Archive of SID

مجله علوم و فنون هسته‌ای، جلد ۹۰، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸

نگرشی بر شکل‌گیری، تکامل و کانه‌زایی لیستونیت‌ها و ارتباط آن با کانه‌زایی اورانیم و چندفلزی در منطقه‌ی چاه شوره، انارک، منطقه‌ی ایران مرکزی

پژمان وقاری[۱]، مجید خسروی*[۲]، سلمان فتحی[۳]، محمدرضا رضوانیان‌زاده[۴]، محمدرضا قادری[۵]

۱. دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، صندوق پستی: ۷۱۹۶۴۸۴۳۳۴، شیراز ـ ایران

۲. دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی: ۹۱۷۷۹۴۸۹۷۴، مشهد ـ ایران

۳. دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، صندوق پستی: ۳۶۱۹۹۹۵۱۶۱، شاهرود ـ ایران

۴. پژوهشکده‌ی کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۳۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران ـ ایران

۵. مهندسی معدن، دانشکده‌ی فنی، دانشگاه تهران، صندوق پستی: ۵۱۵-۱۴۳۹۵، تهران ـ ایران

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۴/۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۳/۲۹

چکیده: محدوده‌ی مورد مطالعه بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ انارک است که در قسمت خاوری استان اصفهان و ۱۰ کیلومتری شمال انارک قرار گرفته است. محدوده‌ی چاه‌شوره در درون منطقه‌ی انارک- خور که تحت تأثیر حرکت به سمت شمال صفحه‌ی عربی و فعال‌شدن دو گسل امتدادلغز این منطقه، یعنی گسل درونه و گسل بیابانک شکل گرفته است، از نظر ساختاری یک گسل تراست با امتداد شرقی- غربی علاوه بر حرکت تراست از خود مؤلفه‌ی راست‌بر و سپس حرکت چپ‌بر در منطقه فعال بوده است. این گسل سنگ‌های اولترامافیک قدیمی را در کنار سازند سهلب قرار داده است. کانی‌سازی پلی‌متال بر روی بلوک فرادیواره‌ی تراست، محدود به رگه و رگچه‌های سیلیسی کربناته لیستونیت‌ها است. لیستونیت‌ها سنگ‌های غیرمعمول کربناته هستند که از دگرسانی واحدهای اولترامافیک حاصل می‌شوند و غنی از رگه‌های سیلیسی- کربناته‌اند. افیولیت‌های این منطقه جز افیولیت‌های ایران مرکزی محسوب می‌شوند. در این بررسی با برداشت اطلاعات از خش‌لغزهای گسلی، بازسازی جهت‌گیری دیرینه‌ی تنش مؤثر با روش وارونگی صورت گرفته است. در این مطالعه روند و موقعیّت محورهای تنش دیرین اصلی براساس نتیجه‌های تحلیل داده‌های خش‌لغز گسلی از نرم‌افزار تی- تکتو۳ به دست آمده است که بعد از تفسیر و تحلیل داده‌های این نتیجه‌ها مشخص شد که لیستونیت‌ها در یک گسل پارگی شکل‌گرفته‌اند. با توجه به این‌که طریقه‌ی زمین‌ساختی این محدوده الگوهای تکراری از خود نشان می‌دهد می‌توان لیستونیت‌های مشابه دیگری را یافت که همانند آن‌ها شکل‌گرفته و کانی‌سازی محدود به رگه‌ها و رگچه‌ها باشد و با درنظر گرفتن این تشابه ساختاری و محدودبودن کانی‌سازی اورانیم به رگه و رگچه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که لیستونیت‌های غربی این محدوده دارای کانه‌زایی اورانیم و چندفلزی هستند.

کلیدواژه‌ها: کانه‌زایی لیستونیت‌ها، کانه‌زایی اورانیم، چاه‌شور

An attitude to the formation, mineralization and evolution of Listwanite and relation to uranium and polymetal mineralization in Chah Shoureh area, Anarak, central iran

P. Vaghari[1], M. Khosravi*[2], S. Fathi[3], M.R. Rezvanianzade[4], M.R. Ghaderi[5]

1. Faculty of Science, Shiraz University, P.O.Box: 7196484334, Shiraz - Iran
2. Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, P.O.Box: 9177948974, Mashhad – Iran
3. Faculty of Earth Science, Shahrood University of Technology, P.O.Box: 3619995161, Shahrood – Iran
4. Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-3486, Tehran-Iran
5. Department of Mining Engineering, College of Engineering, University of Tehran, P.O.Box: 14395-515, Tehran - Iran

Abstract: The study zone is a part of 1:100000 Anarak map which is located in the east of Isfahan province, at 10 km North of Anarak town. The Structures of this Zone is formed in Anarak-Khor region and are affected by the movement toward the north of Arabian plate, and activation of two strike-slip faults (Dorouneh and Biabanak) as a result of the mentioned movement. There is thrust fault in Chahshoureh with the east-west direction. This fault is not only a thrust but also it has during the different duration, dextral component, and then instal components. Polymetal mineralization is restricted to the hanging wall and into vein and veinlet of the listwanites of the study zone. Litswanites are uncommon carbonated rocks that forms from the alteration of ultramafic units and are abundant in silicic-carbonated threads. Ophiolites of this area belong to the ring ophiolites of central Iran. In this study, the direction of an effective paleo-stress field is reconstructed with the collecting data from slickenlines of faults and processing them by using inversion method. Trend and position of principle paleo stress axes are calculated from analysis of slickenlines by using T-tecto3 software, and it is found a that listwanites has formed in a tear fault. As the tectonic regime of the study zone show an iterative model it could be listwanites are forming is the similar way and restricting U- mineralization to their veins and veinlets. Also, according to the same forming, it could be concluded that in the west listwanites we have a poly-metal and U-mineralization.

Keywords: Mineralization of listwanites, Mineralization of Uranium, Chah shoureh

*Email: m_khosravi938@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

کانی‌سازی در حوضه‌های کششی به صورت‌های استوک‌ورک، استراتیفرم و ساختارهای متنوع دیگر شکل می‌گیرند. نه تنها حوضه‌های کششی بلکه کلیه‌ی ساختارهای زمین در پاسخ به تنش‌های موجود در زمین ایجاد می‌شوند. بنابراین با دانستن جهت میدان‌های تنش در طی دوران گذشته‌ی زمین می‌توان فازهای دگرشکلی مرتبط با آن را تعیین نمود. حتی در منطقه‌های برخوردی که فشارش غالب است، کشش نیز می‌تواند به‌صورت محلی ایجاد شود که یکی از نمودهای بارز آن ایجاد گسل پارگی بر روی فرادیواره‌ی گسل معکوس است. این منطقه‌ها می‌تواند محل مناسبی را برای تشکیل لیسونیت‌ها در سنگ‌های اولترامافیک فراهم می‌آورد.

محدوده‌ی معدنی چاه‌شوره در درون افیولیت‌های انارک قرار گرفته است. کانسار چاه‌شوره یک کانسار چندفلزی پنج عنصری (نیکل، کبالت، مس، آرسنیک و اورانیم) است. در محدوده‌ی کانسار، ۸ تونل با طول‌های متفاوت ۱۰ تا ۱۰۰m برای دست‌یابی به ماده‌ی معدنی در داخل منطقه‌های گسله و نیز لیستونیت‌ها حفرشده است؛ دستک، دویل و گزنگ‌های متعددی در طول مسیر تونل‌ها قابل مشاهده است. کانسار در کمر بالای یک گسل معکوس عرضی که در راستای آن سنگ‌های اولترامافیک یادشده بر روی سنگ‌های رسوبی ائوسن رانده شده‌اند، جای‌گرفته است (شکل ۱).

لیسونیت‌ها عضو سرپانتینی مجموعه‌های افیولیتی هستند که تحت تأثیر دگرسانی گرمابی از نوع کربناته‌شدن واقع‌شده‌اند. این سنگ‌ها که به سبب کانی‌شناسی خاص خود به سنگ‌های کوارتز-کربنات [۱] یا مجموعه‌ای سیلیسی- کربنات مشهورند، یکی از مهم‌ترین انواع سنگ‌های حاوی کانی‌سازی طلا، نقره، جیوه، پلاتین، آرسنیک، و آنتیموان در مجموعه‌ی آلتراسیون‌های لیستونیتی در کمربندهای افیولیتی هستند. ظهور اورانیم در افیولیت‌ها به دلیل این‌که ماهیتی کاملاً فوق بازی دارند امری غیرعادی تلقی می‌شود. اما افیولیت‌های حاضر در منطقه‌ی مورد مطالعه حاوی ذغال بوده و از طرف دیگر ظهور لیسونیت‌ها در منطقه منطبق با منطقه‌های گسل پارگی در بخش فرادیواره‌ی گسل معکوس است که نشان‌دهنده‌ی محیطی کاملاً کششی و محیط مناسب در زمینه‌ی جای‌گیری مواد معدنی خاص به خصوص اورانیم است.

افیولیت‌های غرب ایران مرکزی بر دو گونه‌اند: افیولیت‌های مزوزوییک (نایین) و افیولیت‌های پالئوزوییک یا پرکامبرین (انارک- جندق). افیولیت‌های این منطقه جز افیولیت‌های ایران مرکزی و افیولیت‌های پالئوزوییک یا پرکامبرین (انارک- جندق) محسوب می‌شوند [۲]. سن افیولیت‌های ناحیه‌ی انارک و جندق هم‌زمان با پروتروزوییک [۳] یا پالئوزوییک [۴] تعیین شده است.

یکی از روش‌هایی که برای تعیین میدان‌های تنش دیرینه‌ی زمین در طی دوران مختلف زمین‌شناختی استفاده می‌شود، روش وارون‌سازی تنش با استفاده از خش‌لغزهای گسلی است، تعیین تنش قدیمی[1] در سال‌های متمادی توسط پژوهش‌گران متعددی و به روش‌های گوناگون صورت گرفته است. دو دسته روش که بیش‌ترین کاربرد را برای برآورد میدان تنش گسل‌ها دارد توسط دانشمندان پیشنهاد شده است. این روش‌ها شامل: روش‌های نموداری[2] [۵] و دیگری روش‌های عددی [۶] است. روشی که این پژوهش بر مبنای آن پایه‌گذاری شده، استفاده از یکی از روش‌های عددی به نام روش گاوس است که برای بازسازی میدان‌های تنش دیرینه، از تحلیل داده‌ای میدانی خش‌لغز در نرم‌افزار تی- تکتو۳[3] به دست آمده است.

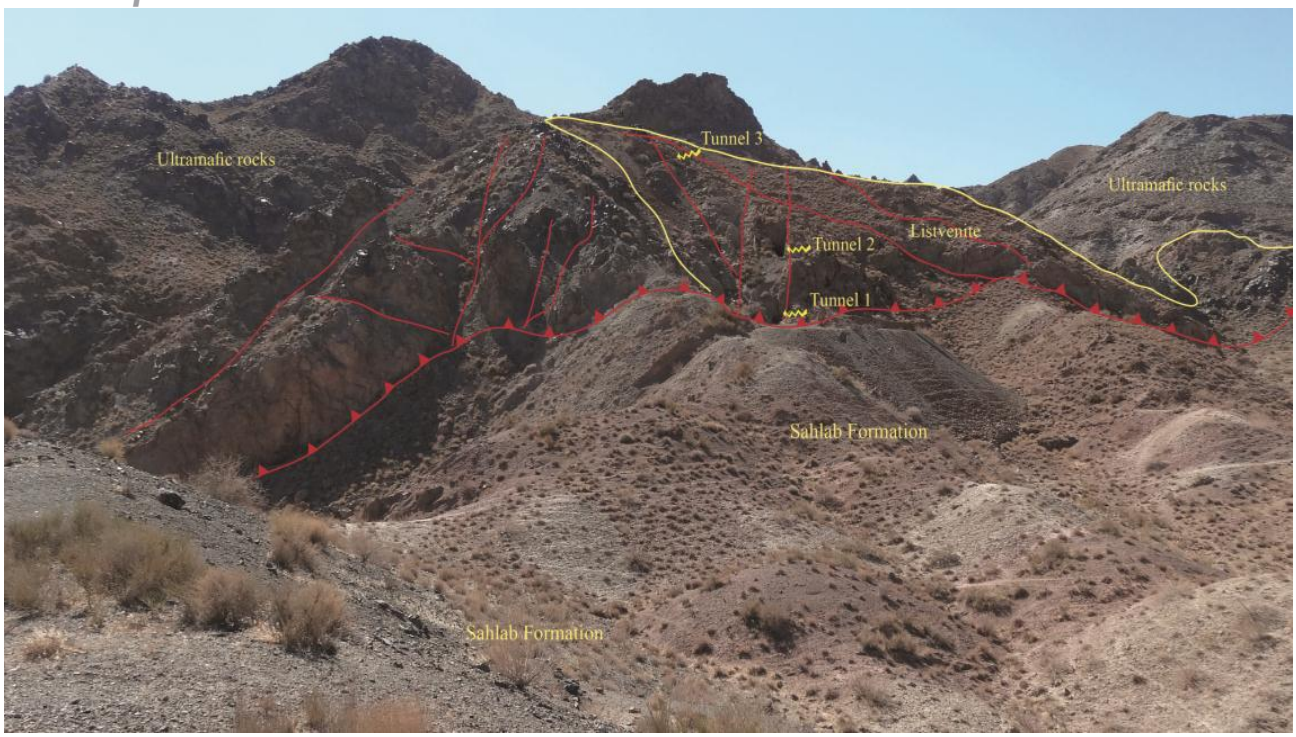
۲. هدف‌های پژوهش

با توجه به ظهور اورانیم در واحد لیسونیتی، ضرورت شناخت نحوه‌ی شکل‌گیری، تکامل و جای‌گیری واحد لیسونیتی لازم است. بنابراین در پژوهش حاضر با استفاده از خش‌لغزهای گسلی، فازهای تنشی با به‌کارگیری روش وارون‌سازی معکوس در منطقه‌ی مطالعاتی تفکیک شد. نتیجه‌های به دست آمده حاکی از آن است که منطقه‌ی لیسونیتی در فرادیواره‌ی یک گسل معکوس، در یک گسل پارگی شکل گرفته و کانی‌سازی مرتبط با اورانیم در گسل اصلی و بخش‌های مرتبط با شکستگی‌های فرعی درون لیسونیت‌ها شکل گرفته‌اند. هم‌چنین بخش بزرگی از لیسونیت‌ها هنوز در عمق هستند و در آینده به سطح خواهند رسید.

1. Paleo stress
2. Graphical methods
3. T-Tecto3

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. رخنمون واحدهای زمین‌شناسی و گسل‌های محدوده‌ی معدنی چاه‌شوره.

۳. روش کار

۱.۳ زمین‌ساختی و ساختار منطقه‌ی انارک

محدوده‌ی چاه‌شوره بین طول‌های جغرافیایی '۲۶ '۴۱ °۵۳ تا '۰۹ '۴۱ °۵۳ و بین عرض‌های جغرافیایی '۴۳ '۲۳ °۳۳ تا '۳۴ '۲۳ °۳۳ قرار دارد و بخشی از منطقه‌ی اکتشافی انارک است که در پهنه‌ی ایران مرکزی و در شمال بلوک یزد واقع شده است (شکل ۲). این منطقه در نتیجه‌ی رخدادهای زمین‌ساختی[1]، چندین فاز دگرشکلی را متحمل شده است. شدیدترین این رخدادها، مربوط به کوه‌زایی کالدونین، سیمیرین و لارامید (اواخر کرتاسه) است. اثرهای این کوه‌زایی‌ها به‌صورت نبودهای چینه‌ای، چین‌خوردگی و فازهای مختلف دگرگونی در منطقه قابل مشاهده است. دگریختی پس از این رخدادها، در کوه‌زایی پیرنه با فعالیت شدید ناحیه‌ای، به صورت تغییر شکل‌هایی از نوع شکننده و شکل‌پذیر ادامه پیدا کرده است. در ائوسن پسین و الیگوسن، ناآرامی زمین‌ساختی در منطقه، همراه با نفوذ توده‌های پلوتونیکی (توده‌ی گرانیتی کال‌کافی) و در میوسن با خروج گدازه به‌صورت گسترده و توده‌های نفوذی کوچک همراه است (واحدهای آتشفشانی چشمه‌ی شیرین).

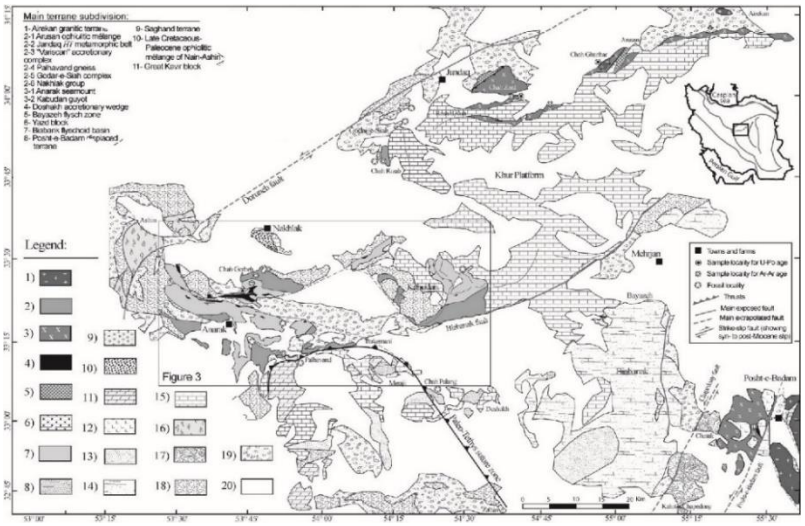
حرکت‌های مربوط به فازهای کوهزایی آلپین، اتریشین و پاسادنین دگریختی‌های منطقه را به سرانجام خود رسانده است. در نهایت می‌توان گفت فشارش ناشی از حرکت زمین‌ساختی متأثر از بسته‌شدن اقیانوس تیتیس قدیمی و تتیس جدید (تغییرات روند محور فشارش با روند شمال غرب- جنوب شرق تا شمالی- جنوبی با کمی انحراف به سمت شرق) باعث ایجاد فازهای مختلف دگرشکلی با روندهای متفاوت در منطقه شده است.

در عین حال، تغییر و جهت‌گیری دوباره‌ی محورهای تنش و تفکیک برداری آن در راستای شکستگی‌های قدیمی، باعث فعال شدن گسل درونه در شمال و گسل بیابانک در جنوب منطقه با سازوکار امتدادلغز چپ‌بر شده است. این تغییرات و سازوکار جدید باعث ایجاد پهنه‌ی برشی راست‌بری بین این دو گسل شده که علاوه بر ریخت‌شناسی و زمین‌ساخت مربوط به یک پهنه‌ی برشی راست‌بر (مجموعه‌ی چین- گسل‌های پلکانی راست‌بر)، باعث ایجاد حرکت چرخشی در بلوک‌های کوچک زمین‌ساختی هنگام تغییر شکل‌های منطقه‌ای شده است (منطقه‌ی برشی راست‌گرد اردکان- کاشان) [۴].

1. Tectonic

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه انارک، جندق و پشت بادام (ایران مرکزی) [۷].

در واقع زمین‌شناسی و زمین‌ساخت پهنه‌ی منطقه‌ی انارک نتیجه‌ی مستقیم تحول‌های زمین‌ساختی اقیانوس پالئوتتیس و نئوتتیس است. این تحول‌های زمین‌ساختی با وقایع کافتش اردویسین- دونین آغازین طی باز شدن پالئوتتیس شروع شده و در تریاس با بسته شدن این اقیانوس قطعه سیمرین با قطعه‌های توران متعلق به اوراسیا متصل شده‌اند. یکی از نتیجه‌های این واقعه‌های زمین‌ساختی در محل برخورد صفحه‌های زمین‌ساختی، وقایع منطقه‌ی انارک است؛ این منطقه از شمال به گسل درونه، از جنوب‌غرب به گسل دهشیر- بافت و از شرق به گسل بیابانک محدود می‌شود (شکل ۲).

با توجه به ارتباط مستقیم کانی‌سازی با کنترل‌کننده‌های ساختاری مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها به همراه فرایند لیستونیتی‌شدن و ایجاد سنگ‌های سیلیسی- کربناته به‌عنوان سنگ میزبان برای کانی‌سازی در محدوده‌ی معدنی چاه‌شوره، در ادامه تاریخچه‌ی تکاملی گسلش به همراه لیستوینیتی‌شدن مورد بررسی قرار می‌گیرد تا ارتباط بین نسل‌های مختلف آن‌ها با کانی‌سازی مشخص شود.

کمربندهای تراستی، منطقه‌های تراکمی- فشارشی قاره‌ای را نشان می‌دهند که توسط ویژگی زمین‌شناختی پیچیده مشخص می‌شوند. در منطقه‌های ساختاری برخوردی، جابه‌جایی شیبی وسیع در گسل‌های مرزی باعث رخنمون پیدا کردن واحدهای سنگی مربوط به پوسته‌ی اقیانوسی در طول آن‌ها شده است. اغلب این سنگ‌ها به‌طور وسیعی دگرشکل و خرد شده‌اند و دارای ویژگی‌های سنگ‌نگاری[1] متفاوت هستند [۸].

موقعیّت‌های متنوع از گوه‌های برهم‌افزایشی حاشیه‌ی فعال فرورانش تا وقایع برخورد و کشش و فشارش مجدد، چندین مرتبه در این منطقه تکرار شده است. مطالعه‌ی دگرشکلی‌ها در مقیاس مختلف، تاریخچه‌ی پیچیده‌ای برای منطقه‌ی پیش‌گفته نمایان می‌سازد. براین اساس، گسل‌های رانشی با سن‌های متفاوت ایجاد شده که قدیمی‌ترین آن‌ها در زمان عملکرد رخداد تریاس فوقانی در نتیجه‌ی برخورد قاره اوراسیا با بلوک سیمرین و بسته‌شدن اقیانوس پالئوتتیس به وجود آمده است [۹]. زمین‌درز این رخداد در جنوب شرق انارک در منطقه پل‌هاوند و بیابانک قابل مشاهده است [۴]. این گسل‌ها دارای امتداد جنوب‌غرب- شمال‌شرق و با جهت راندگی به سمت جنوب‌شرق (به سمت زمین‌درز پالئوتتیس) هستند.

هم‌زمان با بسته‌شدن حوضه‌ی پشت کمان نئوتتیس (اقیانوس سبزوار) در زمان قبل از ائوسن دومین فاز تراستینگ در منطقه به وقوع پیوسته است. این رخداد با راندگی‌هایی با امتداد همراه بوده که به سمت شرق عمدتاً سنگ‌های کرتاسه و ائوسن را به‌طور شکننده دستخوش تغییر و جابه‌جایی قرار می‌دهند. در غرب عشین راندگی‌هایی با شیب به سمت غرب به چشم می‌خورد که لایه‌های کرتاسه- پالئوسن را بر روی سنگ‌های دگرگونی به سمت شرق رانده‌اند. این راندگی‌ها هم‌زمان با فاز دوم تراستینگ در منطقه ایجاد شده‌اند [۹].

1. Petrography

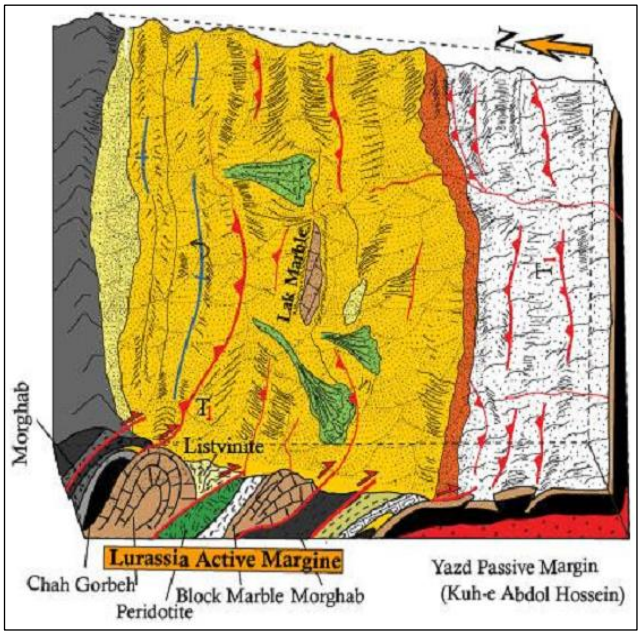
www.SID.ir

Archive of SID

تداوم تنش ناشی از فشارش همگرایی صفحه‌ی عربی با دگرشکلی پیش‌رونده در حوضه‌ی پشت کمان ماگمایی ارومیه- دختر همراه شده و باعث ایجاد راندگی‌های نسل بعدی با روند جنوب‌شرق- شمال‌غرب و شیب به سمت جنوب‌غرب گشته است.

با توجه به سرانجام رسیدن فرورانش (ائوسن- الیگوسن) در اطراف خرده قاره‌ی ایران مرکزی و محصورشدن آن بین بلوک توران در شمال، بلوک افغان در شرق و هم‌چنین صفحه‌ی عربی در غرب و جنوب غرب، سیستم تنش دچار تغییر و بازآرایی دوباره و متعاقب آن تغییر در سازوکار دگریختی در این پهنه شده است.

در این بازآرایی گسل‌هایی با امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غرب (گسل درونه و گسل بیابانک) که جزء شکستگی‌های اولیه بوده سازوکار حرکتی امتدادلغز چپ‌بر داشته و گسل‌هایی با روند شمال‌غرب- جنوب شرق (منطقه‌ی برشی راست‌گرد اردکان- کاشان) که به شکستگی‌های نسل‌های اول محدودشده و متأثر از آن‌ها هستند، مؤلفه‌ی امتدادلغز راست‌بر را نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳. مدل طرحوار در زمان تریاس برای موقعیت زمین‌ساختی و ارتباط واحدهای سنگی ساختاری در منطقه‌ی انارک [۹].

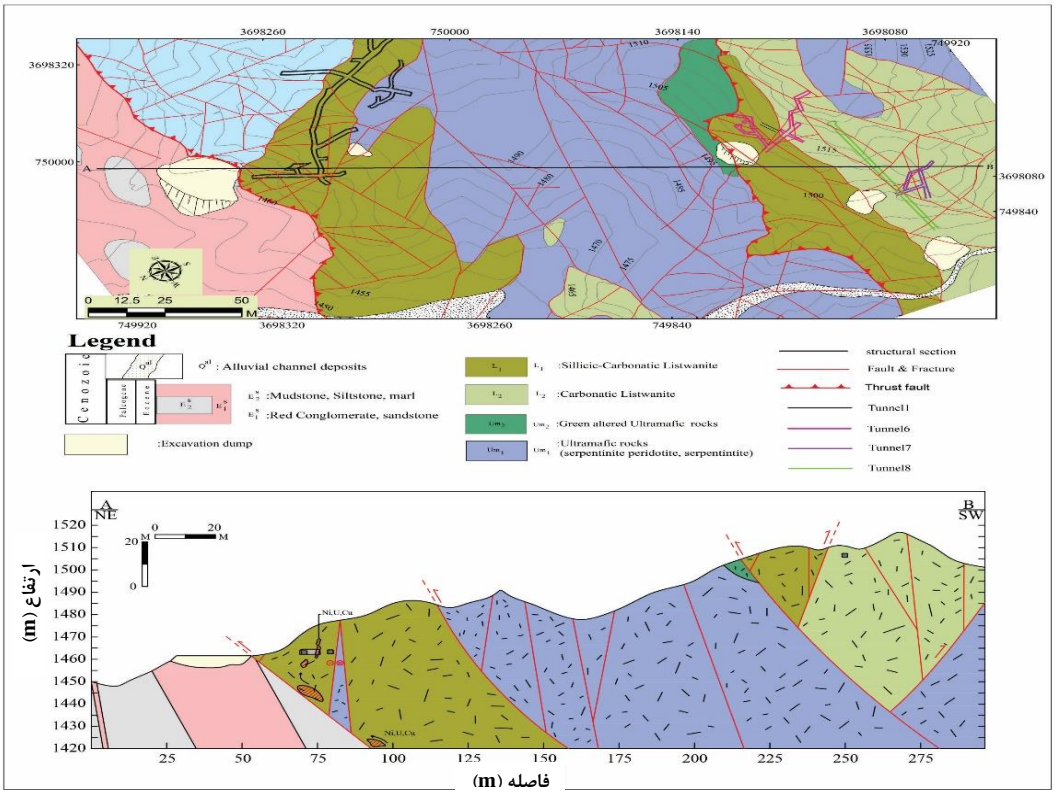
۲.۳ لیستونیت‌های منطقه

از آن‌جا که از تشکیل سنگ‌های دسته‌ی افیولیتی حداقل ۶۰۰ میلیون سال می‌گذرد و در این زمان طولانی، فازهای مختلف زمین‌ساختی و دگرسانی را تجربه کرده‌اند، رخداد فازهای مختلف لیستونیتی‌شدن در منطقه قابل‌انتظار است. در افیولیت‌های انارک دست‌کم سه فاز لیستونیتی‌شدن انتظار می‌رود. اولین فاز لیستونیتی‌شدن مربوط به زمان قبل از نشستن واحدهای منطقه‌ی برافزایشی بر روی پریدوتیت‌ها است. مرمرهای پراکنده‌ای که در دسته‌ی افیولیتی منطقه دیده می‌شود در واقع لیستونیت‌های فاز اول هستند که طی فرایندهای دگرگونی ایجاد و در ادامه‌ی تکامل ساختاری منطقه رخنمون یافته‌اند. فاز دوم لیستوینیتی‌شدن هم‌زمان با دگرشکلی پریدوتیت‌ها بوده و در محل گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی دیده می‌شود. در مورد لیستونیت‌های فاز دوم موجود در افیولیت‌های انارک، باید گفت که محل وجود این لیستوینیت‌ها از محل گسل‌های منطقه تبعیت می‌کنند. جوان‌ترین فاز لیستوینیتی شدن در ارتباط با فرایندهای آتشفشانی ائوسن است که تشدیدکننده‌ی فازهای قبلی لیستونیتی‌شدن در منطقه بوده است. فرایندهای پلوتونیسم و آتشفشانی در ائوسن، الیگوسن و تا حدی میوسن نقش بسیار مهمی در تشکیل لیستوینیت‌های فاز دوم و سوم منطقه داشته است و آن را می‌توان موتور گرمایی تشکیل لیستوینیت‌ها درنظر گرفت.

موقعیت لیستونیت‌ها بروی نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه در شکل ۴ نشان داده شده است. لیستونیت‌ها در رخنمون‌های صحرایی به شکل‌های عدسی و رگه‌ای داخل سرپانتینیت‌ها و یا در همبری‌های زمین‌ساختی آن‌ها با سنگ‌های اطراف دیده می‌شوند. کوارتز و کربنات حاوی Mg-Fe-Ca عمده کانی‌های سازنده‌ی این سنگ‌ها هستند ولی رگه‌های سرپانتین، کروم اسپینل، تالک، کلریت و کانه‌های مختلف نیز در این سنگ‌ها دیده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. مقطع ساختاری محدوده‌ی چاه شوره و کانی‌سازی اورانیم مرتبط با آن.

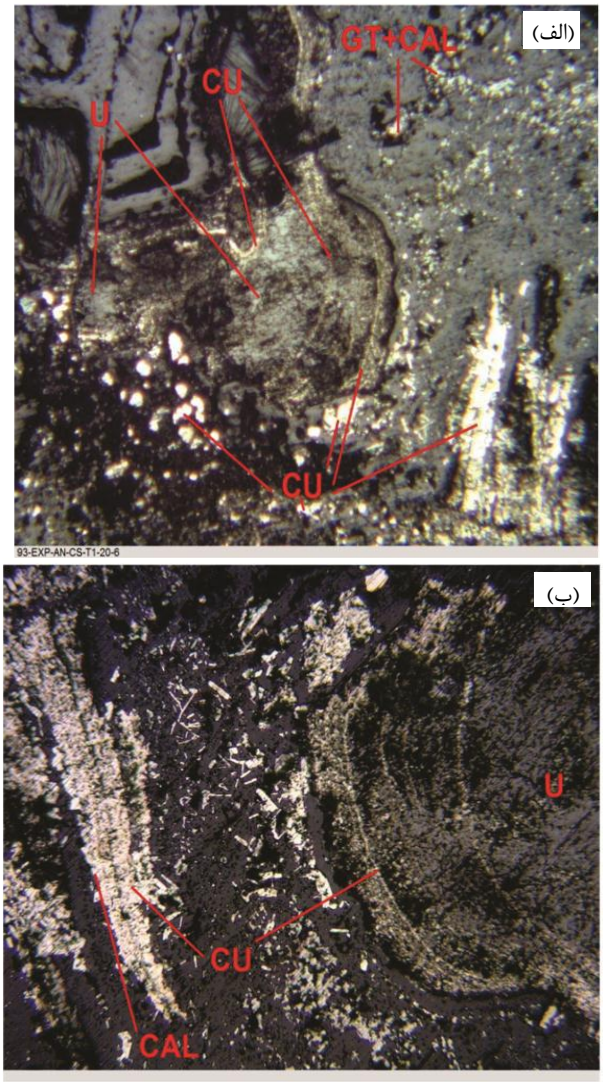
۳.۳ کانی‌سازی اورانیم و چندفلزی در محدوده‌ی معدن چاه شوره

همان‌طور که در مقدمه آورده شد کانسار چاه‌شوره یک کانسار چندفلزی پنج عنصری (نیکل، کبالت، مس، آرسنیک و اورانیم) است. کانسار در فرادیواره‌ی گسل معکوسی با روند شرقی-غربی و شیب به سمت جنوب جای گرفته است که در راستای آن سنگ‌های اولترامافیک بر روی سنگ‌های رسوبی ائوسن (سهلب) رانده شده‌اند. سنگ میزبان کانی‌سازی در منطقه لیستونیت‌های نسل سوم بوده که با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق در سنگ‌های اولترامافیک رخنمون دارند. این روند با روند دو گسل مرزی واحد لیستونیتی مطابقت دارد. بررسی‌های زمین‌شناسی و پرتوسنجی تونل‌های این کانسار نشان می‌دهد که کانی‌سازی چندفلزی در یک منطقه‌ی خرد شده با ضخامت تقریبی نیم تا سه متر تشکیل شده است. کانی‌سازی اورانیم به‌صورت کانی‌های اولیه (اورانینیت) و ثانویه‌ی اورانیم (زرد و سبزرنگ) در دو تونل شمالی (تونل شماره ۱ و ۲) که در محل برخورد لیستونیت‌ها و سنگ‌های اولترامافیک حفر شده‌اند مشاهده می‌شود (شکل ۵). کانی‌سازی اورانیم محدود به رگه‌ها و رگچه‌های لیستونیت است. هم‌چنین در محل کانی‌سازی اورانیم گسل امتدادلغز با امتداد شمالی جنوبی دیده می‌شود. به‌منظور درک بهتر یک مقطع ساختاری در راستای شمال‌شرق- جنوب‌غرب در این محدوده ترسیم شد که محل کانی‌سازی اورانیم و ارتباط آن با ساختارها را نمایش می‌دهد (شکل ۴). براساس تجزیه‌ی عنصری نمونه‌های برداشت شده از کل منطقه، نمونه‌ها عیار بسیار بالایی از آرسنیک را نشان می‌دهند (تا ٪۷٫۵). میانگین عیار نیکل ٪۱٫۲، مس ٪۰٫۳۲ و اورانیم ٪۰٫۱۶ است. در مقاطع نازک صیقلی گرفته‌شده از منطقه‌های پرتوزا بافت باقی‌مانده کوبانیت در کالکوسیت در کنار بلورهای اورانینیت دیده می‌شوند (شکل ۶).

شکل ۵. کانی‌سازی مس و اورانیم در راستای منطقه‌ی خردشده‌ی معدن چاه‌شوره.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. الف) منظره‌ی کلی از اورانینیت و نوارهای کوبانیت، ۵۰ برابر نور عادی پلاریزه؛ ب) اورانینیت درشت و نیمه‌شکل‌دار که ترک‌های آن با رگچه ریزکوبانیت پر شده است، ۱۰۰ برابر نور عادی پلاریزه.

۵.۳ تفکیک فازهای تنش در محدوده‌ی چاه‌شوره

به‌منظور تفکیک فازهای تنش در محدوده‌ی چاه‌شوره، تعداد ۲۵ صفحه‌ی خش‌لغز به همراه ریک و جهت حرکت آن‌ها برداشت شد (شکل ۷) و داده‌ها با نرم‌افزار تی- تکتو۳ تعبیر و تفسیر، و با استفاده از داده‌های صحرایی و داده‌های حاصل از نرم‌افزار، سه فاز برای این محدوده تعیین شد. موقعیت محورهای تنش حاصل از این فازها در جدول ۱ درج شده است. در این جدول موقعیت‌های محورهای تنش برحسب سمت و مقدارهای شیب محورها نسبت به سطح افق درج شده است.

شکل ۷. نمونه‌ای از خش‌لغزهای برداشت‌شده از پیمایش‌های صحرایی.

جدول ۱. موقعیت محورهای تنش بیشنه، متوسط، کمینه

فازهای تنش	محورهای تنش		
	σ_1	σ_2	σ_3
اول	۰۳۴°/۴۸°	۱۷۱°/۳۴°	۲۷۶°/۲۲°
دوم	۳۰۸°/۱۴°	۱۸۲°/۶۷°	۰۴۴°/۱۸°
سوم	۲۳۲°/۱۳°	۰۲۴°/۷۶°	۱۴۱°/۰۷°

فاز اول تنش شامل تنش بیشینه با محور قائم و تنش کمینه با محور شرقی- غربی است، که علت آن شکل‌گیری گسل نرمال به صورت فروریزش کششی[1] است که در اثر فعال شدن گسل تراست ایجاد شده است (شکل ۸).

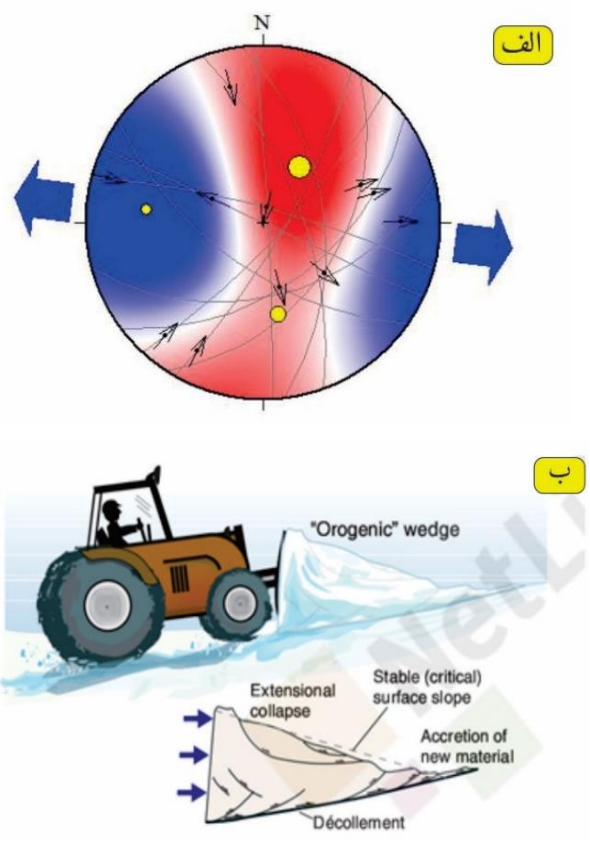
در پاسخ به فاز دوم تنش، گسل تراستی فعال شده و از خود حرکت با مؤلفه‌ی راست‌بر نشان داده که در نتیجه باعث ایجاد یک گسل پارگی در این محدوده شده است. شاهد صحرایی آن را می‌توان پیشروی لایه‌های اولترامافیک غرب لیستونیت‌ها نسبت به شرق آن و هم‌چنین محدود بودن لیستونیت‌ها به بخش گسل پارگی[2] دانست. این فاز تنش مجاری مناسبی برای عبور محلول‌هایی با ناپایداری[3] بالای CO_2[4] و ایجاد واحد لیستونیتی فراهم نموده و هم‌چنین کانی‌سازی چندفلزی را به وجود آورده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). در پاسخ به فاز سوم تنش حرکت راست‌بر، مؤلفه‌ی گسل تراست به حرکت چپ‌بر تغییر جهت داده است که در نتیجه لیستونیت‌ها به شدت تحت تنش قرار گرفته‌اند و شاهد آن را

1. Extensional collapse
2. Tear Fault
3. Fugacity
4. منظور از فوگاسیته بالا تمایل زیاد CO_2 از حالت گاز به جامد و ایجاد کربنات در سنگ

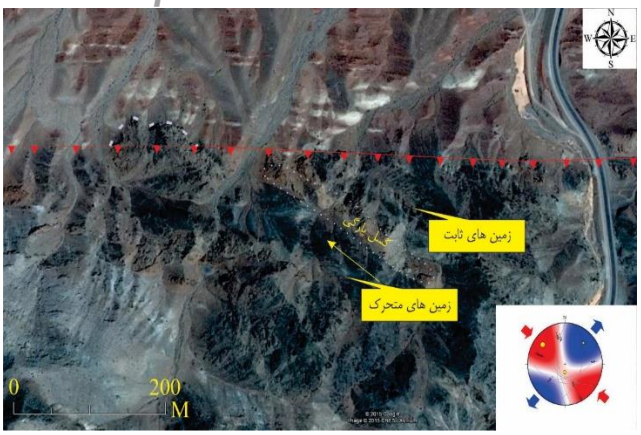
www.SID.ir

Archive of SID

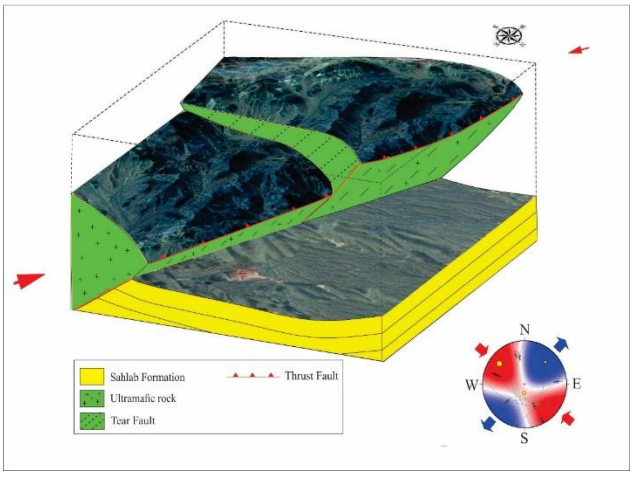
می‌توان مرز دندانه‌دار بین لایه‌ی لیستونیتی و سنگ‌های اولترامافیک در عکس ماهواره‌ای دانست (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) و هم‌چنین چین‌خوردگی رگه و رگچه‌های سیلیسی- کربناته را می‌توان در نمونه‌های دستی مشاهده کرد. شاهد دیگر آن را می‌توان وجود یک گسل امتدادلغز که دقیقاً در راستای محور تنش بیشینه قرار گرفته است، دانست. حوضه کششی ایجاد شده در فاز قبل در محل برخورد که مطابق با گسل پارگی است، برای مدت زیادی قادر به بقا نبوده است. لیستونیت‌ها تحت تأثیر چرخش محورهای تنش، فشار زیادی را متحمل شده‌اند که نتیجه‌ی آن تنگ‌تر شدن و بسته‌شدن مجاری پیشین سیال‌های کانی‌ساز است و در نتیجه فاز اول کانی‌سازی چندفلزی پایان یافته است. این تغییر جهت محورهای تنش باعث ایجاد گسل‌های جدیدی بر روی لیستونیت‌ها شده است که مجاری جدیدی را برای عبور سیال‌های کانه‌ساز فراهم آورده که نتیجه‌ی آن کانی‌سازی اورانیم در گسل‌هایی با روند شمالی- جنوبی است.



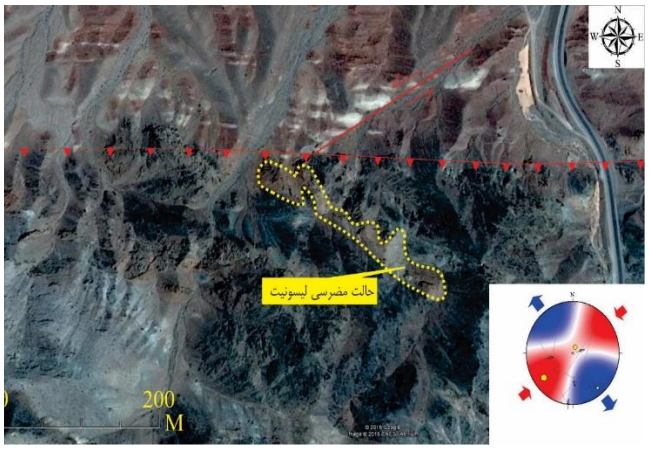
شکل ۸. الف) نمایش استریونت مربوط به فاز اول تنش، ب) مدل تکامل گوه‌ی کوه‌زایی و تشکیل گسل نرمال در رأس آن [۱۰].



شکل ۹. ایجاد گسل پارگی (Tear Fault) در پاسخ به حرکت راست‌بر گسل تراست.



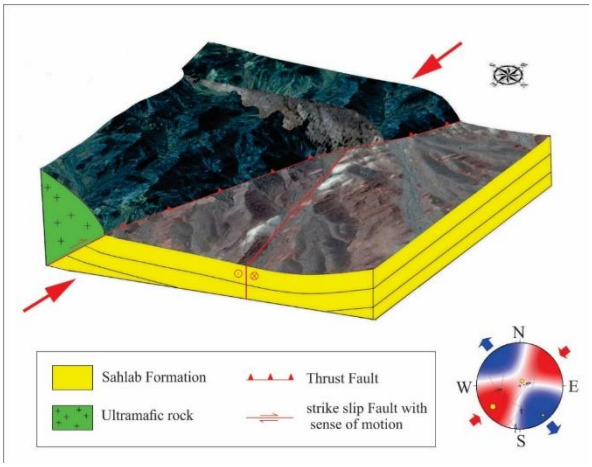
شکل ۱۰. نمایش سه‌بعدی نحوه‌ی ایجاد گسل پارگی (Tear Fault) در فاز اول محدوده‌ی معدن چاه‌شوره.



شکل ۱۱. نمایش حالت مضرسی بین لیستونیت‌ها و سنگ‌های اولترامافیک و وجود گسل چپ‌گرد در پاسخ به فاز دوم تنش.

www.SID.ir

Archive of SID

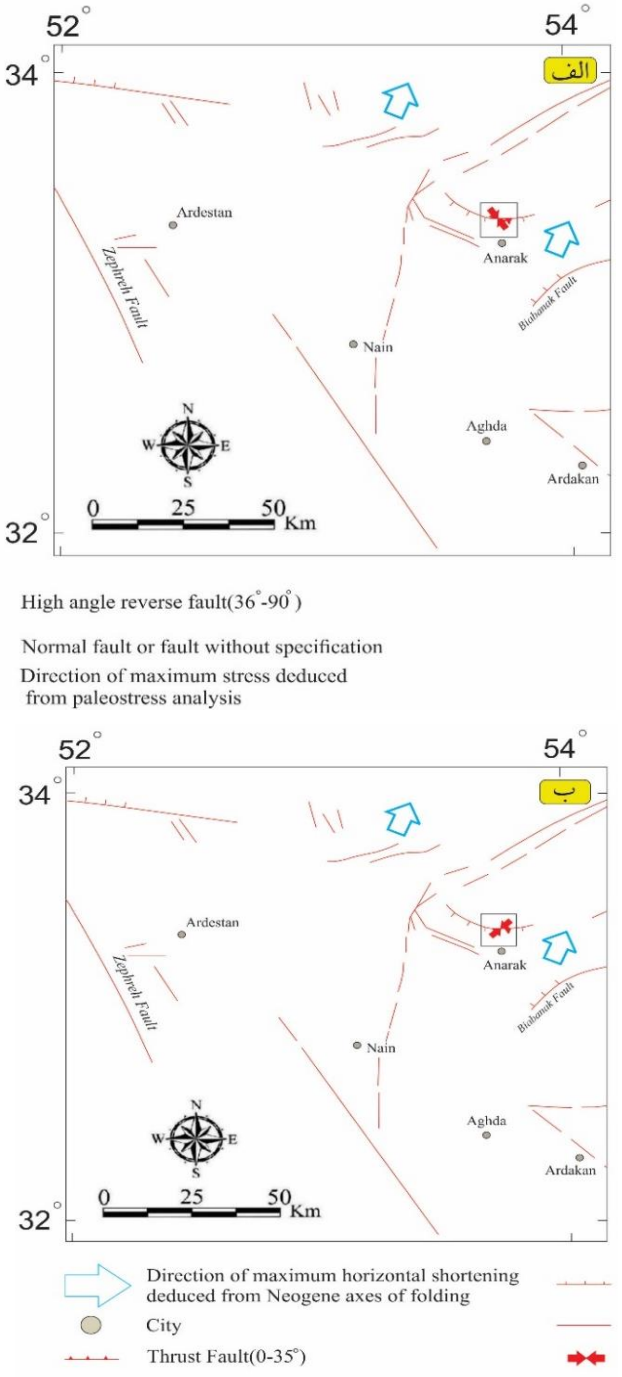


شکل ۱۲. نمایش سه‌بعدی پایان شکل‌گیری و تکامل لیستونیت‌ها بین لایه‌های اولترامافیک در پاسخ به فاز دوم تنش.

با توجه به هوازدگی شدید سنگ‌های اولترامافیک و برداشت خش‌لغزها از این سنگ‌ها و هم‌چنین با در نظر گرفتن این نکته که جدیدترین فاز لیستونیتی‌شدن در منطقه‌ی انارک در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن بالایی دانسته شده می‌توان نتیجه گرفت که شروع کانی‌سازی اورانیم در لیسونیت‌ها محدوده به سن ائوسن بالایی (تشکیل گسل پارگی) است و تکامل آن را احتمالاً باید در فعالیت‌های آتشفشانی میوسن یا بعد از آن دانست.

۶.۳ علل چرخش محورهای تنش در محدوده‌ی معدن چاه شوره

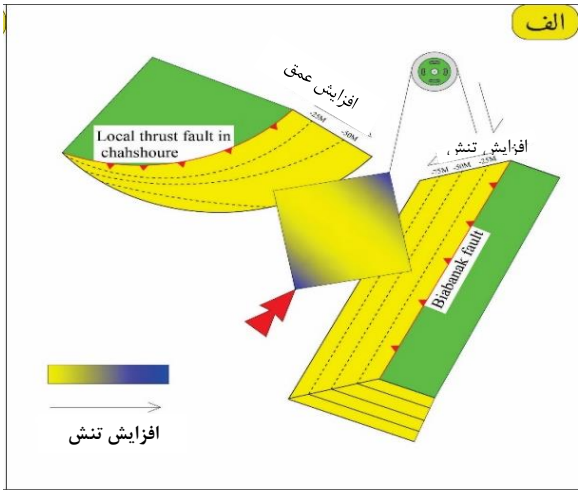
جهت بیشینه‌ی کوتاه‌شدگی افقی نتیجه گرفته شده از محور چین‌ها نشان می‌دهد که راستای تنش بیشینه در این منطقه شمال شرق- جنوب غرب است که متأثر از حرکت صفحه‌ی عربی رو به سمت شمال است [۱۱] (شکل ۱۳). در نتیجه‌ی عملکرد این میدان تنش، گسل بیابانک فعال‌شده است و اثرهای آن در محدوده‌ی چاه‌شوره باعث فعال‌شدن گسل تراست شده که هم‌زمان با آن حرکت ابتدایی راست‌بَر روی داده است و در نتیجه گسل پارگی در این محدوده تشکیل شده است، بعد از تخلیه‌ی تنش، میدان تنش به سمت محور فشارش اصلی منطقه تغییر جهت داده و گسل تراست دارای مؤلفه‌ی حرکت چپ‌بَر شده است. علت این تغییر محورهای تنش را می‌توان در مدل زیر دید (شکل ۱۴). وقتی بلوک مربعی به سمت بالا حرکت می‌کند تنش عمدتاً به صورت شمال شرق- جنوب غرب است (شکل ۱۴-الف) تا این‌که بلوک مذکور در بین سطوح گسلی محبوس می‌گردد و جهت تنش بیشینه شروع به چرخش می‌کند و روند آن شمال غرب- جنوب شرق می‌گردد. هنگامی که تنش از حد خاصی فراتر می‌رود گسل‌ها فعال گردیده و نتیجه آن تخلیه تنش روی می‌دهد و دوباره جهت تنش به حالت اول بر می‌گردد. عمل چرخش تنش می‌تواند باعث الگوها و حوادث تکراری در این منطقه گردد.

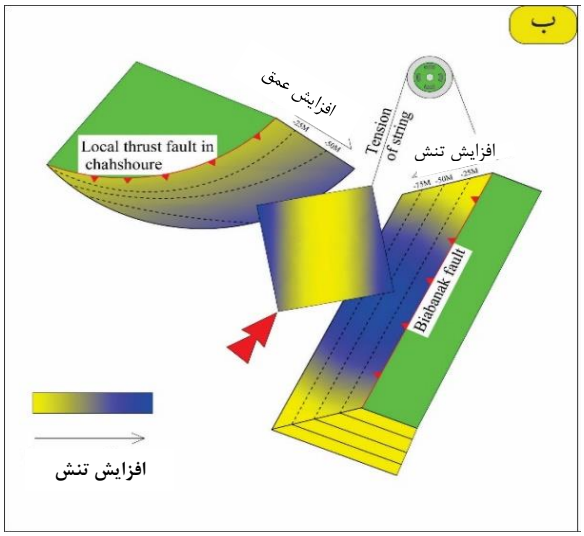


شکل ۱۳. نقشه‌ی ساختاری خاور تا شمال خاور اصفهان (اقتباس از [۱، ۲]، الف) حرکت صفحه‌ی عربی به سمت شمال در منطقه‌ی انارک باعث تغییر جهت در میدان تنش و حرکت راست‌بَر گسل این محدوده شده است، ب) بعد از تخلیه‌ی تنش دوباره، جهت میدان تنش به حالت اول خود برگشته و حرکت پهنه به‌صورت چپ‌بر تغییر جهت داده است.

www.SID.ir

Archive of SID





شکل ۱۴. نمایش تنش بیشینه بر روی صفحه‌ی مربعی و سطح‌های گسل؛ الف) قبل از محبوس ماندن صفحه‌ی مربعی بین صفحه‌های گسلی، ب) محبوس ماندن صفحه‌ی گسلی بین دو سطح گسل و تغییر جهت تنش بیشینه

۷.۳ ارتباط بین لیستونیت‌های چاه‌شوره با تغییر جهت میدان تنش

در این محدوده به طور کلی دو لیستونیت با امتداد تقریباً موازی با هم شکل گرفته‌اند (شکل ۱۵). با توجه به سازوکارهای ذکرشده در قسمت قبل می‌توان نتیجه گرفت که لیستونیت‌های قدیمی‌تر نزدیک معدن نیز به‌طور مشابه با لیستونیت‌های جدید در یک گسل پارگی شکل یافته‌اند و چون کانی‌سازی اورانیم در تونل‌های چاه‌شوره محدود به رگه و رگچه‌های لیستونیت است، انتظار می‌رود که در لیستونیت‌های قدیمی نیز کانی‌سازی اورانیم شکل گرفته باشد. احتمال می‌رود که لیستونیت‌های قدیمی‌تری هم در مرز بین گسل تراست و اولترامافیک‌ها وجود داشته باشند که در حال حاضر مدفون شده‌اند (شکل ۱۵).

شکل ۱۵. قرارگیری لیستونیت‌های قدیمی در کنار لیستونیت‌های معدن چاه‌شوره و پیش‌بینی محل قرارگیری لیستونیت‌های آینده.

۴. نتیجه‌گیری

محدوده‌ی معدنی چاه‌شوره در درون افیولیت‌های انارک قرار دارد. کانسار چاه‌شوره یک کانسار چندفلزی پنج عنصری (نیکل، کبالت، مس، آرسنیک و اورانیم) است. در محدوده‌ی کانسار، ۸ تونل با طول‌های متفاوت ۱۰ تا ۱۰۰m برای دست‌یابی به ماده‌ی معدنی در داخل منطقه‌های گسله و نیز لیستونیت‌ها حفر شده است؛ دستک، دویل و گزنگ‌های متعددی در طول مسیر تونل‌ها قابل مشاهده است. کانسار در کمر بالای یک گسل معکوس عرضی که در راستای آن سنگ‌های اولترامافیک گفته‌شده بر روی سنگ‌های رسوبی ائوسن رانده شده‌اند، جای گرفته است. کانی‌سازی اورانیم به‌صورت کانی‌های اولیه (اورانینیت) و ثانویه‌ی اورانیم (زرد و سبزرنگ) در دو تونل شمالی (تونل شماره ۱ و ۲)، که در محل برخورد لیستونیت‌ها و سنگ‌های اولترامافیک حفر شده‌اند، مشاهده می‌شود.

نمونه‌های برداشت‌شده عیار بسیار بالایی از آرسنیک را نشان می‌دهند (تا ٪۷٫۵) هم‌چنین میانگین عیار نیکل ٪۱٫۲، مس ٪۰٫۳۲ و اورانیم ٪۰٫۱۶ است. در مقطع‌های نازک صیقلی گرفته‌شده از منطقه‌های پرتوزا بافت باقی‌مانده کوبانیت در کالکوسیت در کنار بلورهای اورانینیت دیده می‌شوند. با استفاده از نتیجه‌های حاصل از تحلیل خش‌لغزهای گسلی، میدان‌های تنش دیرینه‌ی مؤثر برای این منطقه درطی دوران‌های مختلف زمین تعیین شد که براساس آن علت وجودی گسل پارگی و حرکت‌های امتدادلغز مرتبط با گسل تراست مشخص، و تحلیل

www.SID.ir

Archive of SID

کاملی از علل وجودی نیروهای این منطقه بیان شد. هم‌چنین مدلی بر مبنای چرخش میدان تنش ارایه شد که بر مبنای آن الگوهای تکراری و متناوب در این منطقه تشخیص داده شد. لیستونیت‌های جدید دارای کانی‌سازی اورانیم و چندفلزی هستند و با در نظر گرفتن این نکته که لیستونیت‌های قدیمی به طریقی مشابه با لیستونیت‌های جدید شکل گرفته‌اند و هم‌چنین با توجه به این نکته که کانی‌سازی اورانیم محدود به رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی کربناته است، می‌توان نتیجه گرفت که توده‌ی نفوذی لیستونیتی قدیمی در منطقه نیز دارای کانی‌سازی اورانیم و چندفلزی است و پیشنهاد می‌شود که بر روی توده‌ی لیستونیتی قدیمی‌تر نیز طرح‌های تکمیلی‌تری تعریف شود.

مراجع

1. M. Auclair, et al, *Mineralogy, geochemistry, and paragenesis of the Eastern Metals serpentinite-associated Ni-Cu-Zn Deposit*, Quebec Appalachians. Economic Geology, **88**, 123-138 (1993).
2. Gh. Torabi, *The reasons for chromite composition differences in Naein-Ashin ophiolites and their absence in Anarak ophiolites*, Journal of Petrology, Second Year, **7**, 1-20 (1390).
3. M. Almasian, *Tectonic of the anarak area (Central Iran). Ph.D. thesis, Islamic Azad University*, Science and Reaserch Branch, Tehran, Iran (1997).
4. S. Bagheri, *The exotic Paleo-tethys terrane in Central Iran: new geological data from Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam areas. Ph.D. thesis, Faculty of Geosciences and Environment*, University of Leusanne, Switzerland (2007).
5. J. Angelier, P. Mechler, *Sur une méthode graphique derecherche des contraintesprincipales égalment utilisable en tectonique et en seismologie: La méthode desdièdres droits.* Bulletin Société Géologique de France, **19,** 1309–1318 (1977).
6. J. Angelier, *Tectonic analyses of fault slip data sets.* Journal of Geophysical Research, **89**, 5835–5848 (1984).
7. S. Bagheri, G.M. Stampfli, *The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: New geological data, relationships and tectonic implications*. Tectonophysics, **451**(1-4), 123– 155 (2008).
8. O. Lacomb, et al, *Thrust belts and foreland basins*, Speringer-Verlag Berlin Heidelberg, 491 (2007).
9. T. Salari, S. Bagheri, *Geotectonic analysis of multiple phases of trasting in Anarak region (Central Iran).* 30th Symposium of Geosciences (1390).
10. H. Fossen, *Structural geology*, Cambridge university press. 324 (2010).
11. M. Berberian, *The first 1: 2500000 earthquake map of Iran*, Geological Survey of Iran (1976).

www.SID.ir