متعلق به این حادثه کوه‌زایی در محدوده جنوبی بینالود مشاهده نگردیده است هر چند گرانیت‌های تریاس میانی-بالایی در شمال بینالود توسعه دارند.



شکل ۴: مناظری از بخش شمالی محدوده اکتشافی مرتبط با گسل‌های رانده و چین‌های مرتبط. a) بخشی از توالی گسل‌های رانده به سمت جنوب شرق را به نمایش می‌گذارد که برخی از آنها با شکل‌گیری چین‌های خوابیده مرتبط با راندگی (break-thrust folding) شکل گرفته‌اند. b) نمونه دیگری از چین بزرگ خوابیده به سمت جنوب شرق. (دید تصویر رو به شرق گرفته شده) واقع در دیواره شرقی محدوده اکتشافی است. c) نمونه دیگری از یک چین برگشته به سمت جنوب در نمایی به سمت غرب در بخش شمالی محدوده اکتشافی. (دید به سمت شرق). d) جابه‌جایی برگه‌های رانده شده با فرادیواره لایه‌های ماسه‌سنگی ضخیم. e) نمای نزدیک از دو رگه سیلیسی متقاطع: رگه‌آبی قدیمی موازی تورق دگرگونی و منشأ دگرگونی داشته و ارتباطی با کانه‌زایی ندارد؛ رگه قرمز جوان‌تر بوده و ممکن است متعلق به حادثه کانه‌زایی باشد چرا که آغشته به محلول‌های آهنی است.

۵- حوادث دگرشکلی-کانه‌زایی بعد از سیمرین

دومین حادثه دگرشکلی مهم در منطقه احتمالاً متعلق به اواخر پالئوژن و اوایل نئوژن بوده است. در حاشیه جنوب غربی منطقه گسل‌هایی دیده می‌شوند که نهشته‌های نئوژن را بریده‌اند. برخی به شکل گسل‌های عظیم رانده نظیر تراست بینالود، سنگ‌های دگرگونی تریاس- ژوراسیک را بر روی نهشته‌های نئوژن قرار داده‌اند. این حادثه فشارشی سبب شده تا بسیاری از گسل‌های رانده قدیمی یا مجدداً فعال شوند و یا راندگی‌های جوان‌تر با ماهیت متفاوت و شیب بیشتر، توالی‌های راندگی قدیمی‌تر را قطع کنند (out-of-sequence-thrust) (شکل ۵ a و b).

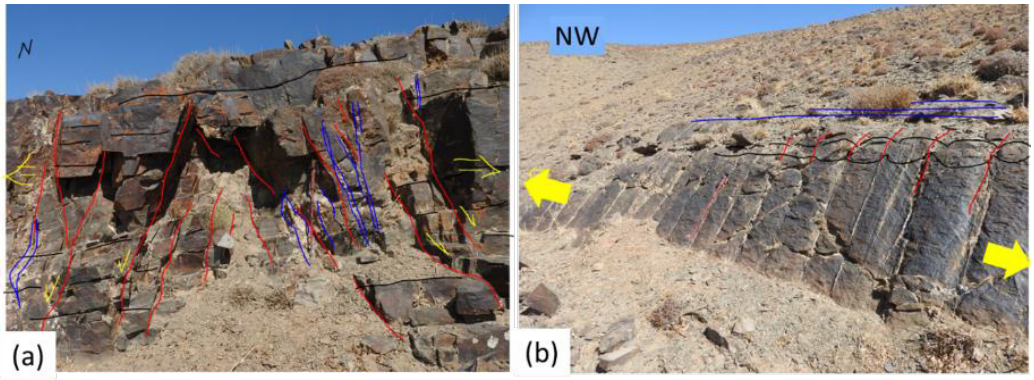


شکل ۵: a) گسل‌های رانده متعلق به نسل جدید با خط‌واره‌هایی که به جهت جنوب اشاره دارند و به‌موازات تورق دگرگونی توسعه‌یافته‌اند b) نمایی نزدیک از ساختارهای صفحه‌ای ترانهاده؛ ۱- خطوط مشکلی: تورق دگرگونی ۲- لایه زرد یک رگه سیلیسی عقیم با منشأ دگرگونی؛ ۳- خطوط قرمز تورق برشی موازی راندگی c) تصویر کانه‌زایی هم‌زمان با تکتونیک در راستای NW. سطوح آغشتگی کانیایی کاملاً به‌موازات سطوح گسل‌ها بوده و با دورشدن از گسل در جهت عمود بر امتداد توزیع و انتشار آغشتگی به ترتیب آهن و منگنز گواهی بر هم‌زمانی کانه‌زایی با گسلش است؛ نگاه به سمت شمال غرب در ترانشه با امتداد NE. d) تصویری از یک نمونه دستی سیلیس همراه با کانه‌زایی که آهن به شکل تونل‌های ظریفی با مقاطع عرضی هندسی شکل در درون میزبان سیلیس و در جهت جریان سیال جدا شده و حرکت نموده است. e) توده‌ها و رگه‌های سیلیسی متعلق به حادثه کانی‌زایی در بخش شمالی منطقه؛ اغلب این تجمعات سیلیسی در نزدیکی گسل‌های رانده جوان‌تر دیده می‌شوند. f) گسل NW (خط‌قرمز) دگرسانی در بخش شمالی محدوده اکتشافی در یک ترانشه EW مطالعه شده است.

در طی این حادثه تکتونیکی جوان‌تر سیالات سیلیسی-آهنی کانه ساز از اعماق به سمت سطح زمین هدایت شده‌اند. این سیستم گسله جوان در مکان‌هایی آغشته به سیالات کانه ساز بوده و با کانه‌زایی اکسید و هیدروکسیدهای آهنی در خارج از محدوده اکتشافی همراه شده‌اند. اما در شمال و درون محدوده، سیالات کانی‌ساز از این گسل‌ها و تورق‌های مرتبط با آن تبعیت کرده‌اند. سیالات عمدتاً از کانال‌های این گسل‌ها بالا آمده‌اند و به‌خوبی در فرادیواره و یا فرودیواره و یا مکان‌های باز مرتبط با گسل‌ها ته‌نشین شده‌اند، و یا گاهی در مسیر بالا آمدن از لایه‌بندی، گسل‌ها و تورق‌های قدیمی پیروی کرده و با مکانیزم جای‌گیری تراوشی ته‌نشین شده‌اند (شکل ۵ c و d). مسیر حرکت این سیالات با شیب عمومی به سمت شمال و عمدتاً با جای‌گیری گسل‌هایی با امتداد شمال غربی و شیب شمال شرقی ظاهر شده‌اند. این احتمال که منبع اصلی عناصر فلزی همان کانه‌زایی پالئوزوئیک شمال منطقه باشد بسیار زیاد است. در برخی از مناطق محدوده اکتشافی منطقه‌بندی (zoning) آلتراسیونی (کل ۵ e و f) با ساختاری به‌قرار زیر دیده می‌شود:

یک پوشش سیلیسی-آهنی عمدتاً لایه‌ها و تورق‌های قدیمی را کاملاً استحاله و جایگزین کرده‌اند. در زیر این زون گوسان مانند یک پهنه چند ده‌متری با آلتراسیون کربناتی_سیلیسی همراه با حضور مالاکیت، آزوریت، هماتیت، لیمونیت، گوتیت، سیدریت و اکسیدهای منگنز در بخش شمالی محدوده (در محل پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیک) در طی مطالعات صحرایی مشاهده گردیده است (شبیه پهنه‌های سوپرژن). بلافاصله در زیر این زون یک افق چند ده‌متری از آلتراسیون آرژیلیک (کانی‌های کائولن، ایلیت، کلریت، موسکوویت) با رنگ عمومی سفیدرنگ همراه با گرهک‌ها و رگه‌های فرعی از سولفیدهای آهن و مس مثل کالکوپیریت مشاهده می‌شود. این مناطق کانه‌زایی به‌وضوح با تکتونیک حادثه دوم هم‌زمان بوده و به‌خوبی از آن پیروی می‌کند. چنین منطقه‌بندی آلتراسیونی ممکن است بیانگر نوعی کانه‌زایی اپی‌ترمال سولفید پایین رگه‌ای در سطح بوده که در عمق ممکن است از طریق یک سیستم پورفیری و یا سیالات داغ تحت‌فشار مرتبط با پهنه تراستی فعال شده ارتباط داشته باشد.

حادثه سوم دگرشکلی اغلب با ظهور گسل‌های فرعی، گاهی مزدوج با مؤلفهٔ شیب لغزی نرمال مرتبط هستند (شکل ۶ a و b) که توانسته رگه‌ها و زون‌های کانه ساز را تکه‌تکه کرده و جابه‌جا سازد. این گسل‌ها با برِشی کردن و آلتره کردن سنگ‌های مجاور خود باضخامت‌های چند ده سانتی‌متری همراه بوده‌اند. حادثه مذکور احتمالاً بلافاصله در پی رخداد دوم و یا در ادامهٔ آن به وقوع پیوسته است. بالاآمدگی منطقه در طی آخرین حوادث چین‌خوردگی فلات ایران و عملکرد سیستم هوازدگی و فرسایش شدید به وقوع پیوسته است.



شکل ۷: a): نمایی از یک پروفیل شرقی-غربی در بخش شمالی محدوده اکتشافی. لایه‌بندی و تورق دگرگونی با رنگ مشکی، گسل‌های نرمال با رنگ قرمز شامل دودسته با رنگ قرمز، رگه‌های سیلیسی موازی با رنگ آبی و جهت کشش تقریبی با رنگ زرد مشخص شده است. b) تصویر از یک‌لایه ماسه‌سنگی با راستای NW که تحت‌تأثیر کشش بودینه شده و یک سیستم رگه سیلیسی کششی با روند NE را ایجاد نموده است. خطوط قرمز رگه‌های سیلیسی، منحنی‌های مشکی نحوه توزیع تغییرات ضخامت و فلش زردرنگ راستای کشش را نشان می‌دهد

۶- نتیجه‌گیری و فرایند کانه‌سازی چند مرحله‌ای

قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در جنوب رشته‌کوه‌های بینالود در منطقه پیوهژان ماسه‌سنگ‌هایی با میان‌لایه‌های بازالتی منتسب به سیلورین-دونین زیرین هستند که توسط سازندهای کربناته شامل دولومیت سیب زار و آهک بهرام به سن دونین میانی-بالایی پوشانیده می‌شوند (Stocklin, 1968). چنین توالی رخساره‌ای در ایران نشانه پیشروی دریا و گذر از یک محیط قاره‌ای به دریایی تعبیر شده و با باز شدن اقیانوس پالئوتتیس تفسیر می‌گردد (Stampfli, 2000; Stampfli and Borel., 2002) (شکل ۸). در چنین محیط‌های ریفت قاره‌ای اغلب نهشته‌های برون دمی همچون تیپ MVT از نوع سرب، روی و باریت ظاهر می‌گردند که اغلب با مقادیری آهن و کمی مس همراه هستند. این نهشته‌ها شکل چینه‌سان داشته و به شکل عدسی‌های پهن و نازک در میزبان شیل و یا کربنات ظاهر می‌گردند. دهه‌ها پیش زمین‌شناسان آلمانی گزارشی از وجود نهشته‌های استراتی‌باند را در منطقه پیوهژان منتشر کردند (Wauschkuhn et al., 1983) که نشان می‌داد نهشته‌های از آهن، سرب، روی و باریت و در افق‌هایی در بخش‌های زیرین آهک بهرام و در مرز بالایی آن با سازند شیشتو به شکل ته‌نشینی هم‌زمان با رسوب‌گذاری وجود دارد.

اما هم اکنون سؤال اساسی بعدی که پیش می‌آید این است که چه عاملی ماده معدنی را از شمال به سمت جنوب سوق داده است؟ سنگ‌های میزبان ماده معدنی پیوهژان رسوبات سکویی هستند که اغلب روی حاشیه غیرفعال پالئوتتیس (شکل ۹B)، در زیر پلاتفرم و در سمت جنوب پهنه زمین‌درز (suture zone) مشهد قرار دارند. این در حالی است که نهشته‌های سیلیسی-کلاستیکی پرمین-تریاس دگرگون شده بینالود (فیلیت مشهد) در حاشیه شمالی پالئوتتیس و در محیط‌های گودال اقیانوسی به شکل توربیدایت و فن‌های زیر دریایی تجمع کرده‌اند و بایستی در مکانی در شمال زمین‌درز مشهد دیده شوند؛ مانند منطقه فریمان (Bagheri, 2007).

ازآنجایی که هر دو رخساره درجات ضعیفی از دگرگونی را پشت سر گذاشته‌اند (حادثه اول دگرشکلی)، بنابراین به نظر می‌رسد که این دو حاشیه در حادثه برخورد دو قاره گندوانا در جنوب و اورازیا در شمال با یکدیگر درگیر شده، بر روی‌هم رانده شده و دگرگون گشته‌اند (شکل ۹C). در واقع در طی فرایند تکتونیکی که اغلب از آن به‌عنوان وارونگی تکتونیکی (tectonic inversion) یاد می‌گردد، گسل‌های نرمال حاشیه غیرفعال که در زمان توسعه ریفت فعال بوده‌اند، در طی تکتونیک برخوردی و همگرا به شکل وارونه‌ای فعال گشته و به گسل‌های رانده تبدیل شده و سبب می‌شوند تا برگه‌های تراستی شامل رسوبات پلاتفرمی پس از طی مسافت‌های کیلومتری در راستای شیب فرورانش قبلی از شمال به سمت جنوب حرکت کنند. این مکانیزم سبب شده که نهشته‌های پالئوزوئیک حاوی منبع اصلی ماده معدنی را در بین قاچ‌های بزرگ سیلیسی-کلاستیکی تریاس مشاهده شوند. برخی از این تراشه‌های تکتونیکی پالئوزوئیک نظیر آنچه در دیزباد وجود دارد خود را به سطح رسانیده‌اند و برخی ممکن است همچنان در زیر زمین و در بین سنگ‌های دگرگونی باقی‌مانده باشند.

فرایند تکتونیکی که با دگرگونی نیز همراه بوده توانسته سیالات داغ تحت فشاری ایجاد نماید که از طریق کانال‌های گسلی، سطوح تورق، سطوح بُرشی و لایه‌بندی اولیه خود را با شیبی به سمت شمال و در حرکتی از شمال به جنوب، خود را کیلومترها بالا ببرند و مواد معدنی شسته شده را حمل و مجدداً ته‌نشین کنند. این همان فرایندی است که ما از آن با نام سوپرژن یا برون‌زایی صحبت می‌کنیم. اغلب نهشته‌های معدنی هماتیت در منطقه احتمالاً نتیجه این اثر برون‌زادی بوده است.

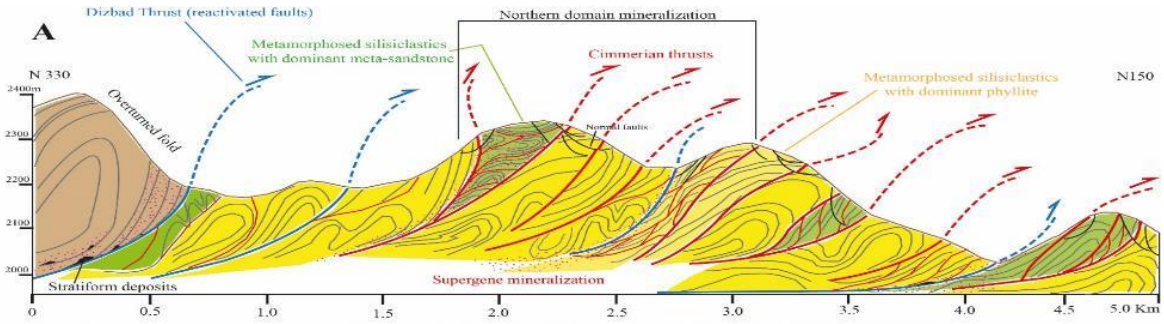
فرایند جابه‌جایی ماده معدنی ممکن است با تأخیر بیشتر و بعد از حادثه دگرگونی و شاید در پالئوژن یا اوایل نئوژن به وقوع پیوسته باشد (شکل ۹E). شواهدی در دست است که حادثه دگرشکلی دومی در این زمان رخ‌داده است. در جنوبی‌ترین بخش بینالود، گسل رانده بینالود نهشته‌های تریاس-ژوراسیک را بر روی رسوبات سنوزوئیک قرار داده است (شکل ۸A). این رخداد ممکن است مطابق با بسته‌شدن حوضه اقیانوسی پشت کمان سبزوار و جای‌گیری افیولیت‌های آن باشد. همچنین بسیاری از رسوبات نئوژن با گسل‌های فرعی

در این منطقه بریده شده‌اند. از طرفی مطالعه ساختارها و تورق‌های بُرشی درون مجموعه دگرگونی نشان می‌دهد که گروه جدیدی از گسل‌های رانده، سیستم گسله سیمرین را یا بریده‌اند و یا آنها را مجدداً فعال ساخته‌اند (شکل 9B-F).

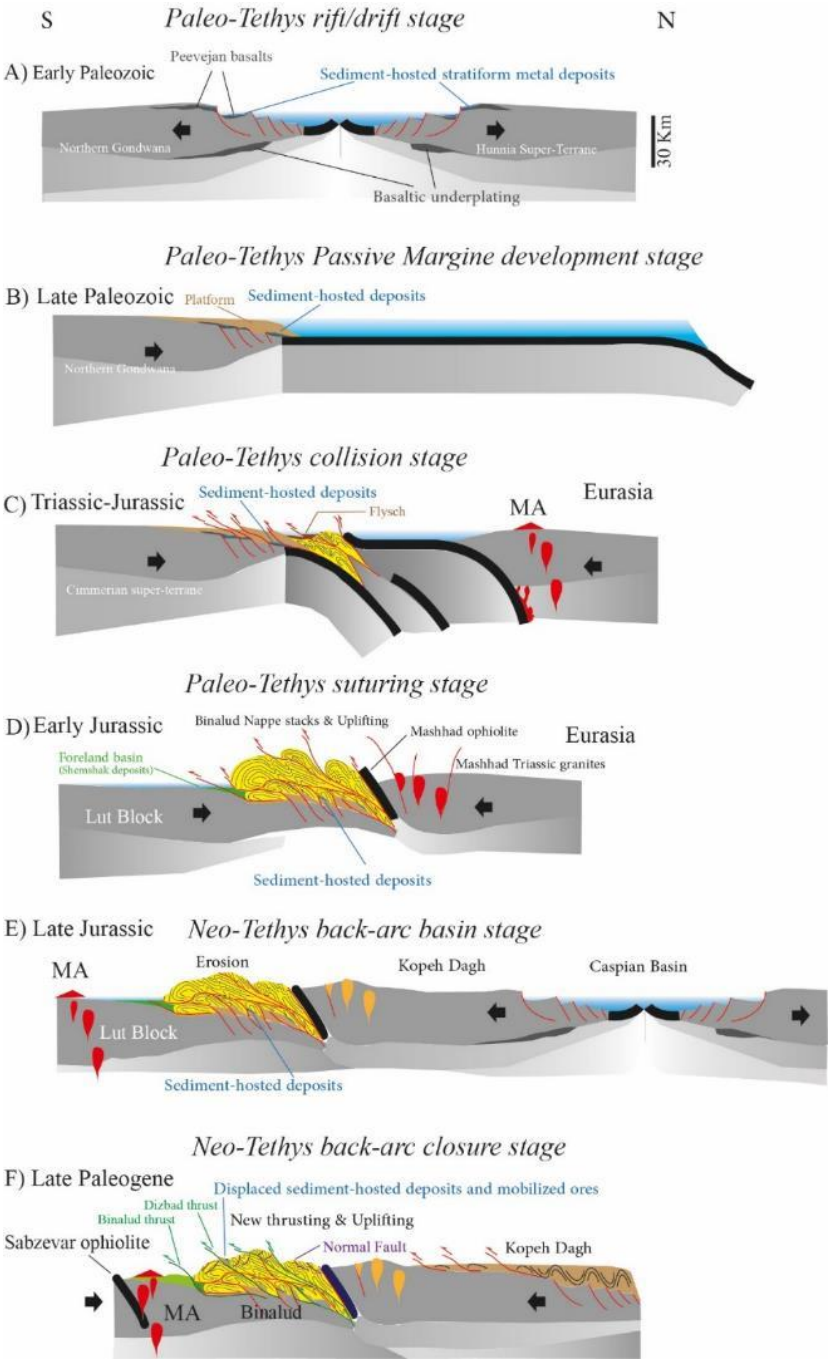
بسیاری از گسل‌های این رخداد دوم آغشته به محلول‌های کانه ساز خصوصاً اکسیدها و هیدرو اکسیدهای آهن هستند. برخی با آلتراسیون آرژیلیکی سنگ‌های فرو یا فرادیواره خود همراه‌اند و نشان می‌دهد که درجه‌حرارت سیال به بیش از ۲۵۰ درجه سانتیگراد نیز رسیده است. اینکه موتور گرمایی ماگمایی خاصی در عمق و مرتبط با این حادثه تکتونیکی موجود باشد هنوز برای ما ناشناخته می باشد. ماده معدنی شامل اکسیدهای آهن و سولفیدهای آهن-مس در درون این گسلها و در فضاهای پلکانی کششی مرتبط با انحنائ گسلها جایگیر شده است.

آخرین حادثه دگرشکلی به نظر نوعی تکتونیک کششی بوده که در ادامه حادثه دوم رخداده و کوهزاد مرتفع را تراشیده و به تعادل ایزوستاتیک رسانیده است (شکل 9F). اغلب گسل‌های کانه‌دار توسط گسل‌های نرمال و مزدوج فرعی‌تر (که عمود بر روند ساختارهای قبلی هستند) بریده شده و یا جابه‌جا کرده است. در واقع این حادثه نوعی تأثیر مخرب بر مناطق کانه ساز داشته و آنها را یا جابه‌جا کرده و یا آنها را مورد انحلال مجدد قرار داده است. پهنای آلتراسیونی این گسل‌ها و زون‌های آنها چندان زیاد نیست. این اثرات انحلالی کم حرارت و بسیار دور از منبع ماده معدنی اصلی سبب شده که عنصر طلا را به شکل اپی‌ترمال با سولفیداسون پایین را در مناطق گسلی تغلیظ کند.

سپاسگزاری: نویسندگان از حمایت‌های مالی شرکت صنعتی معدنی فلزات کاریز تحت قراردادی به تاریخ ۱۴۰۲/۰۶/۱۵ کمال تشکر و قدردانی را دارند.



شکل ۸: پروفیل عرضی از بخش جنوبی رشته‌کوه‌های بینالود و مدل کانه‌سازی؛ سیالات متحرک در یک سیستم سوپرژن در امتداد گسل‌های دوباره فعال شده نقش جابه‌جایی مواد فلزی را از اعماق به سطح دارند



شکل ۹: طرح شماتیک تکتونیک صفحه‌ای مراحل تکوین زمین‌شناسی منطقه بینالود و مراحل کانه‌زایی کانسار پیوهژان-دیزباد؛ A)مرحله تولد یا کافت قاره‌ای اقیانوس پالئوتتیس. کانه‌زایی اولیه چینه‌سان از تیپ‌های برون دمی همچون تیپ MVT در این مرحله رخ‌داده است؛ B) گسترش حاشیه غیرفعال پالئوتتیس؛ C) آغاز برخورد اورازیا و ابر سرزمین سیمرین؛ D)مرحله کامل‌شدن پهنه جوش خوردگی پالئوتتیس. در این مرحله واحدهای حاوی لایه‌های ماده معدنی تکه‌تکه شده و همراه با گسل‌های رانده به سمت جنوب جابه‌جا گشته‌اند؛ E) مرحله گسترش اقیانوس پشت کمان نئوتتیس؛ F) مرحله بسته‌شدن حوضه پشت کمان و شکل‌گیری چهره تقریباً امروزی پهنه بینالود. مرحله سوپرژن و تغییرات ثانویه ماده معدنی در کنترل سیالات مرتبط با گسل‌ها در این مرحله تکوین‌یافته است. برای توضیح بیشتر متن بخش نتیجه‌گیری را ملاحظه بفرمایید.

منابع

پورلطیفی، ع.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ایران، ورقه طرقبه، شماره ۷۸۶۲، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Aghanabati, A. 1985. Geologic map of the Mashhad quadrangle, scale 1: 250,000. Geological Survey of Iran, Tehran.

Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103: 983-992.

Bagheri, S., 2007. The exotic Paleo-Tethys terrane in central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas, Ph.D. thesis. University of Lausanne, Lausanne, Switzerland 223 pp.

Bagheri, S., Stampfli, G.M., 2008. The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic comd plexes in Central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications. Tectonoh physics 451, 123–155.

Entezari Harsini, A., Mazaheri, S. A., Saadat, S., Santos, J. F.,2017. Geochemistry, petrology, and mineralization in volcanic rocks located in south Neyshabour, NE Iran. Journal of Mining and Environment, 8(2), 139-154.

Perel'man, A. I., 1967 Geochemistry of Epigenesis. New York: Plenum Press, 266 pp.

Richards, J. P., 2015, Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision, Ore Geology Reviews, 70, 323–345.

Ruttner, A.W., 1984. The pre-Liassic basement of the eastern kopet Dagh range. Neues Jahrbuch fur geologie und palaontologie, Abhandlungen, 168: 256-268.

Sahandi, M.R., Soheily, M., Sadeghi, M., Delavar, S.T., Jafari-Rad, A., 2002. 1:1,000,000 Geological Map of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran.

Shafiee, E., Alavi, A., Naderi Mighan, N. 2010. Active Tectonic in Binalud Mountain with Respect to Morphotectonic. Physical Geography Research Quarterly, 41(70).

Stampfli, G. M., Borel, G. D.,2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. Earth and Planetary science letters, 196(1-2), 17-33.

Sawkins, F. J., 1990, Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

Stampfli, G.M., 2000. Tethyan oceans. In: E. Bozkurt, J.A. Winchester and J.D.A. Piper (Eds.), Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area. Geological Society of London, Special Publication,. 1-23.

Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52(7): 1229-1258.

Stöcklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran. In: C.A. Burk and C.L. Drake (Eds.), The geology of continental margins Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, . 873-887.

Wauschkuhn, A., Ohnsmann, M. and Momenzadeh, M., 1983. Fe, Pb, Zn, and Ba occurrences in the Paleozoic rocks of the south Binalud Mountains, NE-Iran, Geodynamic project (Geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran. 337-346.