



## بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



امکان‌سنجی استفاده از دیاتومیت های سهند به‌عنوان فیلتر در کاهش آلاینده‌گی شیرابه مرکز دفن زباله تبریز

سیدغفور علوی<sup>۱</sup>، محسن موبد<sup>۲</sup>، امیرمحمد عبدالنژاد<sup>۳</sup>، حانیه جوادپور\*

۱. استادیار، زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۲. استاد، پترولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

۳. استادارهنما، زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

\* کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

### مقدمه

پساب مواد آلی و معدنی محلول یا معلق و ترکیبات موجود در زباله‌های انباشته‌شده بر روی هم به‌مرور با یکدیگر واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی انجام داده و منجر به تولید مایع قهوه‌ای‌رنگ می‌شود که شیرابه گفته می‌شود که علاوه بر آب زباله‌ها، ورود آب باران و آب حاصل از واکنش‌های بیولوژیکی در زباله‌ها در تشکیل شیرابه مؤثر بوده که دارای حجم زیادی از مواد آلی (مانند مواد الکل‌ها)، ترکیبات غیر آلی (مانند فلزات و نیتروژن آمونیومی) و انواع میکروب‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها را دارا می‌باشند. فاکتورهای اصلی برای معین کردن میزان آلاینده‌گی شیرابه محل دفن پسماند شهری شامل: COD (اکسیژن خواهی شیمیایی)، BOD (اکسیژن خواهی بیولوژیکی)، TDS (مواد جامد محلول)، TSS (مواد جامد معلق)، آمونیوم، فلزات سنگین، ترکیبات آلی خطرناک و نمک‌ها می‌باشند.

گزینه‌های مختلف زیادی جهت تصفیه شیرابه از جمله روش‌های پیچیده و گران‌قیمت مانند فرآیندهای فیزیکی شیمیایی تا بیولوژیکی برای تصفیه مواد آلی و معدنی وجود دارد. ولی هریک از فرآیندها محدودیت‌هایی از لحاظ فنی و اقتصادی دارند. ولی همچنان نیاز به روشی جایگزین برای نتیجه بهتر و استفاده آسان‌تر به چشم می‌خورد. روش جذب، بالاخص با استفاده از جاذب‌های ارزان‌قیمت با کارایی بالا که به‌سادگی قابل‌اجرا بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه است. جاذب‌هایی که به فراوانی یافت شده و در دسترس بوده و هزینه آماده‌سازی آن پایین می‌باشد؛ همچنین روش منعقد کننده در تصفیه‌ی آب و فاضلاب بسیار رایج بوده و استفاده از این مواد روبه افزایش است که دلیل این امر، سادگی، هزینه کم و عمدتاً کارایی بالای این مواد در حذف خوب و آسان کدورت، مواد معلق و فلزات از محلول آبی و آماده‌سازی و پردازش جهت تصفیه در مراحل بعدی می‌باشد؛ بنابراین ترکیب این دو فرآیند ممکن است یک فناوری نویدبخش برای پیش تصفیه شیرابه باشد.

دیاتومیت که به‌عنوان خاک دیاتومه هم شناخته می‌شود یک رسوب نرم طبیعی با منشأ زیستی و متخلخل، سازگار با محیط‌زیست است که اساساً حاوی سیلیکات هیدراته و آمورف، مشابه اوپال یعنی به‌صورت  $(SiO_2 \cdot nH_2O)$  می‌باشد، اما بخشی از آن حاوی آلومینا (آلومینیوم اکسید) است. دیاتومیت معمولاً از بقایای فسیلی موجودات آبی به نام دیاتومه (جلبک تک‌سلولی دریایی پوسته سخت) تشکیل می‌گردد. دیاتومیت دارای ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی مناسبی نظیر فضاهای خالی (۹۰ تا ۸۰ درصد)، اندازه کوچک ذرات، مساحت سطح ویژه مناسب (۱۶ تا ۷۰ مترمربع بر گرم) و ظرفیت جذب قابل قبول از آلاینده‌ها می‌باشد. در این تحقیق از دیاتومیت کلسینه و آلومینیوم سولفات برای پیش تصفیه شیرابه استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

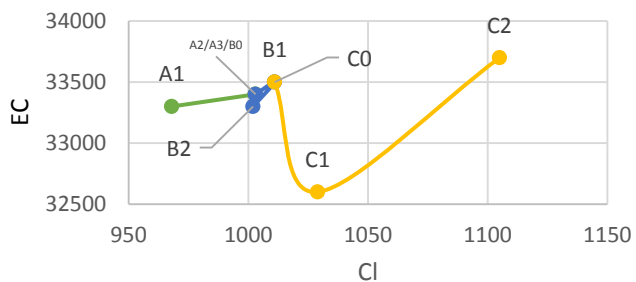
نمونه برداری شیرابه‌ی استفاده‌شده در این تحقیق به‌صورت تصادفی و از شیرابه‌ی حاصل از زباله‌های دفن شده در سایت دفن زباله‌ی تبریز واقع در آناختون در ۱۳ کیلومتری شمال غرب تبریز در نزدیکی کوموروچای صورت پذیرفت. که با استفاده از جاذب دیاتومیت کلسینه و انعقاد کننده‌ی آلومینیوم سولفات مورد تصفیه قرار گرفت. به‌طور کلی آزمایش‌های انجام‌شده در این تحقیق شامل بر دو مرحله است. بخش اول آزمایش شامل ارزیابی عملکرد جاذب بر روی آلاینده، تحت تأثیر سه پارامتر زمان (۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه)، دما (۲۰، ۴۵ و ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد) و مقدار جاذب (۱۰٪، ۵٪ و ۲۰٪ شیرابه) و مشاهده رنگ حاصل از عبور محلول از کاغذ صافی و بخش دوم آزمایش شامل ارزیابی عملکرد رسوب‌دهنده به‌اضافه‌ی جاذب تحت تأثیر پارامتر PH.

### نتایج آزمایشگاهی تست جاذب و تفسیر نتایج اولیه

کد A نشانگر متغیر مقدار جاذب به ترتیب به میزان ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ وزنی شیرابه، کد B نشانگر زمان اختلاط جاذب و شیرابه به ترتیب به میزان ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و کد C نشانگر متغیر دمای انجام آزمایش به ترتیب به میزان ۲۰، ۴۵ و ۶۰ درجه سانتی گراد می باشد. با توجه به نمودارهای رسم شده طبق نتایج آزمایشگاهی، متغیرهای بهینه برای تصفیه شیرابه به صورت عملیاتی و آزمایشگاهی، مقادیر ۱۰٪ جاذب دیاتومیتی در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و زمان اختلاط ۱ ساعت بهینه شناخته شد. باید در نظر داشت که شرایط عملیاتی در حالت تصفیه شیرابه از لحاظ اقتصادی و امکان سنجی عملیاتی مقرون به صرفه و قابل انجام باشد، لذا مقادیر انتخاب شده از هر دو لحاظ بهینه بوده و قابلیت بست به ادامه طرح را دارا می باشد.

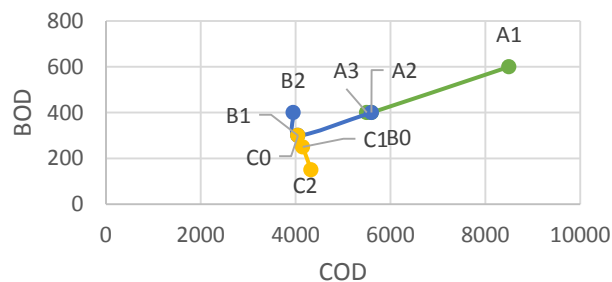
### نتایج و محک ماده رسوب دهنده و ماده جاذب و تفسیر نتایج

کد نمونه D نشانگر مقدار متغیر رسوب دهنده به ترتیب به میزان ۲٪ و ۱٪ در pH=9 (خود شیرابه) و کد E نشانگر مقدار متغیر رسوب دهنده به ترتیب به میزان ۲٪ و ۱٪ در pH=7 می باشد. نمودارهای رسم شده در بررسی تأثیر مقادیر متغیر رسوب دهنده و pH شیرابه نشان دهنده تأثیر منفی کاهش pH در تصفیه شیرابه توسط رسوب دهنده و جاذب دیاتومیت کلسینه است. تفسیر نمودارهای رسم شده در بهینه یابی میزان متغیرهای مورداستفاده، بهترین نتیجه را در میزان ۲٪ رسوب دهنده و pH=9 (خود شیرابه) نشان می دهد.



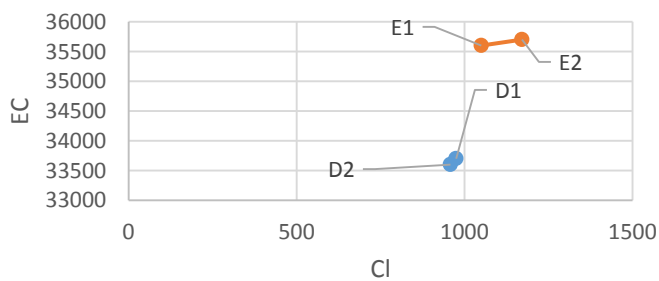
adsorbent Time Temp

مقایسه تاثیر مقادیر جاذب، زمان، دما در میزان EC و Cl



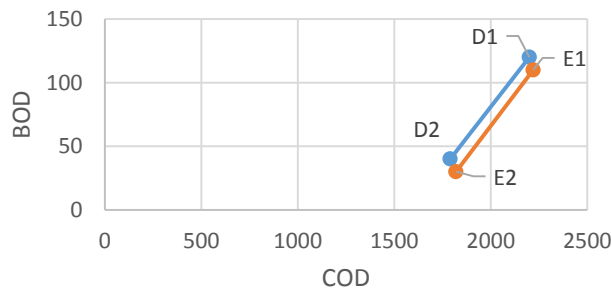
adsorbent(g) time temp

مقایسه تاثیر مقادیر جاذب، زمان، دما در میزان COD و BOD



pH=9 pH=7

مقایسه تاثیر متغیرهای مقادیر رسوب دهنده و pH در میزان EC و Cl



pH=9 pH=7

مقایسه تاثیر متغیرهای مقادیر رسوب دهنده و pH در میزان COD و BOD



## بررسی ضریب همبستگی و زمین شیمی عناصر کمیاب و جزئی (TTE) کانسار گل گهر و تعیین منشا تشکیل ذخیره آهن

رضا جلیلی\*<sup>۱</sup>، علی عابدینی<sup>۲</sup>، سیده راضیه صفری<sup>۳</sup>

\*۱- کارشناس ارشد گروه فنی و مهندسی شرکت صنایع و معدنی شهاب سنگ، تهران، ایران

۲- استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳- ارشد تکتونیک، گروه زمین شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

reza\_jalili\_s97@yahoo.com

### نتایج

با توجه به مطالعات و بررسی های انجام شده در رابطه با عناصر کمیاب در معدن شماره ۱ گل گهر، عناصر فلزات واسطه یا عناصر با خاصیت عبوری جزئی (Trace-transition elements) TTE (باتوجه به جدول ضریب همبستگی عناصر، با یکدیگر و با بقیه عناصر، همبستگی معناداری از خود نشان نمی دهند. مقایسه عیار عناصر واسطه به دلیل رفتار شیمیایی آن ها و روابط آن ها با بعضی عناصر در کانسارهای مختلف آهن، راهکاری مناسب جهت بررسی منشأ یک ذخیره آهن می تواند به شمار آید (Nystrom and Henriquez, 1994). در کانسنگ های کانسار گل گهر میزان عناصر نادر خاکی از فراوانی کمی برخوردار بوده و همبستگی شدیدی با فسفر از خود نشان می دهند که شاید به دلیل یکسان بودن منشا آن ها با هم باشد. میزان عنصر Eu نیز کاهش یافته که می تواند نشانگر تغییر ترکیب کانی شناسی از پلاژیوکلاز به سمت کانی های دگرسان شده ای همچون سرسیت باشد. بی هنجاری منفی Eu،  $Eu/Sm < 1$  و  $La/Lu > 1$  به همراه غنی شدگی عناصر LREE نسبت به عناصر HREE و مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی در ذخیره آهن گل گهر و ذخیره گرمابی جهان نشان دهنده ویژگی گرمابی ذخیره آهن گل گهر می باشد. جایگاه نمونه های کانسنگ گل گهر در نمودار Ni-Co در محدوده ذخایر گرمابی قرار می گیرد که موقعیت نمونه های منطقه گل گهر کاملاً با منشا گرمابی تطبیق دارد.

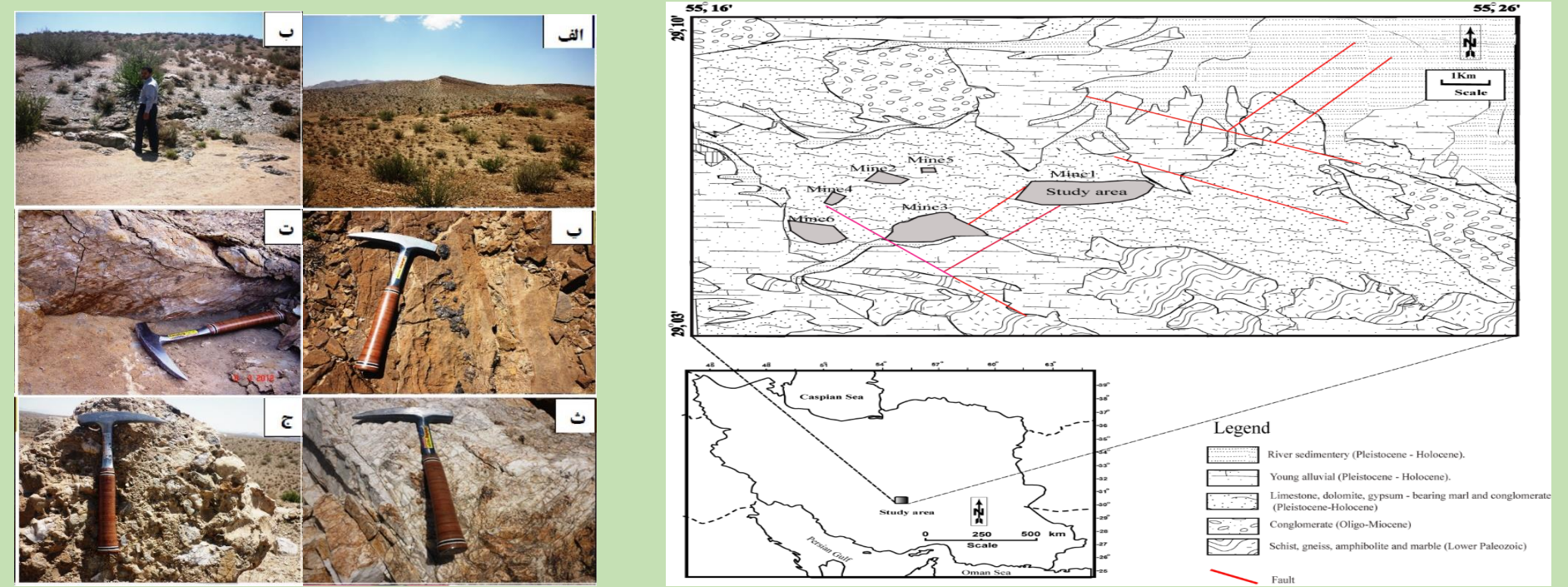
### منابع

افتخارزاد، ج.، ۱۳۵۹. تفکیک بخش های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه های مختلف. نشریه نفت ایران ۸۲، ۱۹-۲۶.  
حلاجی، ا.، ۱۳۷۰. مطالعه کانی شناسی عناصر کمیاب و منشا کانسار گل گهر. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۷۹ ص.  
سبزهئی، م.، افروز، ع.، ۱۳۷۴. کالبد زمین شناختی کانسار سرب و روی چاه تلخ (سعید آباد) سیرجان و ارائه برنامه اکتشاف نیمه تفصیلی و تفصیلی آن و پی جویی سراسری سرب و روی ایران. وزارت صنایع و معادن و فلزات، شرکت معدنی و صنعتی گل گهر.  
عسگری، م.، ۱۳۸۷. بررسی توزیع ابعادی، نوع درگیری و خصوصیات کانی شناسی کانسنگ و باطله در معدن شماره ۱ مجتمع سنگ آهن گل گهر. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، ۱۵۲ ص.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211-238.  
Bajwah Z.U., Secombe P.K., Offler R., 1987. Trace element distribution, Co: Ni ratios and Genesis of the Big Cadiaron-copper deposit, New South Wales, Australia. *Mineralium Deposita* 22, 292-300.  
El habaak, G.H., 2004. Pan African skarn deposits related to banded iron formation UM-Nar area, Central eastern desert, Egypt. *Journal of African Earth Science* 35, 199-221.  
Fazlina, A., Moradian, A., Rezaei, K., Moazzen, M., and Alipour, S., 2007. Synchronous Activity of Anorthositic and S-type Granitic Magmas in Chah-Dozdan Batholith, Neyriz, Iran: Evidence of Zircon SHRIMP and Monazite CHIME Dating *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 18(3): 221-237.  
Frietsch, F., Perdahl, J.A., 1995. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types. *Ore Geology reviews* 9, 489-510.  
Jenner, G.A., 1996. Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry, In: *Applications for Massive Sulfide Exploration Short Course Notes*, Geological Association of Canada, 12, 51-77.  
Kupeli, S., 2010. Trace and rare earth element behavior during alteration and mineralization in the Atepe iron deposits (Feke-Adana, southern Turkey). *Journal of Geochemical Exploration* 105, 51-74.  
Mckenzie, R.M., 1980. The adsorption of Pb and other heavy metals on oxides of Mn and Fe. *Australian Journal of Soil Reviews* 18, 61-73.  
Nystrom, J.O., Henriquez, F., 1995. Magmatic features of iron ore of the kiruna type in the Sweden. *Geoderma* V.74, p.21-35.  
Robb, L., 2005. *Introduction to ore-forming processes*. Blackwell publishing.  
Shaw, D.M., 1964. *Interpretation Geocheique des elements en trace dans Lesroches crissallines*, Masson, Paris.  
Sparks, D.L., 1995. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, New York, 267p.  
Taylor, S.R., 1965. The application of trace element data to problems in petrology, in *physics and geochemistry of earth* 6, 133-213. tetrad effect: evidence from the Shuiquangou alkaline syenite complex, Hebei Province, China. *Chinese Science Bulletin* 55, 2684-2696.  
Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontbote, L., De Haller, A., Mark, G., Yamamoto, K., Itoh, N., Matsumoto, T., Tanaka, T., Adachi, M., 2004. Geochemistry of Precambrian carbonate intercalated in pillows and its host basalt: implications for the REE composition of circa 3.4 Ga seawater. *Precambrian Research* 135, 331-344.

### مقدمه

ناحیه معدنی سنگ آهن گل گهر در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سیرجان در استان کرمان واقع می باشد. این ناحیه شامل شش توده معدنی است و دارای بیشترین ذخیره سنگ آهن در کشور است. مختصات جغرافیایی این ناحیه شامل طول ۱۵' ۵۵° تا ۲۴' ۵۵° شرقی و عرض ۳' ۲۹° تا ۷' ۲۹° شمالی می باشد. شهر سیرجان به صورت تقریبی در مرکز مثلی است که رئوس آن را شهرهای کرمان، شیراز و بندر عباس تشکیل می دهند (عسگری، ۱۳۸۷). محدوده معدن در چهار گوش ۱/۱۰۰۰۰۰ گل گهر در زیر پوششی از آبرفت های کواترنر قرار دارد. کمر بند سندج- سیرجان در مجموعه ساختمانی قرار دارد که حاصل عملکرد پیچیده ای از جدایش مزوزوئیک آغازین بلوک قاره ای ایران از سرزمین گندوانا است که بعداً به وسیله فرورانش پوسته اقیانوسی نتوتیس به زیر پوسته ایران و عربی رانده شده است. سنگ های پالئوزوئیک شامل کمپلکس گل گهر بوده که این مجموعه قدیمی ترین مجموعه دگرگونی این منطقه را تشکیل می دهد. ذخایر ۶ گانه سنگ آهن گل گهر در این کمپلکس دگرگونی قرار گرفته است که بخش تحتانی این کمپلکس شامل تناوبی از گنیس، میکاشیست، آمفیولیت و کوارتزشیست می باشد. که در مواردی گدازه های اولترامافیک نیز دگرگون شده است (حلاجی، ۱۳۷۰). از نظر ساختمانی در ناحیه معدن گل گهر ۴ سری گسل عمده وجود دارد که از آن میان گسل های شمال باختری - جنوب خاوی و گسل های شمالی - جنوبی بارزتر هستند (عسگری، ۱۳۸۷).



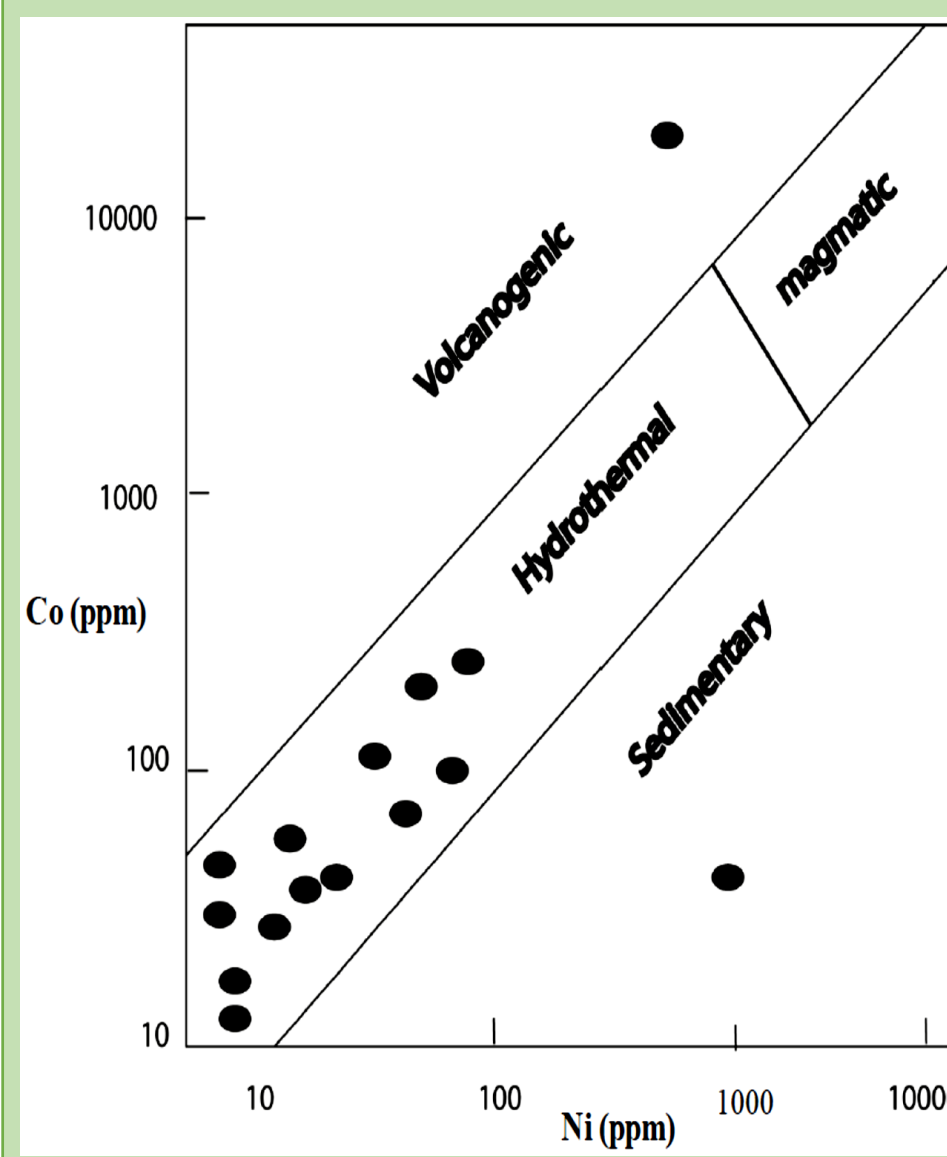
شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه. برگرفته از افتخارزاد (۱۳۵۹) با اندکی تغییرات



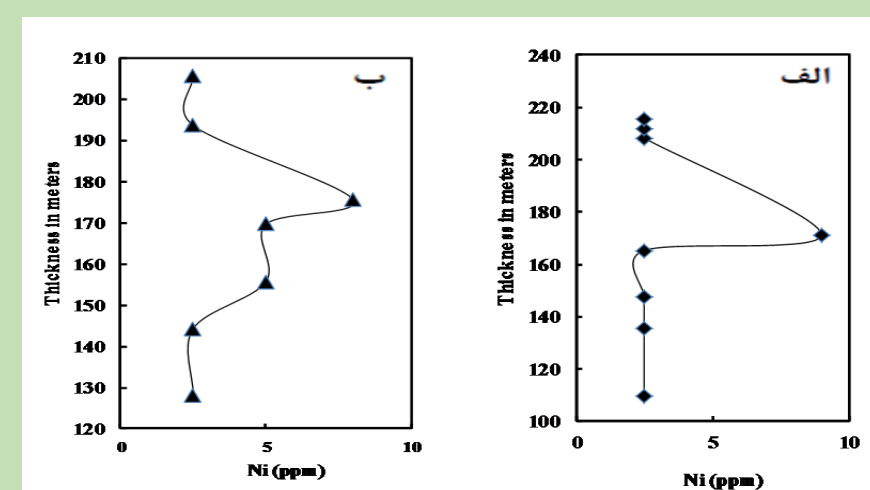
شکل ۲- تصاویر صحرایی از محدوده مورد مطالعه.

### بحث

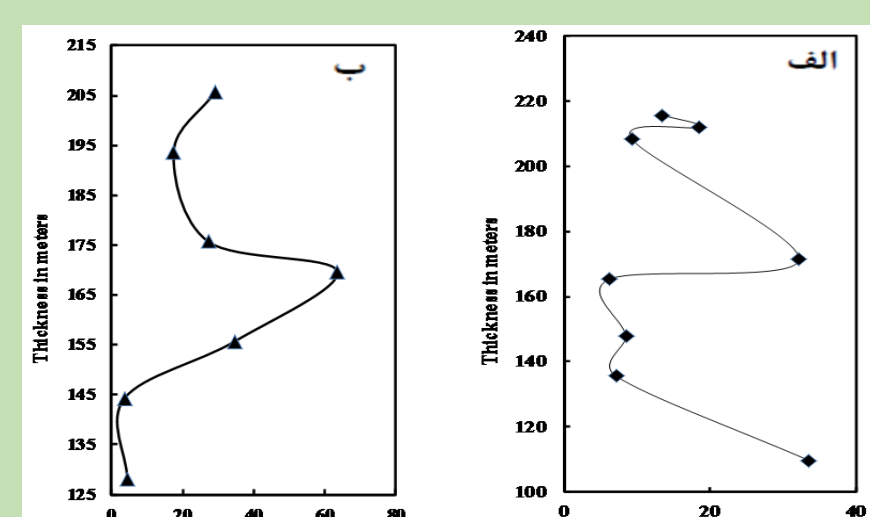
(Trace-transition elements) TTE (عناصر با خاصیت جزئی واسطه): این عناصر شامل Ag, Zn, V, Ni, Cu, Cr, Co می باشند (Jenner, 1996; Kupeli 2010). این عناصر باتوجه به جدول ضریب همبستگی عناصر، با یکدیگر و با بقیه عناصر، همبستگی معناداری از خود نشان نمی دهند.  
بررسی منشأ تشکیل ذخیره آهن گل گهر توسط زمین شیمی عناصر جزئی  
مقایسه عیار عناصر واسطه به دلیل رفتار شیمیایی آنها و روابط آنها با بعضی عناصر در کانسارهای مختلف آهن، راهکاری مناسب جهت بررسی منشأ یک ذخیره آهن می تواند به شمار آید (Nystrom and Henriquez, 1994).  
عناصر کبالت، نیکل و وانادیم به عنوان کاتیون های غیرمتحرک در کانسار ماگمایی بیشتر از کانسار گرمابی گزارش شده اند. از بین این عناصر وانادیم شدیداً در تیپ های ماگمایی غنی شدگی نشان می دهد. نسبت Co/Ni در جریان تفریق ماگمایی کاهش می یابد در حالیکه نسبت Fe/Co افزایش می یابد. بر این اساس نسبت Co در سیالات گرمابی نهایی بیشتر از Ni می باشد. بالا بودن نسبت Co/Ni در سیالات گرمابی یک ویژگی خاص مگنتیت های گرمابی می باشد (Williams et al., 2005).



شکل ۳- نمودار تعیین منشأ کانسارهای آهن با استفاده از مقادیر Ni و Co (Bajwah et al., 1987).



شکل ۴- روند تغییرات Ni نسبت به عمق در گمانه ها



شکل ۵- روند تغییرات Co نسبت به عمق در گمانه ها





# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



## نقش کانیشناسی زیستمحیطی در مدیریت باطله معدنی

۱- مقدمه

استفاده از خصوصیات کانیشناسی برای باطله‌های معدنی، منجر به بهبود ارزیابی ریسک، هدایت برنامه‌ریزی مناسب برای معادن فعال و بهینه‌سازی طراحی اصلاح در معادن بسته یا متروک می‌شود. خصوصیات کانیه‌ها، به ویژه فازهای سولفیدی و کربناتی برای پیش‌بینی پتانسیل زهکشی زهاب اسیدی مهم است. یکی دیگر از نتایج ارزشمند از مطالعات کانیشناسی باطله معدن، درک پایداری مواد معدنی فعال و دارای فلز تحت شرایط مختلف اکسایشی و احیایی است ( Khorasanipour et al, 2011). فعل و انفعالات آب و کانیه از جمله فرآیندهای اساسی کنترل‌کننده‌ی رهاسازی عناصر بالقوه سمی از باطله‌های معدن هستند. بنابراین، برای درک واکنش‌های شیمیایی درگیر، مهم است که جزئیات مواد معدنی (مانند کانیه‌ها) موجود در مواد تازه و هوازده مشخص گردد. این دانش کاربرد مستقیمی در مدیریت پسماندهای معدنی دپو شده دارد. به طور خاص، شکل جامد یک عنصر نگران‌کننده بوده و شرایط ژئوشیمیایی غالب نقش مهمی در تحرک محیطی (به عنوان مثال حلالیت و جذب-واجذبی) و خطر برای سلامت محیط و انسان ایفا می‌کند. اگرچه فازهای بی‌شکل و مصنوعی تولید شده طبق تعریف «کانیه» (یعنی مواد متبلور طبیعی) نیستند، با این وجود پرهزینه‌ترین و جدی‌ترین مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با استخراج و آسیاب سنگ معدن فلزی، زهکشی سنگ اسیدی و شستشوی فلزات مرتبط در نظر گرفته می‌شوند. هزینه‌های برآورد شده برای کل بدهی جهانی مرتبط با اصلاح فعلی و آتی زهاب اسیدی تقریباً ۱۰۰ میلیارد دلار است ( Hogan, 2001). افزایش نرخ هوازدهی کانیه‌ها در نتیجه فرآیندهای استخراج بدلیل افزایش سطح سنگ و سطوح کانیه در معرض آب و اکسیژن صورت می‌گیرد. کانیشناسی باطله‌های معدنی با توجه به دلایلی همچون ۱- تعیین فراوانی نسبی و واکنش‌پذیری سولفیدهای تولیدکننده اسید و مواد معدنی مرتبط و ۲- وجود مواد معدنی خنثی‌کننده مرتبط موجود در باطله معدنی یا متعاقباً به آنها اضافه شده‌اند، کنترل‌های اساسی را بر روی (Metal leaching/ Acide rock) ML/ARD فراهم می‌کند (Plumlee, 1999). پیش‌بینی کیفیت زهاب اسیدی منجر به ایجاد درک درستی از ژئوشیمی کانسار و باطله معدنی است که به زهاب قابل دید زمان حال و آینده در معادن مربوط می‌شود. از اینرو با توجه به اهمیت کانیشناسی در باطله‌ها و محیط‌های معدنی، کانیشناسی باید نقش کلیدی در تمام مراحل تکامل برنامه مدیریت محیط زیست داشته باشد (مثلاً Maest et al., 2005).

## ۲- کانیشناسی زیست محیطی

صفیه حسن‌زاد<sup>1</sup>، حسین پیرخراطی<sup>2</sup>، معصومه آهنگری<sup>3</sup>، فرخ اسدزاده<sup>4</sup>

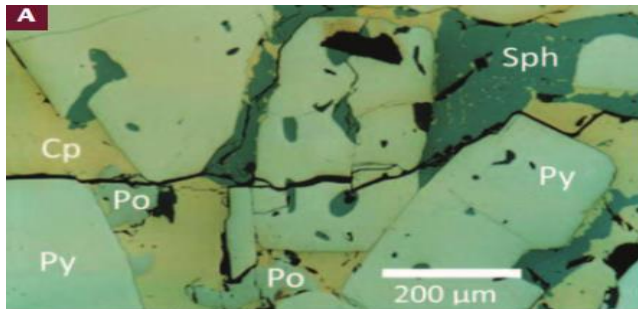
### چکیده

زمان، تلاش و پول قابل توجهی توسط صنعت معدن‌کاری جهت پیش‌بینی احتمال تولید اسید و سایر آلاینده‌های محیطی صرف می‌شود. همچنین عیار متوسط برخی از عناصر صنعتی در بخش بزرگی از باطله‌های معدنی دپو شده با پیشرفت تکنولوژی می‌تواند از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و در نتیجه شناسایی کانیه‌های اولیه و کانیه‌های ثانویه تولید شده بعد از دپو شدن، می‌تواند در استحصال این عناصر کمک شایانی نماید. بعلاوه، با توجه به اینکه pH و Eh پساب اسیدی عمدتاً توسط اکسیداسیون سولفیدهای فلزی تولیدکننده اسید و انحلال کانیه‌های خنثی‌کننده اسید کنترل می‌شود، به این دلیل شناسایی فازهای کانیه‌ای اولیه و ثانویه موجود در باطله‌های معدنی دپو شده جهت پیش‌بینی تولید زهاب اسیدی و خنثی‌سازی آن اهمیت دارد. به همین علت معدن‌کاری نوین به نقش کانیشناسی در دپوهای باطله‌های قدیمی اهمیت داده است.

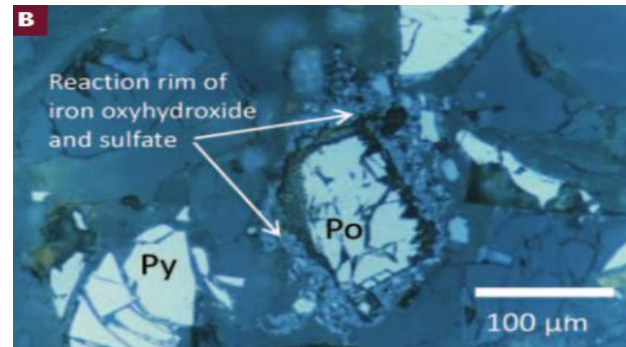
**واژه‌های کلیدی:** کانیشناسی، باطله معدن، محیط‌زیست

## ۱-۲- انواع کانیه‌ها در باطله معدنی

کانیه‌ها و دیگر ترکیبات جامد موجود در باطله معدنی به چهار گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ۱- کانیه‌های اولیه غیرسولفیدی؛ ۲- کانیه‌های اولیه سولفیدی؛ ۳- ترکیبات تولید شده در اثر فرآیندهای استخراج؛ ۴- کانیه‌های ثانویه تشکیل شده در اثر هوازدهی (Lottermoser, 2010). کانیه‌های ثانویه‌ای که بیشترین مشکلات زیست‌محیطی را سبب می‌گردند در نتیجه‌ی هوازدهی کانیه‌های سولفیدی اولیه ایجاد شده و بزرگترین گروه از کانیه‌های باطله معدنی را تشکیل می‌دهند. اکسی‌هیدروکسیدهای آهن، و کانیه‌های سولفات و هیدروکسید آلومینیم برخی از این کانیه‌ها را تشکیل می‌دهند. با در نظر گرفتن اینکه این کانیه‌ها در بیشتر موارد ریز دانه هستند، دارای ظرفیت بالایی برای جذب فلزات مضر هستند. شناسایی کانیه‌های ثانویه اطلاعاتی را درباره‌ی شرایط محلولی که در آن شکل گرفته‌اند را در اختیار ما قرار می‌دهد. در برخی موارد، کانیه‌های ثانویه به‌عنوان حاشیه‌های هوازدهی بر روی کانیه‌های اولیه (شکل B) یا به‌صورت پوسته‌ها و سیمان‌های ضعیف متبلور رخ می‌دهند. این کانیه‌های ثانویه حتی زمانی که در مقادیر کم وجود داشته باشند، در برهمکنش آب و کانیه بسیار مهم بوده و مشخص کردن آنها به ترکیبی از تکنیک‌های تحلیلی دقیق و جدید نیاز دارد.



(شکل A) تصاویر میکروسکوپی (کانیه‌ها) بدون دگرسانی مس-روی از معدن (Geco) باطله B از انتاریو و (Geco) مدت ۳ سال در معرض جو قرار گرفتند. پیرویت تا حدی اکسید شده است، در حالی که پیریت بدون واکنش باقی می‌ماند





## بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



### ۲-۲- روش‌های شناسایی کانی‌های موجود در باطله معادن

شناسایی کانی‌های مرتبط با باطله معدنی کلیدی برای درک واکنش‌های آب و کانی است. اندازه ذره، تخلخل، درجه تبلور و غلظت عناصر کمیاب مهم در کنترل پایداری طولانی مدت کانی‌ها و نقش آنها در پتانسیل رهاسازی عناصر مضر در آب و موجودات زنده نقش داشته باشند. تکنیک‌های متعددی جهت شناسایی کانی‌های باطله معدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله آن‌ها می‌توان به تکنیک‌های اشکارسازی، ژئوفیزیکی، بیورژئوشیمیایی، طیف‌سنجی، میکروسکوپی و ایزوتوپی اشاره کرد. تکنیک‌های اشکارسازی شامل تکنیک‌های قدیمی مورد استفاده برای توصیف کانی‌ها و ترکیبات معدنی مانند پراش پرتو ایکس، میکروسکوپ الکترونی و طیف‌سنجی پرتو ایکس است. از میان تکنیک‌های ژئوفیزیکی می‌توان از روش‌هایی همچون روش‌های الکتریکی، لرزه‌ای، حرارتی، سنجش از دور و میدان‌های پتانسیل برای مطالعه مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با مواد معدنی بهره جست. تکنیک‌های بیورژئوشیمیایی، برای مطالعه چرخه بیورژئوشیمیایی عناصر و رفتار آلاینده‌ها و آلاینده‌ها در اکوسیستم‌ها استفاده می‌شود. تکنیک‌های طیف‌سنجی شامل طیف‌سنجی فروسرخ و طیف‌سنجی رامان بوده و برای مطالعه ساختار و ترکیب کانی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. تکنیک‌های میکروسکوپی عبارت از میکروسکوپ الکترونی روبشی و میکروسکوپ الکترونی عبوری بوده و برای مطالعه شکل و ریزساختار کانی‌ها استفاده می‌شوند (Jambor and Blowes, 1998). تکنیک‌های ایزوتوپی مانند تجزیه ایزوتوپی پایدار و سن‌سنجی با استفاده از ایزوتوپ‌های رادیوژنیک که برای مطالعه سن و منشاء کانی‌ها و برهمکنش آنها با محیط استفاده می‌شود. به طور کلی، مطالعات کانی‌شناسی زیست‌محیطی از تکنیک‌های مختلفی برای مطالعه برهمکنش مواد معدنی با محیط زیست ژئوشیمیایی، از جمله فرآیندهای طبیعی مانند هوازدگی، چرخه بیورژئوشیمیایی عناصر، و رسوب، و همچنین آلودگی و تجزیه و تحلیل ریسک مربوطه استفاده می‌کند (Wogelius, 2012).

### ۴- نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل‌های کانی‌شناسی می‌تواند به شناسایی کانی‌های سیلیکاته خاص موجود و واکنش‌های دگرسانی که ممکن است رخ دهد کمک کند. یکی دیگر از نتایج ارزشمند از مطالعات کانی‌شناسی ضایعات معدنی، درک پایداری مواد معدنی فعال و دارای فلز در شرایط مختلف اکسایش و احیایی است. یک استاندارد عمل در بسیاری از معادن این است که باطله‌ها و سنگ‌های باطله را در زیر آب قرار می‌دهند تا اکسیداسیون سولفید را محدود کنند. با این حال، اگر مقداری اکسیداسیون سولفید قبلاً اتفاق افتاده باشد، در نتیجه هوازدگی سریع یا وجود مواد معدنی سوپرژن، این فازهای ثانویه ممکن است در زیر پوشش آب کرد. اغلب ترکیب کانی‌شناسی باطله را برای طراحی استراتژی‌های اصلاح مناسب در نظر می‌گیرند. برای مثال، روش‌های زیست‌پالایی می‌توانند از میکروارگانیسم‌هایی استفاده کنند که می‌توانند با حل شده و فلزات (شبه فلزات) را آزاد کنند. علاوه بر این، در برخی موارد، فازهای جامد میزبان عناصر بالقوه خطرناک ممکن است تحت شرایط کاهش ناپایدار شوند. با درک ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدنی، می‌توان مواد معدنی یا فرآورده‌های جانبی ارزشمندی را که قابل بازیافت یا فرآوری مجدد هستند، شناسایی کرد. این رویکرد نه تنها ضایعات را کاهش می‌دهد، بلکه بازیابی منابع را نیز به حداکثر می‌رساند. ترکیب کانی‌شناسی باطله‌ها می‌تواند بر پایداری و پتانسیل آن‌ها برای اثرات زیست‌محیطی تأثیر بگذارد. برای مدیریت این باطله‌ها و به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی آنها می‌توان از روش‌هایی مانند غلیظ کردن، فیلتراسیون و آبگیری استفاده کرد. در مواردی که باطله‌های معدنی قبلاً باعث آلودگی محیط زیست شده باشد، می‌توان از روش‌های اصلاح استفاده مواد معدنی خاص تعامل داشته باشند و به تبدیل یا حذف آنها کمک کنند. درک ترکیب کانی‌شناسی باطله‌های معدنی برای ارزیابی خطرات بالقوه آن برای محیط زیست و سلامت انسان بسیار مهم است. روش‌های پایش را می‌توان برای ردیابی رفتار و سرنوشت مواد معدنی موجود در ضایعات در طول زمان به کار برد که امکان تشخیص زودهنگام مسائل زیست‌محیطی بالقوه را فراهم می‌کند. به طور کلی، کانی‌شناسی زیست‌محیطی با ارائه بینشی در مورد ترکیب کانی‌شناسی باطله و تأثیر بالقوه آن بر محیط زیست، نقش مهمی در مدیریت پسماندهای معدنی ایفا می‌کند. با شناسایی روش‌های بالقوه مدیریت پسماند معدنی و جلوگیری یا به حداقل رساندن آلودگی، کانی‌شناسی زیست‌محیطی به اطمینان از فعالیت‌های معدنی پایدارتر و سازگار با محیط‌زیست می‌تواند کمک کننده باشد

### ۳- اثرات کانی‌شناسی باطله معدن بر سلامتی

بخش عمده ای از تمرکز پیش بینی، مقررات و اصلاح اثرات زیست‌محیطی باطله‌های معدنی به سمت حفاظت از سلامت اکوسیستم، به ویژه حیات آبی، و همچنین سلامت انسان که در آن منابع آب آشامیدنی به طور بالقوه تحت تأثیر قرار می‌گیرند، هدایت می‌شوند. یکی دیگر از اثرات بالقوه جدی باطله‌های معدنی جامد اصلاح نشده، آسیب به سلامت انسان و سایر موجودات از طریق بلع مستقیم یا استنشاق خاک گرد و غبار آلوده است (Ruby et al., 1999). ارتباط واضحی بین ویژگی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی باطله‌های معدنی و پتانسیل آنها برای ایجاد اثرات نامطلوب بهداشتی از طریق قرار گرفتن در معرض شغلی و محیطی وجود دارد. در این خصوص اطلاعات زیادی در مورد این ارتباط‌ها برای سرب و کانی سرب دار در دسترس بوده، و این گونه از اطلاعات و دانش به سرعت در مورد برخی از سموم دیگر مانند جیوه و آرسنیک در حال رشد است. با این حال، مطالعات کمتری درباره‌ی سمیت (کنترل‌های معدنی و ژئوشیمیایی بر روی سمیت) سایر فلزات موجود در باطله‌های معدنی (مانند کادمیوم، نیکل، کبالت و منگنز) صورت گرفته است. مطالعات نشان دهنده‌ی این است که سولفیدهای آهن می‌توانند باعث ایجاد تنش اکسیداسیون و سمیت شوند (Schoonen et al. 2006)، اما نقش مشابه احتمالی برای نمک‌های سولفات آهن محلول هنوز بررسی نشده است. مطالعات اپیدمیولوژیک گروه‌های معدنی، ارتباط آماری بیماری را با عوامل متعدد (مانند سیلیس متبلور، رادیونوکلئیدها و آرسنیک) نشان می‌دهد، اما اثرات یکپارچه چندین سموم فلزی، معدنی و رادیونوکلئیدی در باطله‌های معدنی به خوبی درک نشده است. این عدم قطعیت‌ها نیاز به افزایش همکاری‌های بین رشته‌ای بین دانشمندان بخش سلامت زمین برای درک بهتر ماهیت قرار گرفتن در معرض ضایعات معدن، رفتار ذرات باطله معدن در بدن، و ویژگی‌های باطله‌های معدنی مربوط به نگرانی سم‌شناسی است (plumlee, 2011).

Brown Jr, G. E., & Calas, G., 2011. Environmental mineralogy-Understanding element behavior in ecosystems; Mineralogie environnementale: comprendre le comportement des elements dans les ecosystemes. Comptes Rendus-Academie des Sciences. Geoscience.

Jambor, J.L., Blowes, D.W., 1998. Theory and applications of mineralogy in environmental bearing mine wastes studies of sulfide, in: Cabri, L.J., Vaughan, D.J. (Eds.), Modern Approaches to Ore and Environmental Mineralogy, Mineralogical Association of Canada Short Course Series, v.27, pp.367-402.

Jamieson, H.E., Shaw, S.C., Clark, A.H., 1995. Mineralogical factors controlling metal release from tailings at Geco. Maniowadge, Ontario. In: Hynes TP, Blanchette MC (eds) Sudbury '95 Mining and the Environment 1:405-413.

Khorasanipour, M., Tangestani, M.H., Naseh, R., Hajmohammadi, H., 2011. Hydrochemistry, mineralogy and chemical fractionation of mine and processing wastes associated with porphyry copper mines: a case study from the Sarcheshmeh mine, SE Iran. Appl. Geochem. 26, 714-730.

## ژئوشیمی و کاربرد خاک نسوز چشمه خواجه حسن

مهدی حسین آبادی<sup>۱\*</sup>، محمدحسن مکاریان<sup>۲</sup>

۱- استادیار زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، طبس، ایران، [Mhsedi@iau-tabas.ac.ir](mailto:Mhsedi@iau-tabas.ac.ir)

۲- دانشجوی مهندسی معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس، طبس، ایران، [mohammadhassanmakarian@gmail.com](mailto:mohammadhassanmakarian@gmail.com)

### چکیده

کانسار خاک نسوز چشمه خواجه حسن، در استان خراسان جنوبی، شهرستان طبس و در ۱۶ کیلومتری شمال شرقی روستای رباط خان قرار گرفته است. لایه های نسوز در داخل ماسه و شیل های کوارتزی با رنگ خاکستری تا سبز روشن واقع شده است. از نظر نحوه تشکیل کانسار، با توجه به عدم وجود کانی های هیدروترمالی از قبیل زئولیت، فلورین، رسوبی است و مشابه سایر کانسارهای خاک صنعتی منطقه، در ژوراسیک تشکیل شده است. ترکیب کانی شناسی کانسار مورد مطالعه از کوارتز، کائولینیت، ایلیت و پیروفیلیت (فاز اصلی) و مسکوویت، ارتوز، آلپیت (فاز فرعی) تشکیل شده است. طبق بررسی های شیمیایی (XRF) از نمونه های برداشت شده، ماده معدنی دارای اکسید آلومینیوم با میانگین ۲۷.۱۱ درصد، اکسید سیلیس با میانگین ۵۵.۲ درصد، اکسید پتاسیم با میانگین ۲.۳۹ درصد و اکسید آهن با میانگین ۱.۴۶ درصد می باشد. این ماده معدنی با توجه به میزان اکسید آهن کم، رنگ پخت نسبتاً سفید تا زرد روشن، درجه نسوزندگی مطلوب و جذب آب کم، در کارخانجات کاشی، سرامیک و چینی و آجر نسوز مورد مصرف قرار می گیرد.

واژه های کلیدی: چشمه خواجه حسن، رباط خان، خراسان جنوبی، خاک نسوز

### Abstract

Chashme Khajeh Hasan fire clay deposit is located in South Khorasan province, Tabas city, 16 km northeast of Robat Khan Village. Refractory layers are located inside sand and quartzite shales with gray to light green color. In terms of the formation of the deposit, due to the absence of hydrothermal minerals such as zeolite, fluorine, it is sedimentary and similar to other industrial soil deposits in the region, it was formed in the Jurassic. The mineralogical composition of the studied deposit consists of quartz, kaolinite, illite and pyrophyllite (main phase) and muscovite, orthose, albite (secondary phase). According to chemical analysis (XRF) of the collected samples, the mineral contains aluminum oxide with an average of 27.11%, silicon oxide with an average of 54.2%, potassium oxide with an average of 1.39% and iron oxide with an average of 1.46%.

This mineral is used in tile, ceramic, porcelain and refractory brick factories due to its low iron oxide content, relatively white to light yellow firing color, favorable degree of fire resistance and low water absorption.

**Key words:** Chashme Khajeh Hasan, Robat Khan, South Khorasan, fire clay.

### ۱- مقدمه

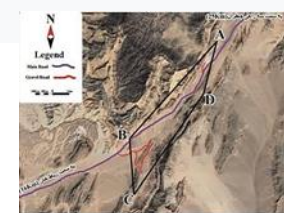
ایران جزو ۱۰ کشور معدنی جهان با تنوع مواد معدنی بسیار زیاد است. معادن خاک نسوز ایران از نظر کمی و کیفی قابل توجه است. خاک نسوز (Fire clay) که با نام دیگر گل آتشیوار و خاک رس نسوز نیز شناخته می شود، از انواع خاک های رس است که توانایی تحمل دماهای بسیار بالا را داشته و می توان آن را در کوره تا دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داد، بدون اینکه ترک بردارد یا بشکند. یکی از مهم ترین ویژگی های خاک نسوز قابلیت خمیری شدن و میزان جذب آب در آن است که باعث می شود به آسانی قابل فرم دهی باشد و به شکل مورد نظر تغییر شکل دهد (کریم پور، ۱۳۸۹).

### ۲- راه دسترسی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار خاک نسوز چشمه خواجه حسن، در استان خراسان جنوبی، شهرستان طبس و در ۱۶ کیلومتری شمال شرقی روستای رباط خان قرار گرفته است (شکل ۱ و ۲). سنگ های تشکیل دهنده منطقه سن تریاس - ژوراسیک را دارا می باشند. لایه های نسوز به صورت رگه ای در امتداد لایه بندی منطقه با رستای تقریباً شمالی جنوبی و در داخل ماسه و شیل های کوارتزی با رنگ خاکستری تا سبز روشن واقع شده است (شکل ۳). در منطقه طبس فعالیت های ماگمایی در طی دوران اول و قبل از آن موجب تشکیل توده های گرانیتی، تونالیتی و گرانودیوریتی و گابرو شده است که در اثر آلتراسیون این سنگ های ماگمایی حاوی فلدسپات، کانی های دارای آلومین از قبیل کائولن و پیروفیلیت تشکیل شده و در اثر حمل و رسوب گذاری آن های در حوضه های رسوبی خاک صنعتی تشکیل گردیده است.



شکل ۳: نمای کلی از کانسار مورد مطالعه.



شکل ۱ و ۲: مسیر دسترسی و موقعیت جغرافیایی کانسار خاک نسوز چشمه خواجه حسن.



### ۳- روش مطالعه

به منظور بررسی های ژئوشیمیایی و کانی شناسی، نمونه برداری از ترانسه های ایجاد شده (شکل ۵۴) بر اساس اختلاف در رنگ و بافت پس از مراحل آماده سازی جهت انجام آزمایش های کانی شناسی (XRD)، ژئوشیمیایی (XRF) و صنعتی صورت گرفت. یکی از روش های رایج و قابل اعتماد در شناسایی کانی های رسی، استفاده از پراش پرتو ایکس است. برای تعیین فازهای کانی شناسی ۳ نمونه انتخاب و به روش XRD بررسی شدند. کانی شناسی نمونه ها به روش XRD نشان داد که کانی های اصلی تشکیل دهنده کوارتز، کائولینیت، ایلیت و پیروفیلیت است. از کانی های فرعی می توان به مسکوویت، ارتوز، آلپیت اشاره کرد (جدول ۱). هم چنین تعداد ۵ نمونه، به منظور تعیین ترکیب شیمیایی از روش XRF استفاده شد. بر اساس آنالیزهای شیمیایی (جدول ۲) میانگین اکسید آلومینیوم ۲۷.۱۱ درصد، میانگین اکسید سیلیس ۵۵.۲ درصد، اکسید آهن ۱.۴۶ درصد و اکسید پتاسیم ۲.۳۹ درصد است.

جدول ۲. میانگین ترکیب شیمیایی کانسار خاک نسوز

چشمه خواجه حسن، عناصر اصلی بر حسب درصد.

درصد	ترکیبات
۵۵,۲	SiO <sub>2</sub>
۲۷,۱۱	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۱,۴۶	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
۱,۹۲	TiO <sub>2</sub>
۰,۳۳	CaO
۱,۶۵	MgO
۰,۶۱	Na <sub>2</sub> O
۲,۳۹	K <sub>2</sub> O
۸,۸	L.I.O

### جدول ۱. خلاصه نتایج آزمایش هایXRD

فاز اصلی	کوارتز، کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت
فاز فرعی	مسکوویت، ارتوز، آلپیت



شکل ۴ و ۵: ترانسه های ایجاد شده و محل نمونه برداری.

### ۴- بحث

خواص فیزیکی و مکانیکی خاک نسوز بستگی به فاکتورهایی نظیر ترکیب شیمیایی، کانی شناسی و دانه بندی دارد. اکسیدهای اصلی موجود در ماده معدنی نقش مهمی بر کیفیت ماده خام و فرآورده های تولید شده از آن دارد. در خاک نسوز هر چه درصد Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> بیشتر باشد، درصد نسوزندگی و مرغوبیت محصول افزایش پیدا می کند. در مقابل هرچه درصد اکسیدهای آهن کمتر باشد، باعث می شود این کالا قابلیت استفاده در صنایع نسوز را داشته باشد (رحیمی، ۱۳۶۸). بالا بودن میزان سیلس در آنالیز شیمیایی با نتایج XRD همخوانی دارد. کاهش عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و وجود کانی های کوارتز، کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت به عنوان فاز اصلی می تواند حاکی از اسیدی بودن سنگ اولیه باشد که از هوازدگی سنگ منشا غنی از سیلیس و حاوی پتاسیم فراوان و فقیر از سدیم، کلسیم و منیزیم پدید آمده است (اعتمادی و میری، ۱۳۸۲). پیروفیلیت نیز به عنوان یکی از کانی های اصلی، به واسطه ضریب گرمایی پایین، مقاومت در برابر تغییرات درجه حرارت، کاهش افت حجمی ماده، قابلیت استفاده در صنایع نسوز، کاشی و چینی سازی را دارد (ذبیحی و ابراهیمی و زرین کوب، ۱۳۹۰). افزایش میزان اکسید پتاسیم نسبت به اکسید سدیم در نمونه ها، با توجه به حضور مسکوویت و ارتوز به عنوان کانی های فرعی در آزمایش XRD همخوانی دارد.

### ۵- نتیجه گیری

ترکیب کانی شناسی کانسار چشمه خواجه حسن، از کوارتز، کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت به عنوان فاز اصلی و مسکوویت، ارتوز، آلپیت به عنوان فاز فرعی تشکیل شده است.

از نظر نحوه تشکیل کانسار، با توجه به عدم وجود کانی های هیدروترمالی از قبیل زئولیت، فلورین، رسوبی است و مشابه سایر کانسارهای خاک صنعتی منطقه، در زمان ژوراسیک تشکیل شده است. وجود پیروفیلیت به عنوان یکی از کانی های اصلی، به واسطه ضریب گرمایی پایین، مقاومت در برابر تغییرات درجه حرارت، کاهش افت حجمی ماده، قابلیت استفاده در صنایع نسوز، کاشی و چینی سازی را دارد. لایه های نسوز به صورت رگه ای در امتداد لایه بندی منطقه با راستای تقریباً شمالی جنوبی و در داخل ماسه و شیل های کوارتزی با رنگ خاکستری تا سبز روشن واقع شده است. کاهش عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و وجود کانی های کوارتز، کائولینیت، ایلیت، پیروفیلیت به عنوان فاز اصلی می تواند حاکی از اسیدی بودن سنگ اولیه باشد که از هوازدگی سنگ منشا غنی از سیلیس و حاوی پتاسیم فراوان و فقیر از سدیم، کلسیم و منیزیم پدید آمده است.

### ۶- تقدیر و تشکر

تشکر فراوان از مدیریت معدن چشمه خواجه حسن بابت همکاری و در اختیار قراردادن داده ها و انجام مطالعات و همکاری با دانشگاه آزاد اسلامی واحد طبس.

### ۷- مراجع

اعتمادی، ب.، میری، ر (۱۳۸۲)، "بررسی کانی شناسی و ژئوشیمیایی کانسار خاک نسوز کبوترکوه گناباد،" مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۲، پاییز و زمستان ۸۲، صفحات ۲۲۱ تا ۲۳۳.

ذبیحی، ر.، ابراهیمی، خ.، زرین کوب، م.ح (۱۳۹۰)، "بررسی های کان شناسی و ژئوشیمیایی نهشته کانی خاک رس کائولینیتی شده شیخ آباد (جنوب غرب بیرجند) با نگرشی بر کاربردها صنعتی آن" مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۱، بهار ۹۰، صفحات ۲۲۱ تا ۲۳۳.

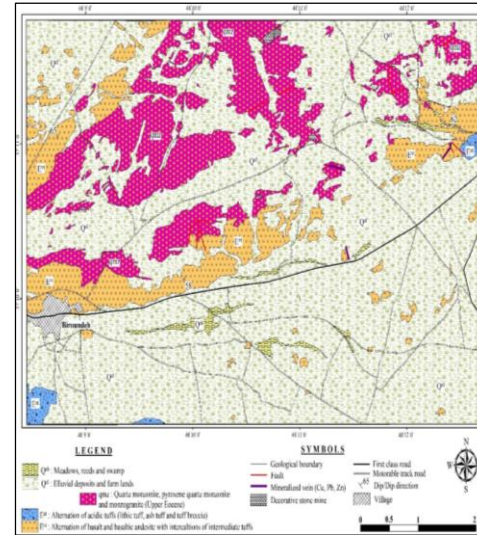
رحیمی، ا.، متین، م (۱۳۶۸)، تکنولوژی سرامیک های ظریف، شرکت صنایع خاک چینی ایران، ۵۷۴ صفحه.

کریم پور، م.ح؛ (۱۳۸۹)، کانی ها و سنگ های صنعتی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

## ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی توده گرانیتوئیدی بیرونده در کمربند ماگمایی طارم- هشتجین، شمال زنجان علیرضا حیدری<sup>1</sup>، میر علی اصغر مختاری<sup>2\*</sup>، جواد ایزدیار<sup>3</sup>، حسین کوهستانی<sup>4</sup>

چکیده

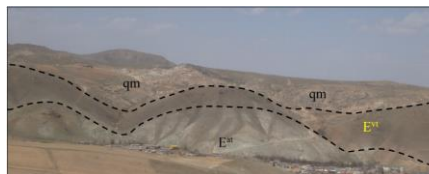
محیط تکتونوماگمایی و منشاء ماگما در نمودار Rb در برابر Yb+Nb، محدوده گرانیت‌های قوس آتشفشانی (VAG)، گرانیت‌های داخل صفحه‌ای (WPG)، همزمان با برخورد (Syn-COLG) و گرانیت‌های پشته اقیانوسی (ORG) از یکدیگر تفکیک شده است. بر پایه این نمودار، همه نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو گرانیت‌های قوس آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل 13-الف). در نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Schandle and Gorton, 2002)، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای جانمایی می‌شوند (شکل 13-ب). در نمودار Th/Ta در مقابل Yb (Schandle and Gorton, 2002) نیز نمونه‌های مورد مطالعه، محدوده حاشیه فعال قاره‌ای را نشان می‌دهند (شکل 13-پ). همچنین، در نمودار Th در مقابل Ta (Schandle and Gorton, 2002)، همه نمونه‌ها در محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل 13-ت).



منطقه بیرونده در شمال زنجان، بخشی از کمربند ماگمایی طارم- هشتجین بوده و متشکل از تناوب سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی ائوسن همراه با توده گرانیتوئیدی ائوسن بالایی است. از نظر سنگ‌شناسی، توده‌های گرانیتوئیدی شامل مونزوگرانیت، کوارتز مونزونیت و پیروکسن کوارتز مونزونیت می‌باشند. این سنگ‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکالین پتاسیم بالا تا شوشونیتی بوده و در مرز گرانیتوئیدهای متالومین- پرالومین قرار گرفته و از نوع اهنستند. در نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده به گوشته اولیه، این سنگ‌ها غنی‌شدگی عناصر LILE و آنومالی منفی عناصر HFSE نشان می‌دهند که بیانگر تشکیل ماگمای اولیه آنها در یک محیط فرورانشی و از یک گوشته متاسوماتیسم شده است. الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت نیز یک الگوی غنی از عناصر LREE نسبت به HREE با نسبت بالای LREE/HREE را نشان می‌دهد. از نظر محیط تکتونوماگمایی، این سنگ‌ها مرتبط با محدوده کمان ماگمایی پس از برخورد بوده و ماگمای اولیه آنها از یک گوشته اسپینل پریدوتیتی منشاء گرفته است.

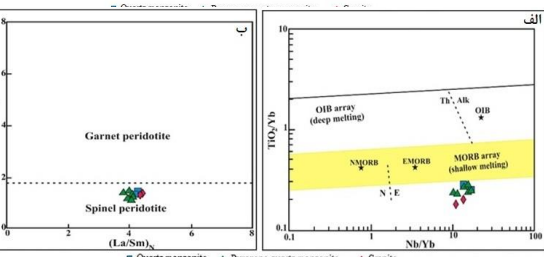
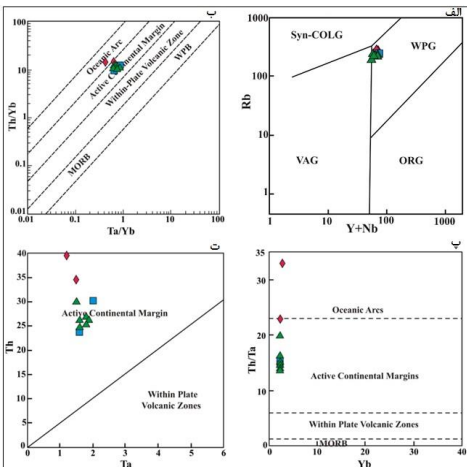
زمین‌شناسی

بر اساس نقشه زمین‌شناسی 1:100,000 هشتجین (فریدی و انوری، 1379)، سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن واحدهای سنگی غالب منطقه مورد مطالعه هستند که توسط توده‌های نفوذی ائوسن بالایی با ترکیب گرانیتوئیدی قطع شده‌اند. براساس مطالعات صحرایی انجام شده و نقشه زمین‌شناسی مقیاس 1:20,000 تهیه شده (شکل 1)، واحد اصلی موجود در منطقه تناوب گدازه‌های بازالتی تا بازالت آندزیتی و لایه‌های توفی (واحد E<sup>vt</sup>) است (شکل‌های 1 و 2). این واحد سنگی با رنگ تیره در رخنمون‌های صحرایی قابل تمایز است. نفوذ توده گرانیتوئیدی بیرونده به‌داخل این سنگ‌ها، موجب دگرگونی مجاورتی در مرز بلافصل توده گرانیتوئیدی شده که با رنگ تیره‌تر و ریخت‌شناسی صخره‌سازتر نسبت به بخش‌های دیگر این واحد قابل مشاهده هستند. دیگر واحد سنگی این منطقه متشکل از مجموعه لیتیک توف، خاکستر توف و توف برش با ترکیب اسیدی (واحد E<sup>at</sup>) است (شکل‌های 1 و 3). گاه میان لایه‌های گدازه‌های اسیدی نیز در این واحد قابل مشاهده است. یکی از مهم‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه بیرونده و مناطق اطراف آن، توده گرانیتوئیدی (واحد qm) می‌باشد با عنوان‌های گرانیت بیرونده، حاج‌سیران و در بخش‌های خاوری و بیرون از منطقه با عنوان گرانیت ورمزیار معروف است (شکل‌های 1 و 4). این توده گرانیتوئیدی در بخش‌های مختلف به‌عنوان سنگ تزئینی در حال استخراج می‌باشد (شکل 4). در نتیجه نفوذ توده گرانیتوئیدی یادشده به داخل توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن، هاله دگرگونی مجاورتی در مرز همبری آن حاصل شده است.



### نتیجه‌گیری

توده‌های گرانیتوئیدی منطقه بیرونده متشکل از مونزوگرانیت، کوارتز مونزونیت و پیروکسن کوارتز مونزونیت با ماهیت کالک‌آلکالین پتاسیم بالا هستند. ماگمای اولیه این توده‌ها از ذوب بخشی لیتوسفر گوشته‌ای متاسوماتیسم شده در نتیجه فرایند فرورانش و احتمالاً در یک محیط پس از برخورد تشکیل شده است. در نتیجه محیط کششی پس از برخورد، بی‌هنجاری حرارتی ناشی از بالا آمدن آستوسفر سبب ذوب بخشی لیتوسفر گوشته‌ای غنی شده برای تولید مذاب پتاسیم بالا در کمربند ماگمایی طارم- هشتجین در طول ائوسن بالایی شده است. نازک شدن پوسته همراه با بالا آمدن مواد داغ آستوسفر سبب ذوب بخشی گوشته ناهمگن متاسوماتیزه شده و منجر به تشکیل ماگمای اولیه بازیگ شده است. تفریق ماگمای مزبور طیف گسترده‌ای از سنگ‌ها شامل پیروکسن کوارتز مونزونیت تا مونزوگرانیت را به وجود آورده است.







# رخداد معدنی کورچشمه: کانه‌زایی اپی‌ترمال فلزات پایه نوع سولفیداسیون حدواسط در کمربند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهرها

سپیده خان‌احمدلو<sup>۱</sup>، حسین کوهستانی<sup>۱</sup>، میرعلی اصغر مختاری<sup>۱</sup>، ناهید رحمتی<sup>۱</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان

## چکیده

رخداد معدنی سرب-روی-مس کورچشمه در ۴۰ کیلومتری جنوب‌باختر تاکستان واقع شده و بخشی از کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهرها است. کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی درون توالی توف و گدازه ائوس رخ داده و حدود ۶۰۰ متر درازا و ۵/۰ تا ۲ پهنای دارد. شش مرحله کانه‌زایی در کورچشمه قابل تفکیک است که کانه‌زایی فلزات پایه در مرحله دوم رخ داده است. دگرسانی گرمایی شامل دگرسانی‌های سیلیسی، آرزلیک متوسط، کربناتی و پروپیلیتیک می‌باشد. پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت همراه با اندکی پیرولوپسیت و پسیلوملان مواد معدنی اصلی هستند. کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و سریسیت-ایلیت مواد باطله می‌باشند. گوتیت، سروزیت، اسمیت‌زونیت، ملاکیت و کوولیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌برکننده، رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، کاکلی، گل‌کلمی، پرمانند، بازماندی، پُرکننده فضای خالی و جانشینی می‌باشد. ویژگی‌های کانه‌زایی در رخداد معدنی سرب-روی-مس کورچشمه با کنسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط قابل مقایسه است.

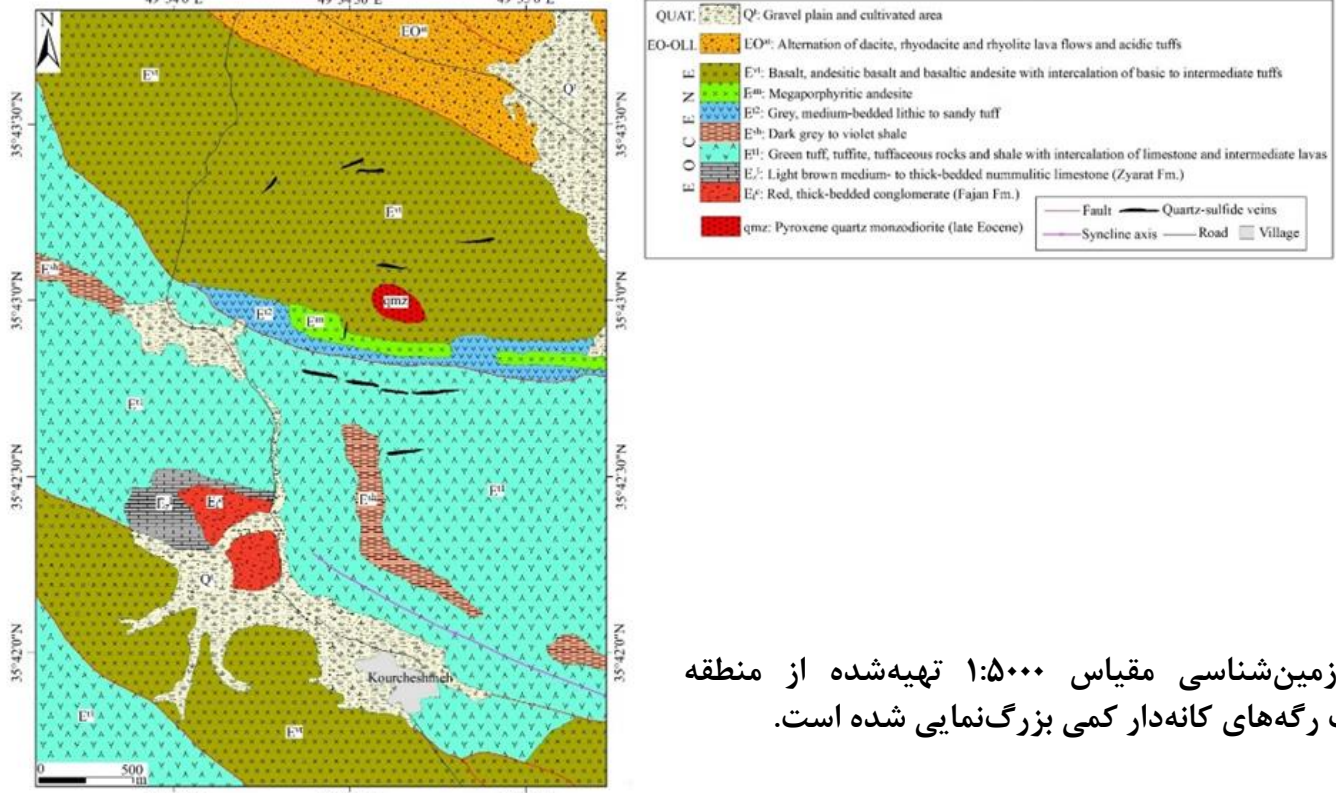
**واژه‌های کلیدی:** کانه‌زایی فلزات پایه، اپی‌ترمال حدواسط، کورچشمه، تاکستان، مردآباد-بوئین‌زهرها

## مقدمه

رخداد معدنی سرب-روی-مس کورچشمه در فاصله حدود ۴۰ کیلومتری جنوب‌باختر تاکستان قرار گرفته و بخشی از کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهرها در حاشیه شمالی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر است. این کمربند آتشفشانی میزبان کانه‌زایی‌های فراوان مس، سرب، روی و طلا مانند لک، ده‌بالا، ایپک، کوه جارو، رودک، گوموشلو، گوموش‌داش، قزل‌چشمه، بیدستان، افشارآباد، بوجعفر، گیلان‌دره، آتش‌انبار، رامند و کورچشمه می‌باشد. کانه‌زایی‌های فوق معمولاً درون واحدهای سنگی ائوس رخ داده و ارتباط مکانی و زمانی نزدیکی با توده‌های نفوذی ائوس میانی-بالایی دارند (Kazemi et al., 2022). آثار فعالیت‌های استخراجی و اکتشافی گذشته در رخداد معدنی کورچشمه دیده شده و در حال حاضر نیز توسط بخش خصوصی در دست اکتشاف است. با این وجود، تاکنون مطالعه علمی دقیقی بر روی آن انجام نشده است. در این مقاله، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، دگرسانی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت این رخداد معدنی بررسی و تیپ کانه‌زایی آن تعیین شده است. نتایج این تحقیق می‌تواند به‌عنوان الگوی اکتشافی در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهرها و دیگر مناطق کمان ماگمایی ارومیه-دختر مورد استفاده قرار گیرد.

## زمین‌شناسی

بر اساس نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (دانسفهان (خیاچ) (اقلیمی و مصوری، ۱۳۷۹) و با توجه به پیمایش‌های صحرایی انجام‌شده در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ (شکل ۱)، واحدهای سنگی موجود در منطقه کورچشمه مربوط به تناوب واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوس بوده و شامل گدازه‌های بازالت آندزیتی، بازالت، آندزیت بازالتی، مگاپورفیر آندزیت، کریستال لیتیک توف حدواسط و کریستال توف تا لیتیک کریستال توف اسیدی است. رخنمون‌های کوچکی از توده‌های نفوذی با ترکیب پیروکسن کوارتزیدوریت نیز در منطقه دیده می‌شود که مجموعه‌های سنگی ائوس را قطع کرده‌اند. با توجه به مطالعات کاملی و همکاران (Kazemi et al., 2022) سن این توده‌ها احتمالاً ائوس میانی است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه کورچشمه. ضخامت رگه‌های کانه‌دار کمی بزرگ‌نمایی شده است.

## کانه‌زایی و دگرسانی

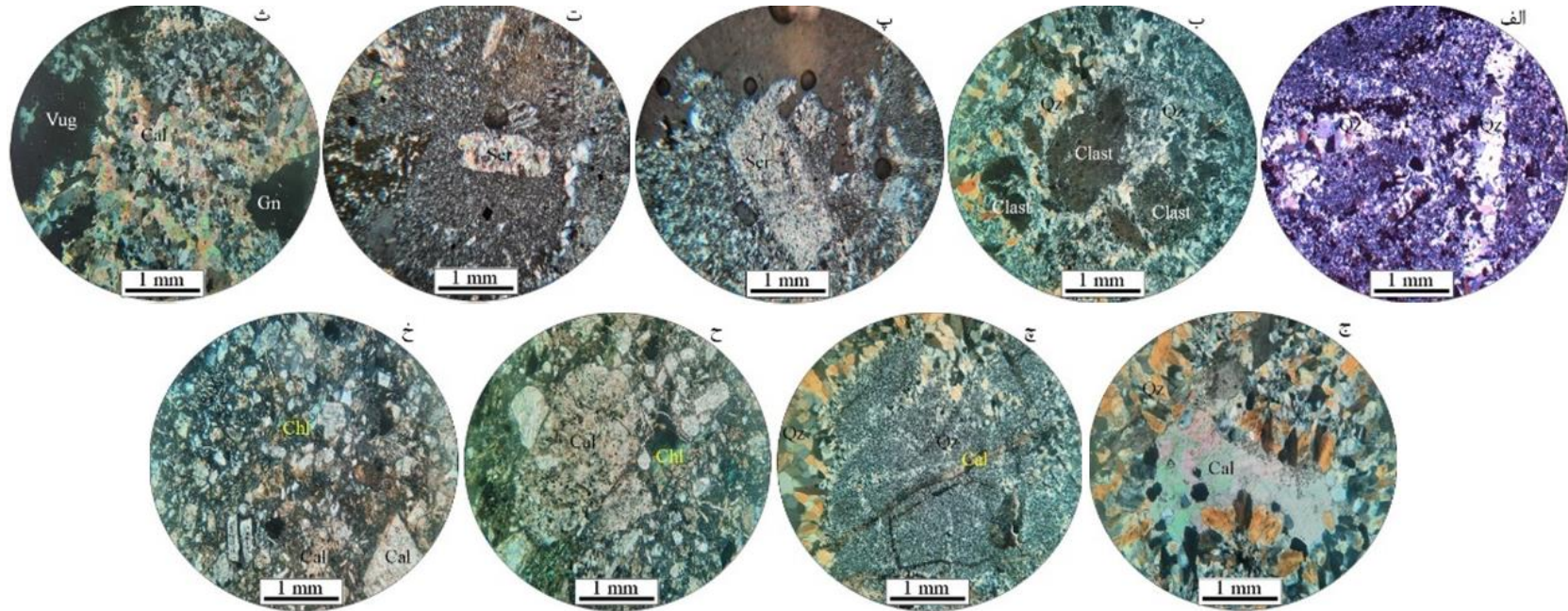
کانه‌زایی به‌صورت رگه‌های سیلیسی-باریتی-کربناتی حاوی سرب، روی و مس درون توالی توفی-گدازه‌ای ائوس رخ داده است (شکل ۲-الف). رگه اصلی کانه‌دار دارای روند N100E/70-80NE بوده و به‌طور ناپیوسته تا ۶۰۰ متر درازا و ۵/۰ تا ۲ متر پهنای دارد. رگه‌های فرعی دیگری در بخش‌های مختلف منطقه با طول‌های کوچک‌تر و پهنای کمتر وجود دارند. دگرسانی آرزلیک متوسط به ضخامت تا ۳ متر، اطراف رگه‌های کانه‌دار را دربر می‌گیرد (شکل ۲-الف). در مقیاس رخنمون، ساخت و بافت کانسنگ عمدتاً رگه-رگچه‌ای، قشرگون، برشی، دانه‌برکننده و پُرکننده فضای خالی است (شکل ۲-ب تا ث). بلورهای گالن و کالکوپیریت عمدتاً به‌صورت دانه‌برکننده درون رگه‌های کانه‌دار و کانی‌های اسمیت‌زونیت، سروزیت و ملاکیت به‌صورت پُرکننده فضای خالی دیده می‌شوند. عیار نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌های کانه‌دار تا ۷ درصد مجموع سرب و روی، ۲ درصد مس و به‌ترتیب تا حدود ۷ و ۱۳۵ گرم در تن طلا و نقره را مشخص کرده است.



شکل ۲- الف- نمایی از رگه کانه‌دار اصلی در رخداد معدنی کورچشمه که توالی توفی-گدازه‌ای ائوس میزبان خود را قطع کرده و توسط هاله‌ای از دگرسانی آرزلیک متوسط دربر گرفته شده است (دید به سمت خاور). ب و پ- نمایی از بافت‌های برشی (ب) و قشرگون (پ) ماده معدنی در مقیاس نمونه دستنی. ت و ث- نماهایی از کانه‌زایی گالن با بافت دانه‌برکننده (ت و ث) و اسمیت‌زونیت با بافت پُرکننده فضایی خالی (ث) در مقیاس نمونه دستنی. (Car): کربنات، Bt: باریت، Gn: گالن، Lith: قطعه سنگی، Qz: کوارتز، Smt: اسمیت‌زونیت)

دگرسانی‌های گرمایی شامل سیلیسی، آرزلیک متوسط، کربناتی و پروپیلیتیک می‌باشد که در این بین، دگرسانی‌های سیلیسی و آرزلیک متوسط و کربناتی منطبق بر بخش‌های کانه‌دار بوده و دگرسانی پروپیلیتیک در خارج از بخش‌های کانه‌دار، سنگ‌های میزبان را تحت تأثیر قرار داده است. دگرسانی سیلیسی، به‌صورت رگه-رگچه‌ای و یا سیمان گرمایی برش‌ها رخ داده (شکل ۳-الف و ب) و منطبق بر بخش‌های کانه‌دار است. ضخامت رگه‌های کوارتزی بیشینه تا ۵ سانتی‌متر می‌رسد. دگرسانی آرزلیک متوسط با ضخامت حدود ۳ متر، اطراف رگه‌های کوارتزی کانه‌دار را در بر گرفته است (شکل ۲-الف). این دگرسانی معمولاً توسط شکستگی‌ها کنترل شده و در مقیاس رخنمون سبب تغییر رنگ سنگ‌ها به سفید تا زرد شده است. در مقاطع میکروسکوپی، دگرسانی آرزلیک متوسط به‌صورت جانشینی پلاژیوکلاز توسط مجموعه ایلیت و سریسیت همراه با مقادیر اندکی کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود (شکل ۳-پ و ت). دگرسانی کربناتی در رخداد معدنی کورچشمه به دو نوع قابل تفکیک است. نوع اول شامل کلسیت و بعضاً سیدریت است که در همراهی با کوارتز در سیمان گرمایی برش‌ها دیده شده و ارتباط نزدیکی با بخش‌های سیلیسی کانه‌دار دارد (شکل ۳-ث). دگرسانی کربناتی نوع دوم شامل کلسیت با بافت‌های رگه-رگچه‌ای و پُرکننده فضاهای خالی است (شکل ۳-ج و چ). رگه-رگچه‌های کلسیتی معمولاً رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار را قطع کرده‌اند که این امر بیانگر تشکیل این رگه و رگچه‌ها در مراحل

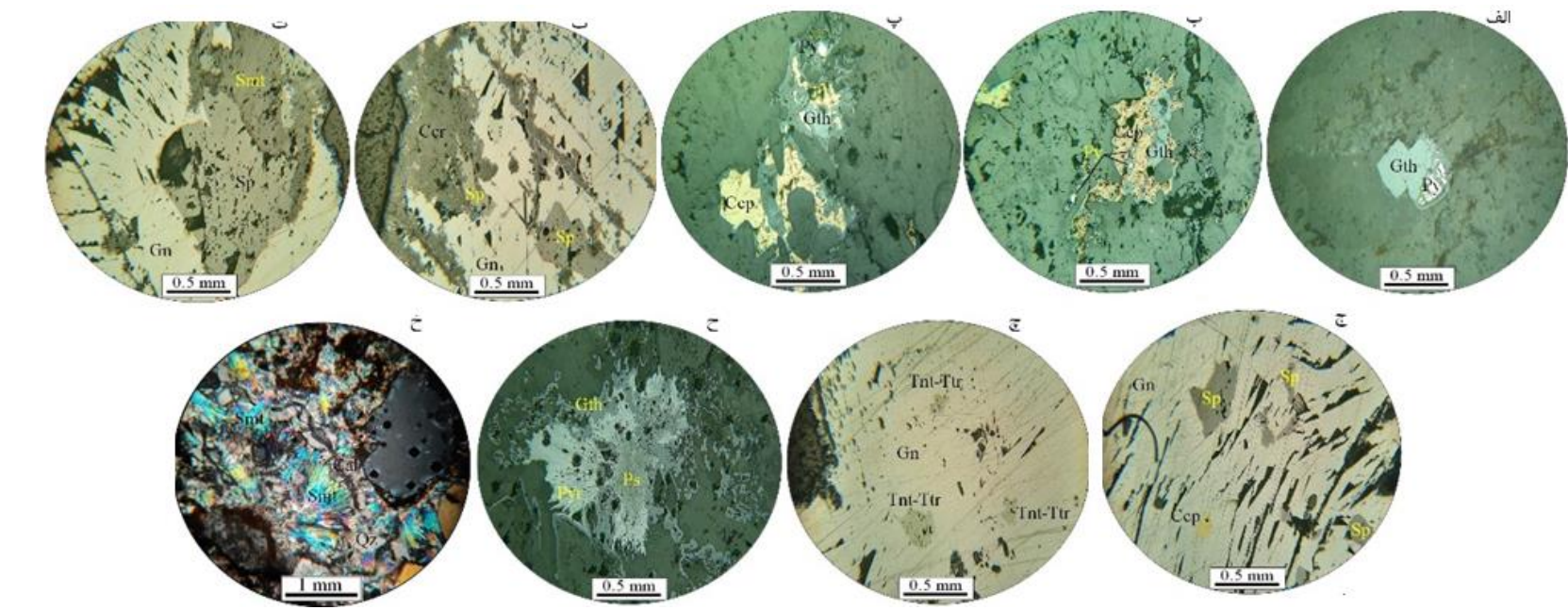
پایانی دگرسانی می‌باشد. دگرسانی پروپیلیتیک اغلب با جانشینی کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن توسط مجموعه کلریت-اپیدوت-سریسیت و کربنات مشخص می‌شود (شکل ۳-ح و خ). طی این دگرسانی، کوارتز به میزان کم در زمینه سنگ تشکیل شده است.



شکل ۳- الف و ب- دگرسانی سیلیسی به‌صورت رگه-رگچه‌ای کوارتزی (الف) و سیمان گرمایی برش‌ها (ب). پ و ت- دگرسانی آرزلیک به‌صورت تبدیل پلاژیوکلاز به سریسیت-ایلیت. ث تا ج- دگرسانی کربناتی به‌صورت همراهی کلسیت با کوارتز در سیمان گرمایی برش‌ها (ث)، بافت پُرکننده (ج) و رگچه‌های کلسیتی تأخیری (چ). ح و خ- تبدیل پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک به کلسیت و کلریت در دگرسانی پروپیلیتیک. (Cal): کلسیت، Chl: کلریت، Gn: گالن، Qtz: کوارتز، Ser: سریسیت، Vug: فضای خالی)

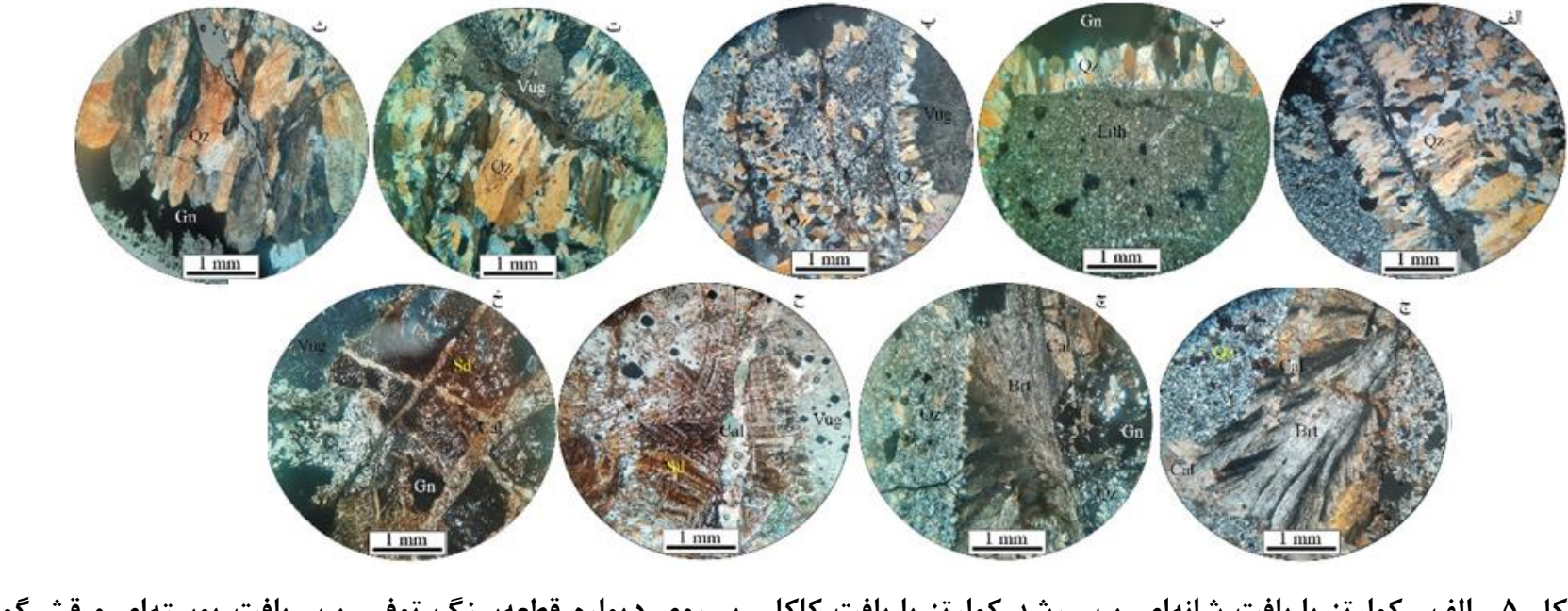
## کانی‌شناسی و ساخت و بافت

پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت همراه با اندکی پیرولوپسیت و پسیلوملان مواد معدنی در رخداد معدنی کورچشمه هستند. کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و سریسیت-ایلیت مواد باطله می‌باشند. گوتیت، سروزیت، اسمیت‌زونیت، ملاکیت و کوولیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌برکننده، رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، کاکلی، گل‌کلمی، پرمانند، بازماندی، پُرکننده فضای خالی و جانشینی می‌باشد. پیریت معمولاً به‌صورت بلورهای ریز تا متوسط و گاه درشت‌بلور بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده شده و اغلب به گوتیت دگرسان شده است (شکل ۴-الف). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از پیریت درون کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل ۴-ب). در برخی موارد، پیریت با کالکوپیریت هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۴-پ). کالکوپیریت معمولاً به‌صورت بلورهای ریز تا درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در بخش‌های کانه‌دار حضور دارد. این کانی معمولاً دارای ادخال‌هایی از پیریت است (شکل ۴-ب). در بیشتر بخش‌ها، کالکوپیریت توسط گوتیت و گاه کوولیت جانشین شده و بافت بارماندی و بعضاً اسکلتی نشان می‌دهد (شکل ۴-ب و پ). گالن اغلب به‌صورت بلورهای درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با رخ‌های مثلثی در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. در بیشتر بخش‌های کانه‌دار، گالن توسط سروزیت جانشین شده است (شکل ۴-ت و ث). گالن معمولاً با اسفالریت هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۴-ت و ث). در برخی از بخش‌ها، ادخال‌هایی از کالکوپیریت، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت درون گالن دیده می‌شود (شکل ۴-ج و چ). اسفالریت با فراوانی کمتر نسبت به گالن در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. این کانی عمدتاً به‌صورت بلورهای ریز تا متوسط بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار به رنگ عسلی (فقیر از آهن) دیده شده و معمولاً با گالن هم‌رشدی دارد (شکل ۴-ت و ث). در برخی از بخش‌ها، ادخال‌هایی از اسفالریت درون گالن دیده می‌شود (شکل ۴-ت و ج). در اثر فرایندهای برون‌زاد، اسفالریت به اسمیت‌زونیت دگرسان شده است (شکل ۴-ث). تنانتیت-تتراهدريت با فراوانی کم و به‌صورت ادخال‌های ریز بی‌شکل درون گالن حضور دارند (شکل ۴-چ). پیرولوپسیت و پسیلوملان با فراوانی محدود و به‌صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در رگه و رگچه‌های کربناته منگنزدار حضور دارند. این کانی‌ها معمولاً با یکدیگر هم‌رشدی داشته و ارتباط نزدیکی با گوتیت دارند (شکل ۴-ح). سروزیت و اسمیت‌زونیت معمولاً در بخش‌های کم‌عمق رگه‌های کانه‌دار دیده شده و به‌ترتیب جانشین گالن و اسفالریت شده‌اند (شکل ۴-ت و ث). اسمیت‌زونیت اغلب به‌صورت بلورهای با ساختار رشته‌ای و شعاعی در مسیر شکستگی‌ها و حفرات در بخش‌های هوازده سطحی دیده می‌شود (شکل ۴-خ). گوتیت محصول دگرسانی پیریت و کالکوپیریت است (شکل ۴-الف تا پ). ملاکیت معمولاً در بخش‌های سطحی دیده شده و بافت پُرکننده فضای خالی نشان می‌دهد.



شکل ۴- الف- بلور نیمه‌شکل‌دار پیریت با دگرسانی به گوتیت. ب- ادخال‌های ریز پیریت درون کالکوپیریت. پ- هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت. کالکوپیریت به گوتیت دگرسانی نشان می‌دهد. ت و ث- هم‌رشدی گالن و اسفالریت. دگرسانی گالن به سروزیت و اسفالریت و اسمیت‌زونیت نیز دیده می‌شود. ج- ادخال‌های اسفالریت و کالکوپیریت درون گالن. چ- ادخال‌های ریز تنانتیت-تتراهدريت درون گالن. ح- هم‌رشدی پیرولوپسیت و پسیلوملان در کنار گوتیت با بافت گل‌کلمی. خ- بلورهای شعاعی اسمیت‌زونیت با بافت پُرکننده فضای خالی. (Cal): کلسیت، Cep: کالکوپیریت، Cer: سروزیت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Ps: پسیلوملان، Py: پیریت، Qtz: کوارتز، Smt: اسمیت‌زونیت، Sp: اسفالریت، Tnt-Ttr: تنانتیت-تتراهدريت)

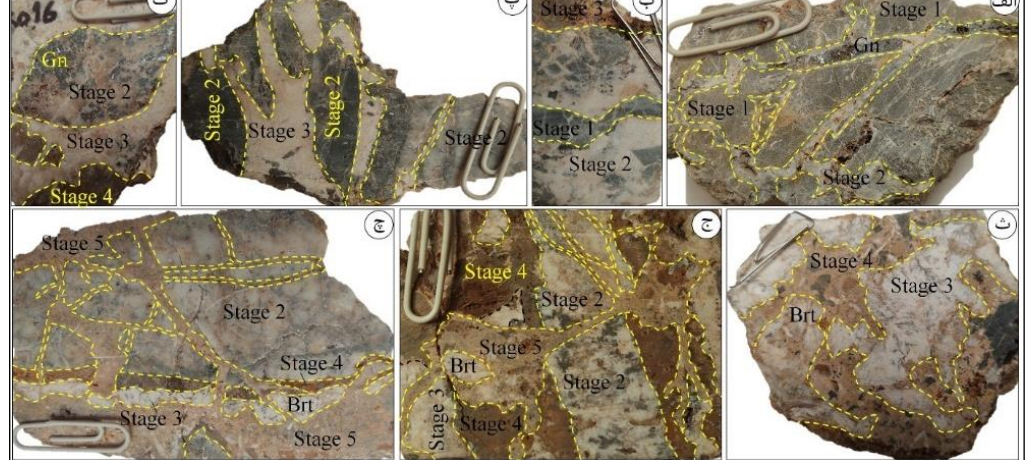
کوارتز مهم‌ترین کانی باطله در رخداد معدنی کورچشمه است که به‌صورت بلورهای ریز تا درشت بی‌شکل تا شکل‌دار (اندازه کمتر از ۲۰۰ میکرون تا ۱ سانتی‌متر) و یا توده‌ای در رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. کوارتزها اغلب بافت شانه‌ای و پُرکننده فضای خالی نشان می‌دهند (شکل ۵-الف). در برخی از بخش‌ها، کوارتزها دارای بافت‌های کاکلی، پوسته‌ای، گل‌کلمی و پرمانند هستند (شکل ۵-ب تا ث). باریت عمدتاً به‌صورت بلورهای رشته‌ای و شعاعی شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در مقاطع میکروسکوپی دیده شده و ابعاد طولی بلورهای آن گاه تا یک سانتی‌متر نیز می‌رسد (شکل ۵-ج و چ). کلسیت معمولاً بافت‌های رگچه‌ای و پُرکننده فضاهای خالی را نشان می‌دهد (شکل‌های ۳-ث و ج و ۵-ح تا خ). سیدریت در همراهی با کلسیت و با بافت پُرکننده فضاهای خالی در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است (شکل ۵-ح و خ). سریسیت-ایلیت به‌صورت بلورهای ریز (اندازه بین ۵ تا ۵۰ میکرون) در مقاطع نازک میکروسکوپی دیده می‌شوند (شکل ۳-پ و ت).



شکل ۵- الف- کوارتز با بافت شانه‌ای. ب- رشد کوارتز با بافت کاکلی بر روی دیواره قطعه‌سنگ توفی. پ- بافت پوسته‌ای و قشرگون کوارتز. ت و ث- بافت پرمانند بلورهای درشت کوارتز. ج و چ- بلورهای رشته‌ای و شعاعی باریت. ح و خ- سیدریت با بافت پُرکننده فضای خالی که توسط رگچه‌های کلسیتی تأخیری قطع شده است. (Bt): باریت، Cal: کلسیت، Lith: قطعه سنگ، Gn: گالن، Qtz: کوارتز، Sd: سیدریت، Vug: فضای خالی)

## مراحل کانه‌زایی و توالی پاراژنری کانی‌ها

کانه‌زایی در رخداد معدنی کورچشمه به شش مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول با سیلیسی‌شدن (کوارتزهای ریزبلور) سنگ‌های میزبان مشخص می‌شود. پیریت تنها کانی سولفیدی این مرحله است که بیشتر به‌صورت بلورهای ریز و بی‌شکل (اغلب اکسیده) با بافت دانه‌برکننده در متن سیلیسی‌شده سنگ دیده می‌شود. این مرحله توسط مراحل بعدی کانی‌سازی قطع و برشی شده است (شکل ۶-الف و ب). مرحله دوم با حضور رگه-رگچه‌ها (تا ۳۰ سانتی‌متر) و برش‌های گرمایی با سیمان کوارتز-سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و مقادیر اندکی تنانتیت-تتراهدريت) مشخص می‌شود. این مرحله از کانه‌زایی اغلب مرحله اول کانه‌زایی را قطع و برشی کرده (شکل ۶-الف و ب) و خود توسط مراحل بعدی کانه‌زایی قطع شده و بخش‌هایی از آن به‌صورت قطعات سنگی در سیمان گرمایی برش‌های مرحله سوم و چهارم کانه‌زایی دیده می‌شود (شکل ۶-ب تا ت و ج تا چ). کانه‌زایی مرحله سوم با حضور رگه و رگچه‌های باریتی (تا ۲۵ سانتی‌متر) مشخص می‌شود که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده و خود توسط رگه-رگچه‌های کلسیتی-سیدریتی و کلسیتی مراحل چهارم و پنجم کانه‌زایی قطع و برشی شده‌اند (شکل ۶-ب تا چ). هیچ کانی سولفیدی در این مرحله تشکیل نشده است. مرحله چهارم با حضور کربنات (کلسیت و سیدریت) همراه با اندکی کانه‌های منگنز (پیرولوپسیت و پسیلوملان) به‌صورت رگچه‌ای و پُرکننده فضاهای خالی مشخص می‌شود. ضخامت رگه-رگچه‌های کربناتی این مرحله تا ۱۵ سانتی‌متر می‌رسد. رگچه‌های کربناتی این مرحله معمولاً مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده و خود توسط رگچه‌های کلسیتی مرحله پنجم قطع شده‌اند (شکل ۶-ت تا چ). مرحله پنجم یک مرحله عقیم بعد از کانه‌زایی بوده و به آخرین فعالیت‌های گرمایی مرتبط است. این مرحله با حضور رگه و رگچه‌های کلسیتی (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) مشخص می‌شود که مراحل قبلی کانه‌زایی را قطع کرده‌اند (شکل ۶-ج و چ). هیچ کانی سولفیدی و اکسیدی با این مرحله مشاهده نمی‌شود. مرحله ششم کانه‌زایی مربوط به فرایندهای برون‌زاد بوده و با کانی‌های گوتیت، سروزیت، اسمیت‌زونیت و ملاکیت با بافت‌های پُرکننده فضای خالی، بازماندی و جانشینی مشخص می‌شود. توالی پاراژنری کانی‌ها در رخداد معدنی کورچشمه در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۶- تصاویر نمونه دستنی از مراحل کانه‌زایی در رخداد معدنی کورچشمه. برای توضیح به متن مراجعه شود. (Bt: باریت، Gn: گالن)

	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Supergene
Pyrite						
Chalcopyrite						
Galena						
Sphalerite						
Tennantite-Tetraohrite						
Pyrolopite						
Psilomelan						
Malachite						
Covellite						
Cerussite						
Smithsonite						
Goethite						
Quartz						
Sericite-illite						
Barite						
Calcite						
Siderite						
Disseminated						
Unconsolidated						
Vein-Veinlets						
Concretion						
Cockle						
Columnar Crustiform						
Plumose						
Vug Infill						
Ballot						
Replacement						

شکل ۷- مراحل کانه‌زایی، توالی پاراژنری و ساخت و بافت مواد معدنی و باطله در رخداد معدنی کورچشمه.

## تیپ کانه‌زایی

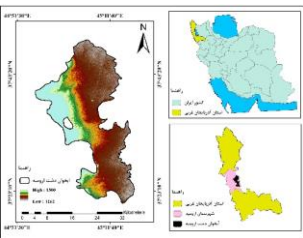
نتایج مطالعات صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد: ۱- کانه‌زایی در رخداد معدنی کورچشمه درون واحدهای آشفشانی و آذرآواری رخ داده و توسط ساختارهای گسلی کنترل شده است. ۲- دگرسانی‌های گرمایی در کورچشمه با مجموعه کانی‌های دگرسانی دما پایین تا متوسط مانند سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت در نزدیکی رگه‌های کانه‌دار مشخص می‌شود. ۳- مجموعه کانیاپی در کورچشمه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت همراه با اندکی پیرولوپسیت و پسیلوملان است که با مجموعه کانی‌های باطله کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و کورچشمه شامل رگه-رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای (قشرگون)، کاکلی، گل‌کلمی، پرمانند، بازماندی، پُرکننده فضای خالی است. مقایسه این ویژگی‌ها با انواع کنسارهای فلزات پایه و گران‌بها نشان می‌دهد که این مجموعه کانیاپی، ساخت و بافت و الگوی دگرسانی بیشترین شباهت را با کنسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط (Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist et al., 2000; Gemmel, 2004; Wang et al., 2019) دارد. نبود بافت کوارتز حفره‌ای و دگرسانی آرزلیک پیشرفته با مجموعه کانی‌های آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت و همچنین نبود مجموعه کانی‌های آدولاریا، انارژیت، لوزونیت و تنانتیت در رگه‌های کانه‌دار کورچشمه بیانگر متفاوت بودن کانه‌زایی در این رخداد معدنی از کنسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون پایین و بالا است. همچنین، کانی‌های دگرسانی (مجموعه سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت) در رخداد معدنی کورچشمه جزء دگرسانی‌های گرمایی حرارت پایین تا متوسط هستند که شاخص کانی‌های دگرسانی در کنسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط می‌باشند (Hedenquist et al., 2000; Albinson et al., 2001; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

## نتیجه‌گیری

کانه‌زایی در رخداد معدنی کورچشمه به‌صورت رگه‌های سیلیسی-باریتی-کربناتی حاوی سرب، روی و مس درون توالی توفی-گدازه‌ای ائوس رخ داده و توسط هاله‌های دگرسانی آرزلیک متوسط احاطه شده است. شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، الگوی دگرسانی‌ها، کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کورچشمه نشان می‌دهد که این رخداد معدنی از نوع کنسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه نوع سولفیداسیون حدواسط بوده و از این نظر قابل مقایسه با سایر کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهرها است. ژئومتری رگه‌های کانه‌زایی در رخداد معدنی کورچشمه و دیگر کانه‌زایی‌های اپی‌ترمال در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهرها نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانه‌ساز بوده‌اند. همچنین، این کانه‌زایی‌ها اغلب درون توالی توفی-گدازه‌ای ائوس و در ارتباط فضایی نزدیک با توده‌های گرانیتوئیدی ائوس میانی تشکیل شده‌اند. از این رو، بررسی پهنه‌های گسلی موجود در توالی سنگی ائوس به‌ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های گرانیتوئیدی قرار گرفته‌اند، از نظر اکتشاف کنسارهای اپی‌ترمال می‌تواند حائز اهمیت باشد.



**منطقه مورد مطالعه:** آبخوان دشت ارومیه در شمالغرب ایران و در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این منطقه بوسیله ارتفاعاتی



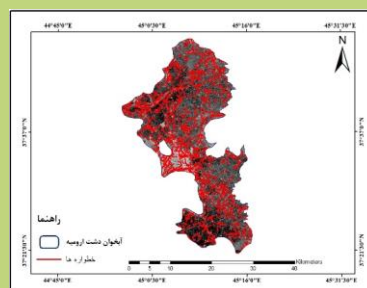
همچون کوه سیر، کوه قیز قلعه، کوه جهودها، کوه چهل مر شهیدان، کوه ماه، کوه علی پنجه سی و کوه علی ایمان آن را احاطه کرده است. کهن ترین رخنمون های منطقه مجموعه ای از سنگ های دگرگونی آمفیبولیت، گنایس، شیبست، متاولکانیک، متادیوریت و متاگابرو است که به پرکامبرین تعلق دارند و در باختر ورقه رخ نموده اند. ریخت شناسی کنونی منطقه ناشی از فعالیت پایانی چرخه آلبی (پاسادین) است. سنگ های رخنمون یافته در این منطقه شامل سنگ های سنوزوییک و پالئوزوییک و سنگ های نفوذی می باشند

**مواد ورودی ها:** در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه و انجام پردازش های مختلف روی آنها، خطواره های گسلی با دقت شناسایی شد. داده های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: (۱) تصویر ماهواره ای: داده های رقومی از ماهواره Landsat 8 (دانلود از سایت usgs earth explorer) به شماره های گذر ۱۶۹ و ردیف ۳۴ می باشد این داده ها مربوط به سال ۲۰۲۳ میلادی هستند. (۲) نقشه زمین شناسی ارومیه، اشونیه، سرو- گنگچین با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور). برای پردازش و تعبیر و تفسیر داده های رقومی، و تهیه نقشه ها، سه گروه نرم افزاری زیر مورد استفاده قرار گرفت: جهت پردازش اطلاعات رقومی ماهواره ای، نرم افزار ENVI 5.6 و PCI Geomatica 2016 استفاده شده است. جهت تلفیق داده ها و تولید نقشه آثار گسلش- شکستگی، نرم افزار Arc map 10.8 مورد استفاده قرار گرفت. جهت ترسیم رزدیاگرام از نرم افزار Rock Work 16 استفاده شده است. در این پژوهش خطواره های آبخوان دشت ارومیه به روش اتوماتیک استخراج شد (شکل A). سپس رزدیاگرام خطواره ها نیز تهیه شد که شامل درصد فراوانی و درصد طولی خطواره ها می باشند نشان می دهد راستای غالب خطواره ها شمال شرق- جنوب غرب است (شکل B). در آخر نقشه چگالی خطواره ها استخراج گردید (شکل C).

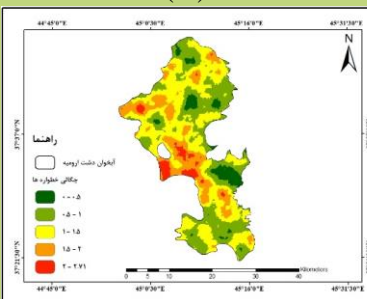
**نتیجه گیری:** با بررسی نقشه خطواره ها و مقایسه آن با خطوط جاده ای این ناحیه نتیجه ای که حاصل شد قابل تامل است. بسیاری از خطواره های استخراج شده به روش اتوماتیک با خطوط جاده ای تطابق دارند و این خود گواه بر قابل اعتبار نبودن استخراج خطواره ها به این روش می باشد. پس باید برای تهیه نقشه خطواره ها فقط به این روش اکتفا نکرد و با استفاده از روش دستی و نیمه اتوماتیک خطوط بررسی شوند و در نهایت خطوط اضافی و نادرست را از نقشه حذف کرد تا نقشه خطواره ای تهیه شده قابل اطمینان واقع شده و از اعتبار و دقت کافی برخوردار شود.

**منابع:** نظری سامانی، ع، و همکاران، ۱۳۹۷. بررسی وضعیت خطوارگی سازندهای کارستی حوزه های آبخیز مشرف به خلیج فارس، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۳، شماره ۱، ۱۸۱-۱۶۷.

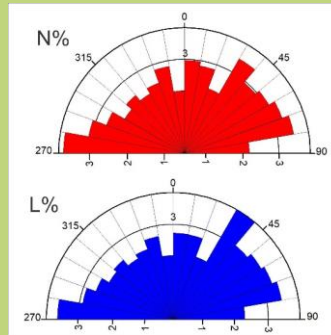
Hashim, M., Ahmad, S., Johari, M. A. M., Pour, A. (2013). Automatic lineament extraction in a heavily vegetated region using Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) imagery. 51(5), 874-890



(A)



(B)



(C)

**عنوان مقاله:**

استخراج اتوماتیک خطواره های آبخوان دشت ارومیه با استفاده از تصویر ماهواره لندست ۸  
Automatic extraction of aquifer contours of Urmia plain using Landsat 8 satellite image

**نویسندگان:**

ساراخنجری، اکرم علیزاده، فریبا همتی

**کد مقاله:**

gsoi26-00480088

**چکیده:** شناخت ویژگی خطواره های هر منطقه که شامل گسل ها و شکستگی ها می شود در مطالعات زمین شناسی، هیدروژئولوژی و اکتشاف ذخایر معدنی ضروری است. نقشه خطواره ها معمولاً با استفاده از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای استخراج می شوند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، خطواره ها و شکستگی های منطقه با روش اتوماتیک استخراج گردید و میزان اعتبار نقشه تهیه شده مورد بررسی قرار گرفت

**واژه های کلیدی:** استخراج خطواره ها، آبخوان دشت ارومیه، تصاویر لندست ۸

**مقدمه:** شناخت و تهیه نقشه خطواره ها به منظور بررسی الگو، تراکم و نحوه شکستگی موجود در سازندهای زمین شناسی در محدوده های وسیع و دور از دسترس مطالعه منابع آب و نیز اکتشاف ذخایر معدنی دارای اهمیت فراوان است. خطواره ها خطوط مشخص موجود در سیما زمین هستند که توسط درزه ها و گسل ها ایجاد شده اند و بازگو کننده معماری زیرزمینی سازند است. برای تهیه نقشه خطواره ها از روش های اتوماتیک، نیمه اتوماتیک و دستی استفاده می شود. در بیشتر مواقع برای استخراج خطواره ها و تهیه نقشه آن فقط از روش اتوماتیک استفاده می شود و به آن بسنده می کنند به همین دلیل بررسی این روش و اطمینان حاصل کردن از میزان دقت و درستی آن بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش استخراج خطواره ها به روش اتوماتیک انجام شد. خطواره های استخراج شده به وسیله روش اتوماتیک شامل چند دسته هستند؛ از جمله ساختارهای زمین شناسی (گسل ها، درزه ها، و ...)، ویژگی های ژئومورفولوژیکی (خطوط دره ای، تراس ها، صخره ها) و فعالیت های انسانی (جاده ها، ساختمان ها، معادن و ...) پس همه خطواره های استخراج شده با این روش مربوط به ساختارهای تکتونیکی نیستند.





بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲  
دانشگاه ارومیه



# تحلیل ساختاری گسل های معدن آهن شماره ۴ گل گهر، کمر بند دگرگونی سندج-سیرجان

حسین خورشیدی پاچی\*<sup>۱</sup>، مجید شاه پسندزاده<sup>۲</sup>، سعیده کشاورز<sup>۳</sup>، محمد جواد قرائت<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. [h.khorshidi1365@gmail.com](mailto:h.khorshidi1365@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. [m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir](mailto:m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. [s.keshavarz2007@yahoo.com](mailto:s.keshavarz2007@yahoo.com)

<sup>۴</sup> دانشیار گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران. [vahid.gharaat@gmail.com](mailto:vahid.gharaat@gmail.com)

## چکیده

ساختارهای زمین شناسی به ویژه گسل ها نقش مهمی در کنترل و دگرشکلی ماده معدنی در منطقه معدنی گل گهر داشته اند. در این پژوهش با استفاده از تهیه نقشه های ساختاری بزرگ مقیاس، گسل های معدن آهن شماره ۴ گل گهر مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس ویژگی های هندسی و کینماتیک گسل ها، سه دسته گسل در این معدن شناسایی شده است. گسل های عادی با مولفه راستالغز ESE-WNW به علت توازی با شیستوزیته سنگهای دگرگونی باعث ریزش در دیواره شمالی معدن شده اند. گسل های عادی NW-SE با جابه جایی واحدهای سنگی و نهشته های آبرفتی معدن همراه هستند. این گسل ها مرز بین ماده معدنی با سنگ میزبان را تشکیل داده و در نتیجه می توانند نقش قابل توجهی در جایگزینی اولیه ماده معدنی داشته باشند. گسل های راستالغز با مولفه عادی N-S تا INNE-SSW اغلب در واحدهای شیستی هوازده دیواره جنوبی معدن سبب قطع و جابه جایی دو دسته گسل دیگر شده اند. این گسل ها نقش مهمی در دگرشکلی و جابه جایی ماده معدنی داشته اند.

## ۱-مقدمه

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی پهنه دگرگونی سندج-سیرجان قرار دارد. این پهنه دگرگونی با روند شمال باختر- جنوب خاور (از ارومیه و سندج در شمال غرب تا سیرجان و اسفندقه در جنوب شرق ایران) به موازات راستای غالب کوهزاد زاگرس گسترش دارد. ماگماتیسم-دگرگونی و گسلش در این پهنه دگرگونی شرایط مناسبی را برای تشکیل ذخایر فراوانی از کانسارهای فلزی مانند کانسارهای آهن گل گهر (منطقه معدنی گل گهر، سیرجان)، توتک، دهبید (فارس)، شمس آباد (اراک)، باباعلی (همدان) و داش آغل (آذربایجان غربی) گزارش شده است (Rajabzadeh, and Rasti, 2012; Mirzaei et al., 2018; Jafari et al., 2019; Alibabaei et al., 2020). ساختارها، به ویژه گسل ها نقش مهمی در کنترل ساختاری و دگرشکلی ماده معدنی داشته اند. در این پژوهش گسل های معدن آهن شماره ۴ گل گهر مورد بررسی قرار می گیرد.

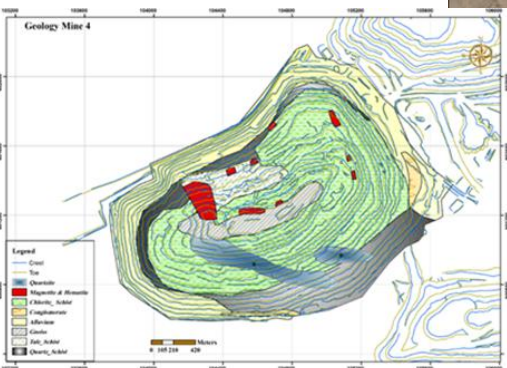
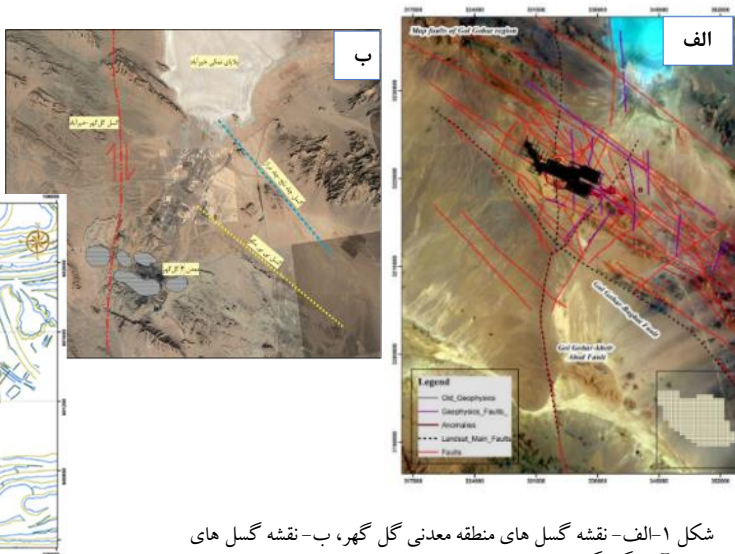
## ۲-زمین شناسی

راندگی گل گهر-باغات از ۲ کیلومتری باختر منطقه معدنی گل گهر شروع شده و تا نزدیکی باغات ادامه دارد (شکل ۱). این راندگی با طولی ۵۰ کیلومتر و امتداد شمال باختر-جنوب خاور با شیبی به سمت شمال خاور است. گسل راستالغز راستبر گل گهر شامل مجموعه ای از گسل های راستالغز راستبر با راستای کلی شمالی-جنوبی و طول تقریبی ۱۱۵ کیلومتر است. گسل چاه تلخ چاه دراز با راستای شمال باختر-جنوب خاور به موازات راندگی گل گهر-باغات از شمال خاور منطقه معدنی گل گهر می گذرد. در خاور معدن گل گهر رشته کوه بی بی مگو با ارتفاع حدود ۱۸۱۵ متر دیده می شود. گسل با راستای شمال باختر-جنوب خاور بی بی مگو در محل تلاقی با گسل گل گهر-خیرآباد، به سمت شمال تمایل بیشتری پیدا می کند. منطقه معدنی گل گهر در محل تلاقی راندگی گل گهر-باغات با گسل راستالغز راستبر گل گهر-خیرآباد قرار دارد (شکل ۱).

ذخایر مگنتیت-هماتیت گل گهر به طور عمده در مجموعه دگرگونی گل گهر (تناوبی از ارتوگنیس، میکاشیست، آمفیبولیت و کوارتزشیست در بخش پایینی و ارتوگنیس و کوارتزشیست در بخش های بالایی) تشکیل گردیده که در زیر مجموعه دگرگونی کر سفید (به طور عمده شامل تناوب مرمر و شیست) قرار گرفته است (شکل ۲). واحدهای سنگی مزوزویک و سنوزویک (شامل کنگلومرا، سنگ آهک ریفی، ماسه سنگ های آهکی، شیل و توربیدایت) و آبرفت های کوارترنی در منطقه معدنی گل گهر گسترش دارند (Mücke and Younessi, 2004, Aftabi et al., 2021)

شکل ۱-الف- نقشه گسل های منطقه معدنی گل گهر، ب- نقشه گسل های معدن آهن گل گهر.

شکل ۲- نقشه زمین شناسی معدن شماره ۴ گل گهر.



۳- روش تحقیق

در این پژوهش، ویژگی های ساختاری گسل های معدن آهن شماره ۴ گل گهر شامل امتداد، شیب و جهت شیب سطح گسل، میل و روند یا ریک خش لغزها یا فیبرهای لغزشی با کمپاس برانتون اندازه گیری و بر روی نقشه زمین شناسی معدن پیاده گردید. هم چنین، سازوکار گسل ها و جنس و ساختارهای موجود در سنگ های فرادیواره، فرودیواره گسل ها و پهنه گسلی نیز در مطالعات صحرایی مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا، براساس نقشه های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیرجان و گل گهر، نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. برداشت پارامترهای هندسی و کینماتیکی گسل ها از تراز طبیعی زمین (پله ۱۷۵۵ متر) تا کف کنونی کاواک (پیت) معدن (پله ۱۵۳۰ متر)، با ارتفاع متوسط هر پله ۱۵ متر، به مدت سه ماه انجام گرفته است. در مجموع در پله های مختلف کاواک معدن، داده های ساختاری گسل ها در ۱۲۴ ایستگاه جمع آوری و ثبت گردیده است. سپس با استفاده از نرم افزار Faultkin داده های ساختاری تحلیل و به وسیله نرم افزار ArcGIS نقشه گسل های معدن مورد مطالعه تهیه شد.

۴- تحلیل گسل ها

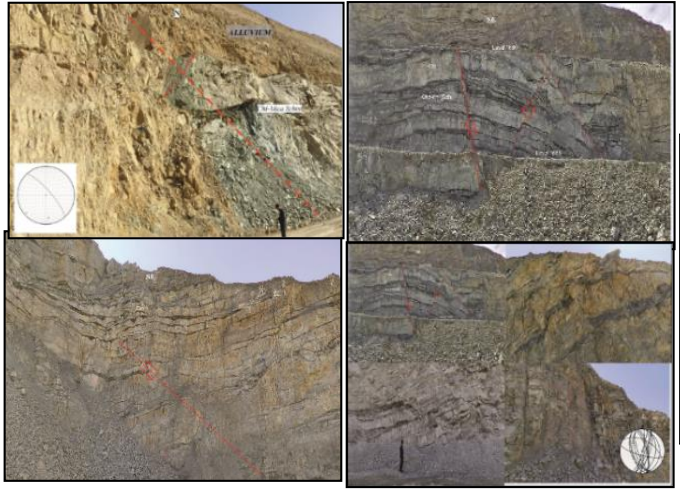
**گسل های با راستای ESE-WNW**  
گسل های با راستای ESE-WNW اغلب به موازات شیستوزیته سنگ های دگرگونی در بخش مرکزی معدن یافت می شوند (اشکال ۳ و ۴). این گسل ها در دیواره خاوری و باختری معدن نهشته های آبرفت جابه جا کرده اند. شواهد میدانی و تحلیل کینماتیک خش لغزها بیانگر این است که سازوکار غالب این گسل ها عادی با مولفه راستالغز است. به علت توازی سطح گسل با شیستوزیته، این گسل ها یکی از دلایل عمده ناپایداری دیواره، به ویژه در دیواره شمالی معدن هستند.

**گسل های با راستای NW-SE**

اگرچه گسل های با راستای NW-SE به فراوانی گسل های با راستای شمالی-جنوبی نیستند، اما بیشترین تاثیر را بر ساختار و ریختار نه تنها معدن شماره ۴ گل گهر، بلکه بر کل منطقه معدنی گل گهر داشته اند. این گسل ها آبرفت های کواترنری را در سطح زمین قطع نموده و از فعال ترین سیستم های گسلی منطقه به حساب می آیند. این گسل ها معمولاً تا کف کاواک معدن ادامه پیدا کرده اند و در بسیاری نقاط مرز بین مگنتیت-هماتیت با سنگ میزبان را تشکیل می دهند (اشکال ۳ و ۴). بنابراین به احتمال این گسل ها نقش مهمی در کانه زایی اولیه ماده معدنی داشته اند.

**گسل های با راستای N-S تا NNE-SSW**

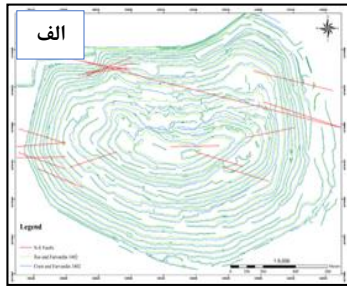
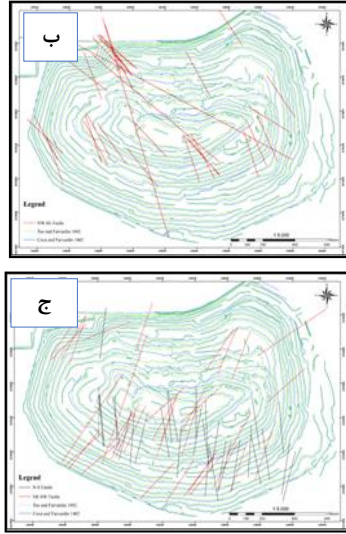
از دیگر ساختارهای اصلی در محدوده معدن مورد مطالعه، گسل های با راستای N-S تا NNE-SSW است که اغلب در واحدهای شیستی هوازده دیواره جنوبی کاواک معدن مشاهده می شوند (اشکال ۳ و ۴). این گسل ها در برخی از بخش های کاواک معدن سبب قطع و جابه جایی دو دسته گسل دیگر با راستای غالب ENE-WSW و NW-SE شده اند. با در نظر گرفتن موقعیت مکانی ماده معدنی، می توان نتیجه گرفت که این گسل ها نقش مهمی در جابه جایی ماده معدنی داشته اند.



شکل ۳- نمای صحرایی دسته گسل های معدن آهن شماره ۴ گل گهر.

۵- نتیجه گیری

بنابر این پژوهش، سه دسته گسل در معدن شماره ۴ گل گهر شناسایی شده است. گسل های با راستای ESE-WNW و سازوکار عادی با مولفه راستالغز اغلب به علت توازی با شیستوزیته سنگهای دگرگونی سبب ریزش در دیواره شمالی کاواک معدن شده اند. میانگین امتداد این گسل ها ۷۰-۹۰ درجه شمالی با شیب ۴۰-۸۵ درجه (میانگین ۶۰ درجه) به سمت جنوب است. گسل های عادی با راستای NW-SE ساختار و ریختار معدن شماره ۴ گل گهر را کنترل کرده و سبب جابه جایی واحدهای سنگی و نهشته های آبرفتی به میزان ۱-۶۰ متر شده اند. این در بسیاری نقاط مرز بین مگنتیت-هماتیت با سنگ میزبان را تشکیل داده و به احتمال نقش مهمی در جایگزینی اولیه ماده معدنی داشته اند. گسل های با راستای N-S تا NNE-SSW اغلب در واحدهای شیستی هوازده دیواره جنوبی کاواک معدن مشاهده می شوند؛ این گسل ها سبب قطع و جابه جایی دو دسته گسل دیگر شده اند. این گسل ها ادامه بخش انتهایی گسل راستالغز راست بر گل گهر-خیرآباد با سازوکار غالب راستالغز با مولفه عادی را تشکیل می دهند. این گسل ها نقش مهمی در دگرشکلی و جابه جایی ماده معدنی داشته اند.



شکل ۴- الف- گسل های با روند ESE-WSW. ب- گسل های با روند NW-SE. ج- گسل های با روند N-S تا NNE-SSW.

۶- تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از پایان نامه نویسنده اول مقاله را در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان تشکیل می دهد. بدین وسیله از شرکت معیار صنعت خاور میانه بابت فراهم نمودن امکان مطالعات ساختاری در معدن گل گهر (شماره ۴) تشکر و قدردانی می شود.

۷- مراجع

Aftabi, A., Atapour, H., Mohseni, S., Babaki, A., 2021. Geochemical discrimination among different types of banded iron formations (BIFs): A comparative review. Ore Geology Reviews, 136, 104244.  
Alibabaie, N., Esmaeily, D., Peters, S. T. M., Horn, I., Gerdes, A., Nirooamand, S., & Lehmann, B., 2020. Evolution of the Kiruna-type Gol-e-Gohar iron ore district, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. Ore Geology Reviews, 127, 103787.  
Jafari, A., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., Shafaroudi, A. M., & Ren, M., 2019. Geochemistry of metamorphic rocks and mineralization in the Golgohar iron ore deposit (No. 1), Sirjan, SE Iran: Implications for paleotectonic setting and ore genesis. Journal of Geochemical Exploration, 205, 106330  
Mirzaei, R., Ahmadi, A., Mirnejad, H., Gao, J. F., Nakashima, K., & Boomeri, M., 2018. Two-tiered magmatic-hydrothermal and skarn origin of magnetite from Gol-Gohar iron ore deposit of SE Iran: In-situ LA-ICP-MS analyses. Ore Geology Reviews, 102, 639-653.





بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران  
۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲  
دانشگاه ارومیه



# مدل سازی زمین ساختاری کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر (شماره ۴)، پهنه دگرگونی سندج-سیرجان

حسین خورشیدی پاچی\*<sup>۱</sup>، مجید شاه پسندزاده<sup>۲</sup>، سعیده کشاورز<sup>۳</sup>، محمد جواد قرائت<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. h.khorshidi1365@gmail.com

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. [m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir](mailto:m.shahpasandzadeh@kgut.ac.ir)

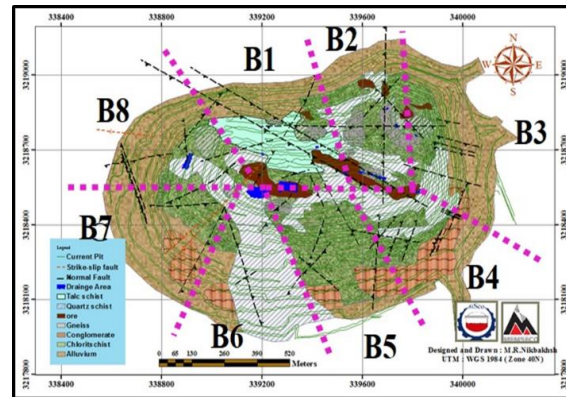
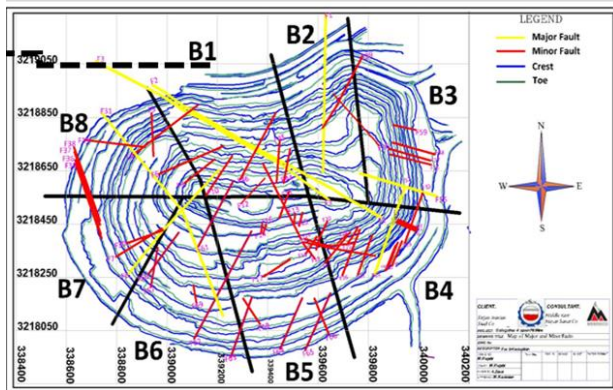
<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. s.keshavarz2007@yahoo.com

<sup>۴</sup> دکتری زمین شناسی، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز ایران. vahid.gharaat@gmail.com

چکیده

مدل سازی سه بعدی زمین ساختاری کانسارها سبب درک بهتر الگوی ساختاری-کانه‌زایی و بهینه نمودن طراحی استخراج این ذخایر می شود. تاکنون نقش ساختارها در تبیین مدل سه بعدی زمین شناسی کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر (شماره ۴) بررسی نشده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های اکتشافی و برداشت ساختارهای گسلی، مدل سه بعدی زمین ساختاری کانسار فوق تهیه و نقش گسل ها در جایگزینی و دگرشکلی ماده معدنی مورد بررسی قرار گرفته است. بنابر توزیع مکانی و ویژگی های هندسی-کینماتیک گسل ها، مدل سه بعدی زمین ساختاری این کانسار نشان می دهد که ارتباط مکانی نزدیکی بین ماده معدنی با پهنه‌های گسلی وجود دارد. در واقع، گسل های با راستای NW-SE به عنوان قدیمی ترین گسل های کانسار مورد مطالعه، ضمن تجدید فعالیت خود به احتمال جایگزینی ماده معدنی را کنترل کرده اند. به علاوه، مدل سازی سه بعدی گسل ها نشان می دهد که گسل های با راستای NNE-SSW تا N-S سبب دگرشکلی و جابه جایی ماده معدنی شده اند.

۱-مقدمه



## ۲-زمین شناسی

کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر در توالی رسوبی-آذرآواری پروتروزوییک پسین تا پالئوزوییک پیشین گل گهر شامل الترامافیک ها (سرپانتینت ها)، گابروهای دگرگون شده، میکاشیست ها، گنیس ها، آمفیبولیت ها، مرمر و مرمرهای دولومیتی، و کوارتزیت تشکیل شده است (شکل ۱) (بابکی و آفتابی، ۱۳۸۵؛ Mücke and Younessi, 2004).

درباره منشأ و مدل زایشی کانسارهای آهن منطقه معدنی گل گهر نظریات گوناگونی پیشنهاد شده است. برخی از آن ها، پیدایش کانسار را به فرآیندهای رسوبی-شیمیایی وابسته دانسته اند (Ljung, 1976; Valeh, 1977). برخی دیگر، خاستگاه آتش فشانی-رسوبی-متصاعدی را برای این کانسارها پیشنهاد کرده اند (خلیلی مبرهن، ۱۳۷۲؛ Aftabi et al., 2021; Jafari et al., 2019).

اسکارن (Mirezaei et al., 2018; Alibabaei et al., 2020) را پیشنهاد کرده‌اند. آفتابی و همکاران (Aftabi et al., 2021) با تلفیق مطالعات قبلی و یافته های جدید خود یک نقشه جهانی از کانسارهای آهن BIF ارایه کرده اند. از دیدگاه این پژوهشگران مدل زایشی کانسارهای آهن در گستره معدنی گل گهر، سازند آهن نواری از نوع ادیاکارن (Ediacaran BIFs) است.

مهمترین کانسارهای آهن ایران در نواحی یافق (مانند معادن چغارت، چادرملو، چاه گز، سه چاهون)، سیرجان (مانند معدن گل گهر)، زرنند (مانند معدن جلال آباد) و شمال شرق ایران (مانند معدن سنگان) قرار دارند. از دیدگاه زمین‌شناسی، ناحیه معدنی گل گهر در بخش جنوبی پهنه دگرگونی سندج-سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱). این پهنه دگرگونی در جنوب غرب ایران مرکزی، بلافاصل شمال شرق راندگی اصلی زاگرس با طولی حدود ۱۵۰۰ کیلومتر از غرب دریاچه ارومیه تا شرق بندرعباس (حوالی حاجی‌آباد) ادامه دارد. در مدل های زمین آماری، برای درک الگوی زایشی کانسار، مدل‌های زمین‌شناسی و هم چنین طراحی استخراج، شناسایی تنوع مرز واحدهای سنگی و عدم قطعیت ها ضروری است. یک چالش مهم در ارزیابی منابع معدنی، مدل‌سازی عدم قطعیت مرزها و لحاظ ساختارهای زمین شناسی در بلوک بندی مدل است. در مدل های بلوکی تهیه شده کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر، خلأهای ساختاری قابل توجهی مشاهده می شود. در این پژوهش، مدل زمین ساختاری کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر (شماره ۴) مورد بررسی قرار گرفته است. مدل زمین ساختاری تهیه شده نقش مهمی در بهینه نمودن مدل اکتشافی و هم چنین طراحی استخراج و توسعه مناسب معدن در منطقه معدنی گل گهر خواهد داشت.

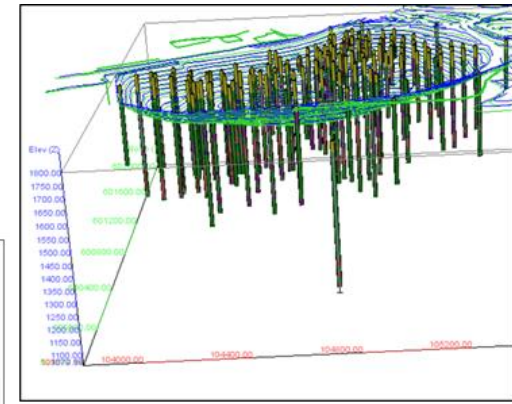
شکل ۱- الف) نقشه زمین شناسی و ب) کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر (شماره ۴).

## ۳-روش تحقیق

در ابتدا هندسه و کینماتیک گسل‌های موجود در کانسار مگنتیت-هماتیت گل گهر (شماره ۴) شامل امتداد، شیب، جهت شیب و خش لغز گسل ها به وسیله کمپاس زمین‌شناسی اندازه گیری و سازوکار آن ها ثبت گردید. سپس به وسیله نرم افزار ArcGIS نقشه گسل های کانسار رسم گردید. پس از اعتبارسنجی و تصحیح اطلاعات، داده های ۱۴۲ گمانه اکتشافی با مترآز کلی ۴۵۶۶۸ متر مورد استفاده قرار گرفته است. فاصله متوسط شبکه حفاری های اکتشافی در راستای شمال-باختر-جنوب خاور و راستای عمود بر آن ۷۵ متر است؛ البته در برخی موارد فاصله بین گمانه های اکتشافی به کمتر از ۷۵ متر کاهش و در برخی موارد هم به ۱۰۰ متر هم افزایش یافته است. در مرحله آخر، مدل سه بعدی زمین ساختاری کانسار به-وسیله نرم افزار Gemcom GEMS V6.5 تهیه گردید.

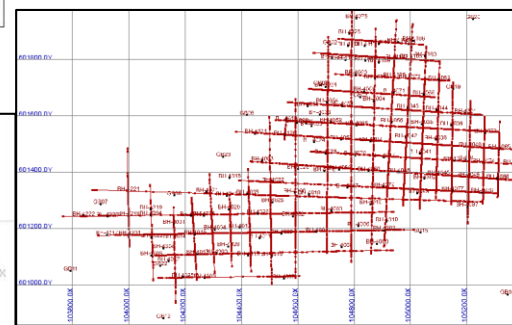
۴-مدل سازی

تهیه مدل‌های سیمی به‌عنوان اولین قدم در مدل‌سازی سه بعدی گسل‌های کانسار است. در واقع مدل‌های سیمی نشان‌دهنده هندسه و گسترش فضایی گسل‌ها در عمق هستند. مدل‌های سیمی دو گروه عمده مدل‌های سطحی و عمقی تقسیم می‌شوند. مدل‌های سطحی با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از سطح شناخته می‌شوند که شامل مدل توپوگرافی است. مدل سیمی توپوگرافی کانسار مورد مطالعه بعد از وارد کردن داده‌های توپوگرافی (فایل اتوکد) در نرم افزار Datamine ساخته شده است. مدل‌های عمقی با استفاده از اطلاعات عمقی به‌دست‌آمده از حفاری‌های اکتشافی ساخته می‌شوند. این مدل‌ها با تعبیر و تفسیر پارامترهای زمین‌شناسی مانند هندسه و کینماتیک گسل‌ها تهیه می‌شوند. برای درک بهتر کنترل‌کننده‌های ساختاری در کانسار مورد مطالعه، اطلاعات لاگ زمین‌شناسی گمانه‌ها و هم‌چنین عیار نمونه‌ها بررسی شده است (شکل ۲). گسل‌های اصلی موجود در محدوده کانی‌زایی مدل‌سازی و از آن‌ها در ساخت مدل سه‌بعدی زمین‌ساختاری کانسار استفاده شده است.



شکل ۲- تصویر سه بعدی گمانه‌های اکتشافی در کانسار مگنتیت-هماتیت گل‌گهر (شماره ۴).

در این پژوهش با استفاده از اطلاعات گمانه‌های اکتشافی، تعداد ۱۸ مقطع قائم (شکل ۲) در راستای شمال-باختری-جنوب خاوری، ۲۱ مقطع قائم در راستای جنوب-خاوری-شمال-باختری و ۱۰ مقطع قائم نیز در راستای خاوری-باختری ترسیم شده است (شکل ۳). در شکل ۴ مقاطع قائم در فضای سه بعدی کانسار نشان داده شده است. پس از ترسیم مقاطع عمودی، مقاطع افقی مجازی ایجاد شده است با استفاده از مقاطع قائم، نقشه‌های زمین‌شناسی (پلان‌ها) تهیه می‌شوند. در این مطالعه از این مقاطع قائم برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی در سطوح تراز ارتفاعی متفاوتی با اختلاف ارتفاع ۱۵ متر از یکدیگر استفاده شده است. با توجه به داده‌های موجود تعداد ۴۲ نقشه زمین‌شناسی ترسیم شده است که اولین نقشه در تراز ارتفاعی ۱۷۴۷ متر و آخرین نقشه در تراز ارتفاعی ۱۲۰۷ متر قرار دارد. در نهایت مدل بلوکی سه بعدی گسل‌های کانسار مورد مطالعه بر اساس مقاطع قائم و نقشه‌های زمین‌شناسی تهیه شده است (شکل ۵).



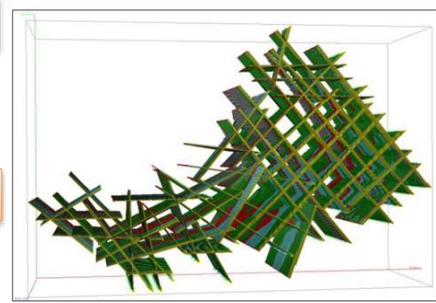
شکل ۳- نقشه مقاطع رسم شده در کانسار مورد مطالعه در نرم افزار Gemcom GEMS.

۵- نتیجه گیری

بررسی تغییرات هندسه گسل‌ها با عمق و نحوه گسترش عمقی آن‌ها نقش مهمی در درک کنترل‌کننده‌های ساختاری و الگوی اندرکنش گسل‌ها با یکدیگر و ماده معدنی در مدل‌های سه بعدی زمین‌شناسی کانسارها دارد. بنابر مدل زمین‌ساختاری تهیه شده برای کانسار مگنتیت-هماتیت گل‌گهر (شماره ۴)، سه دسته گسل با راستای غالب ESE-WNW تا E-W، NW-SE و NNE-SSW تا N-S قابل شناسایی است. گسل‌های غالب عادی با راستای NW-SE به احتمال قدیمی‌ترین گسل‌های کانسار مورد مطالعه هستند. این گسل‌ها ضمن تجدید فعالیت به احتمال جایگزینی ماده معدنی را کنترل کرده‌اند. با مدل‌سازی سه بعدی گسل‌ها مشخص گردید که گسل‌های غالب راستالغز با راستای NNE-SSW تا N-S سبب قطع و جابه‌جایی ماده معدنی شده‌اند. گسل‌های با راستای ESE-WNW تا E-W، جوانترین دسته گسل‌های کانسار مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و نقشی در جایگزینی ماده معدنی نداشته‌اند.

۶-تشریح و قدردانی

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول مقاله را در دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان تشکیل می‌دهد. بدین وسیله از شرکت معیارصنعت خاور میانه بابت فراهم نمودن امکان انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.



شکل ۴- مقاطع سه بعدی قائم رسم شده در کانسار مورد مطالعه.

۷-مراجع

Aftabi, A., Atapour, H., Mohseni, S., Babaki, A., 2021. Geochemical discrimination among different types of banded iron formations (BIFs): A comparative review. *Ore Geology Reviews*, 136, 104244.

Alibabaie, N., Esmaily, D., Peters, S. T. M., Horn, I., Gerdes, A., Nirooamand, S., & Lehmann, B., 2020. Evolution of the Kiruna-type Gol-e-Gohar iron ore district, Sanandaj-Sirjan zone, Iran. *Ore Geology Reviews*, 127, 103787.

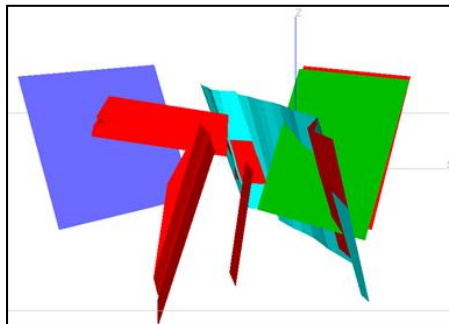
Jafari, A., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., Shafaroudi, A. M., & Ren, M., 2019. Geochemistry of metamorphic rocks and mineralization in the Golgohar iron ore deposit (No. 1), Sirjan, SE Iran: Implications for paleotectonic setting and ore genesis. *Journal of Geochemical Exploration*, 205, 106330

Mirzaei, R., Ahmadi, A., Mirnejad, H., Gao, J. F., Nakashima, K., & Boomeri, M., 2018. Two-tiered magmatic-hydrothermal and skarn origin of magnetite from Gol-Gohar iron ore deposit of SE Iran: In-situ LA-ICP-MS analyses. *Ore Geology Reviews*, 102, 639-653.

Mucke, A., Younessi, R., 1994. Magnetite-apatite deposits (Kiruna-type) along the Sanandaj-Sirjan zone and in Bafq area, Iran, associated with ultramafic and calcalkaline rocks and carbonatites. *Mineralogy and Petrology*, 50, 219-244.

Sabzehei, M., Mirzaei, H., Mostafavi, M., 2013. Petrographic Evidences for the Origin of Iron in IOCG Iron Deposits of Kuh-E-Faryadon and Kouli-Kosh, Southeast Central Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 24, 41-53

Valeh, N., 1977. Gol-e-Gohar iron ore project: an outline study of the Gol-e-Gohar iron ore area. In *National Iranian Steel Industries, Excursion of the 2nd. geological symposium of Iran*.



شکل ۵- مدل سه بعدی گسل‌های کانسار مورد مطالعه.





# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه

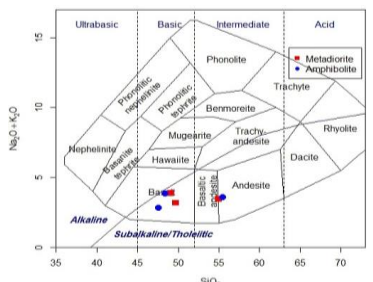


## ژئوشیمی و شیمی مجموعه دگرگونی پیرسلیمان-چهارگاه

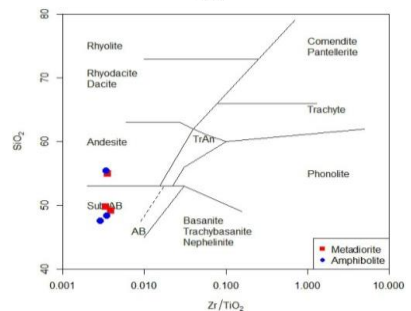
### چکیده

مجموعه دگرگونی پیرسلیمان-چهارگاه در جنوب شهرستان قروه و بخشی از زون سنندج-سیرجان می‌باشد. این مجموعه از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای شامل انواع شیست‌ها، متادیوریت، آمفیبولیت، مرمر و کوارتزیت تشکیل شده‌است. متادیوریت‌های مورد مطالعه دارای ساخت توده‌ای و ضریب رنگی مزوکرات هستند. آمفیبولیت‌های مورد مطالعه نیز دارای بافت نماتوبلاستیک و لپیدونماتوبلاستیک هستند و از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز و هورنبلند سبز تشکیل شده‌اند. فولیاسیون زمینه و دانه‌های پورفیروبلاست موجود در آندالوزیت شیست‌های منطقه چهارگاه نشان از رشد همزمان این پورفیروبلاست با حادثه تکتونیک دارد. با توجه به شواهد صحرایی و مطالعات پتروگرافی و آنالیز ژئوشیمی کل پرتولیت نمونه‌های متادیوریت و آمفیبولیت مورد مطالعه، آذرین و از نوع بازالت ساب‌آلکالن می‌باشد. سری ماگمایی سنگ مادر آمفیبولیت‌های مورد مطالعه دارای ماهیت ساب‌آلکالن و از نوع تولییتی است. فشارسنجی نمونه‌های آمفیبولیتی مجموعه دگرگونی مورد مطالعه فشاری در حدود ۳ کیلو بار را برآورد می‌کند که این دما در حد دمای رخساره آمفیبولیت است.

شکل ۱- نمودار رده‌بندی شیمیایی بر اساس مجموع درصد وزنی آلکالی به مجموع درصد وزنی  $SiO_2$  نمونه‌های مورد مطالعه.



شکل ۲- نمودار وینچستر و فلوید (۱۹۷۷) برای تعیین جنس پرتولیت سنگ‌های مورد مطالعه



### تعیین پرتولیت سنگ‌های دگرگونی منطقه مورد مطالعه

تشخیص پرتولیت در سرزمین‌های دگرگونی یکی از اهداف مطالعات سنگ‌شناسی دگرگونی به شمار می‌رود. برای این منظور معیارهای صحرایی، میکروسکوپی و شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با استفاده از عناصر اصلی در متابازیت‌های می‌توان به نوع سنگ بازیک قدیمی پی‌برد.

### نام‌گذاری سنگ‌ها بر اساس عناصر اصلی

روش TAS (TA=Total Alkali S=SiO<sub>2</sub>) توسط کاکس و دیگران (۱۹۷۹) برای طبقه‌بندی مقدماتی سنگ‌های آذرین استفاده شد. در این نمودار مقادیر آلکالینته در برابر SiO<sub>2</sub> قرار می‌گیرد. نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار در محدوده بازالت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند (شکل ۱).

### نام‌گذاری بر اساس عناصر فرعی

نتایج حاصل از تجزیه عناصر اصلی، فرعی و عناصر کمیاب در سنگ‌های مورد مطالعه به منظور بررسی رفتار ژئوشیمیایی آنها مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نمودار SiO<sub>2</sub> در مقابل Zr/TiO<sub>2</sub> که توسط وینچستر و فلوید (۱۹۷۷) طراحی شده است، نمونه‌های مورد آنالیز در محدوده بازالت‌های ساب‌آلکالن و آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۲).



# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



## بررسی ترکیب و ماهیت ژئوشیمیایی متابازیت‌های منطقه مورد مطالعه

به‌طور کلی سنگ‌های منطقه از نظر منشاء و موقعیت تکتونیکی در سری‌های ماگمایی مختلفی متبلور می‌شوند و بر اساس ویژگی‌های ژئوشیمیایی، نام‌های متفاوتی را برای آن‌ها در نظر می‌گیرند. به منظور تفکیک سری‌های ماگمایی ابتدا بر اساس نمودار ارائه شده توسط ایروین و باراکار (۱۹۷۱) دو سری آلکالن و ساب‌آلکالن از یکدیگر جدا می‌شوند. در ادامه نمونه‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودارهای مختلف از این جنبه بررسی شده‌اند.

### نمودار AFM

این نمودار برای تشخیص تولیتی یا کالک‌آلکالن بودن سنگ‌های شبه‌قلیایی به کار می‌رود. در این نمودار، نمونه‌ها در گستره تولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۳).

### فشار سنجی با استفاده از کانی آمفیبول

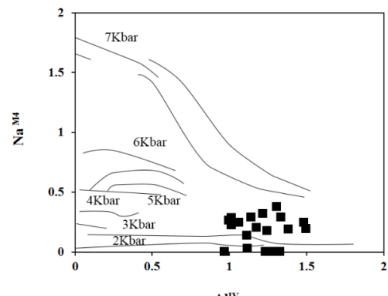
ترکیب شیمیایی کانی آمفیبول به‌صورت گسترده برای تعیین فشار سنگ‌های آذرین و دگرگونی به کار می‌رود. به عنوان مثال توزیع عنصر Al و Na<sup>B</sup> در کانی آمفیبول تابع فشار بوده، در نتیجه با استفاده از این عناصر می‌توان به فشار دگرگونی پی برد. بر مبنای مقادیر  $Al^{VI}$  و  $Na_4$  در آمفیبول‌های مورد بررسی ۲ تا ۵ کیلو بار فشار برای آمفیبولیت‌ها تخمین زده می‌شود، که نشان از فشار متوسط برای این سنگ‌ها دارد (شکل ۴).

### نتیجه‌گیری

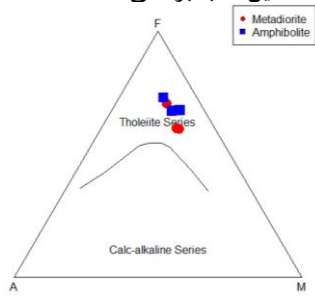
سنگ‌های موجود در این مجموعه حاصل دگرگونی ناحیه‌ای هستند، که با مطالعات پتروگرافی سنگ‌های میکاشیست، کالک‌شیست، آندالوزیت-شیست، کلریت میکاشیست، متادیوریت، آمفیبولیت، مرمر و کوارتزیت تشخیص داده شد. بافت موجود در این سنگ‌ها نماتوبلاستیک و لیپیدوبلاستیک می‌باشد. در بعضی از آندالوزیت‌شیست‌ها کانی آندالوزیت به‌صورت پورفیروبلاست بوده که بر اثر استرس وارد شده بر آنها بر اثر عوامل تکتونیکی موجود در منطقه دچار کشیدگی شده و بودیناژ شده‌اند.

با مطالعه شیستوزیته متن سنگ با شیستوزیته داخل پورفیروبلاست مشخص می‌شود که سایه واتنش (strain shadow) و کلاه واتنش (strain cap) وجود ندارد و شیستوزیته اطراف آندالوزیت نشان‌دهنده همزمانی رشد آندالوزیت با شیستوزیته اصلی منطقه است. کانی کلریت و کوارتز شکستگی‌های موجود در کانی آندالوزیت را که بر اثر کشیدگی به وجود آمده است به شکل فیبر پر کرده‌اند.

با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی متادیوریت‌ها و آمفیبولیت‌ها، مشخص شد پروتولیت این سنگ‌ها آذرین بوده و از نوع ساب‌آلکالن می‌باشد و در گروه تولیتی قرار می‌گیرد.



شکل ۷- تعیین فشار دگرگونی آمفیبولیت‌های آمفیبولیت‌های مجموعه دگرگونی قروه بر اساس نمودار براون



شکل ۳- موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار AFM

### منابع

- قربانی، م.، (۱۳۸۱)، دیپاچ‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین.
- گردیده، س.، (۱۳۸۹)، پترولوژی مجموعه آذرین و دگرگونی منطقه مشیر آباد-تازه آباد در جنوب قروه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ۱۵۴ صفحه.
- محجل، م.، (۱۳۹۵)، میکروتکتونیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۷۴۲ صفحه.
- محجل، م و سهندی، م. ر.، (۱۳۷۸)، تکامل تکتونیکی پهنه سنندج-سیرجان در نیمه شمال باختری و معرفی زیر پهنه‌های جدید در آن، فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۳۲، صفحه ۴۹-۲۸.
- Alavi, M. (1994), Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238.
- Anderson, J. L., & Smith, D. R. (1995), The effects of temperature and fO<sub>2</sub> on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*, 80(5-6), 549-559.





# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



## مطالعه اثرات حرارتی و شیمیایی-کانی شناسی بر روی سنگ‌های دگرگونی میزبان خود در منطقه عشاق-بابارود

فاطمه دارابی<sup>۱</sup>\* سیدمصطفی زارعی<sup>۲</sup>

### چکیده

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی  $38^{\circ} 38'$  تا  $48^{\circ} 49'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $34^{\circ} 34'$  شمالی و جنوب شرق همدان واقع شده است. پگماتیت‌ها و آپلیت‌ها بر اساس ترکیب کانی شناسی به پگماتیت‌های تورمالین دار همراه یا بدون مسکوویت، پگماتیت‌های کوارتز-مسکوویت دار، پگماتیت‌های تورمالین-گارنت دار، آپلیت‌های تورمالین دار، آپلیت‌های گارنت-تورمالین دار و رگه‌های کوارتز خالص تقسیم می‌شوند. دگرگونی ناحیه‌ای منطقه سبب ایجاد انواع شیست‌ها شامل گارنت شیست، تورمالین شیست، سیلیمانیت شیست و گارنت-آندالوزیت-سیلیمانیت شیست و دگرگونی در حد رخساره شیست سبز و آمفیبولیت شده است. مطالعات پتروگرافی، کانی شناسی و ژئوشیمیایی دایک‌های آپلیتی-پگماتیتهای بیانگر آن است که این دایک‌ها از نظر درجه اشباع از آلومین به سری پرآلومین همراه با برتری مسکوویت نسبت به بیوتیت متعلق هستند.

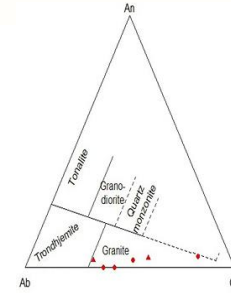
**واژه‌های کلیدی:** پگماتیت، آپلیت، عشاق، بابارود

### پتروگرافی و کانی شناسی سنگ‌های پگماتیتهای و آپلیتی منطقه

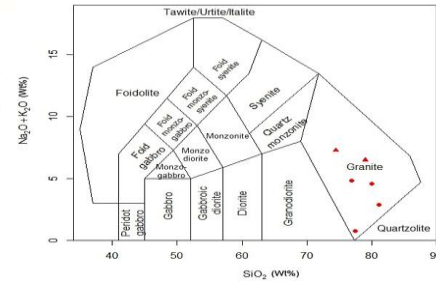
بر اساس مشاهدات صحرایی و بازدیدهای صورت گرفته پگماتیت‌ها و آپلیت‌های در مجاورت با سنگ میزبان منطقه بیشتر در شمال غربی بابارود مشاهده شدند. پگماتیت‌ها و آپلیت‌های منطقه را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

- پگماتیت‌های تورمالین دار همراه یا بدون مسکوویت - پگماتیت‌های تورمالین، گارنت دار - آپلیت‌های تورمالین دار - آپلیت‌های گارنت، تورمالین دار - رگه‌های کوارتز خالص  
**پگماتیت‌های تورمالین-گارنت دار**

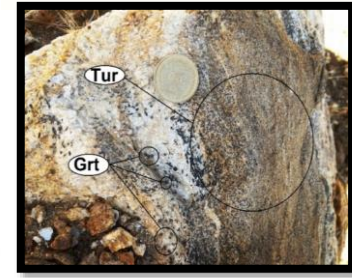
این نوع پگماتیت‌ها در جنوب غربی عشاق رخمون دارند و به صورت رگه‌ای و عدسی دیده می‌شوند. در مشاهدات صحرایی تورمالین‌های موجود در آنها به صورت بلورهای متوسط با فراوانی بیشتر کوارتز دیده می‌شود (شکل ۱). اما گاهی تورمالین‌های مذکور ریز و سوزنی بوده و فراوانی بیشتری نسبت به کوارتز نشان می‌دهند به گونه‌ای که به سنگ منظره‌ای تقریباً سیاه رنگ بخشیده‌اند، همچنین گارنت‌های موجود تیره رنگ و ریز بوده و فراوانی کمی دارند و گاهی به سختی قابل تشخیص‌اند (شکل ۲).



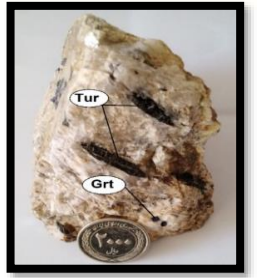
شکل ۴- نمودار (اوکانر، ۱۹۶۵) برای سنگ‌های پلوتونیک



شکل ۳- نمودار TAS رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های پلوتونیک، میدلموست (۱۹۹۴)



شکل ۲- نمونه‌ای از پگماتیت تورمالین-گارنت دار



شکل ۱- نمونه دستی از پگماتیت تورمالین-گارنت دار

## نتیجه گیری

در آپلیت-پگماتیت‌ها تنوع کانی‌شناسی بسیاری دیده می‌شود همچنین با توجه به مطالعات صحرایی دایک‌های فلسیک، سنگ‌های دگرگونی (میزبان) منطقه را قطع کرده‌اند. نمونه‌های مورد مطالعه از لحاظ ویژگی‌های ژئوشیمیایی در محدوده کالک آلکالن و از نظر درجه اشباعی از آلومین در گروه پرآلومین با برتری مسکوویت نسبت به بیوتیت جای می‌گیرند. پگماتیت‌ها و آپلیت‌های مورد مطالعه در محدوده VAG و Syn-COLG قرار می‌گیرند. در نمودارهای عنکبوتی عناصر Rare شیب نسبتاً تندی را بین LREE‌ها نظیر (Nd, Ce, La) تا HREE‌ها نشان می‌دهند به عبارت دیگر LREE‌ها نسبت به HREE‌ها غنی شدگی نشان می‌دهند، که حاکی از ماگماهای حاشیه فعال قاره‌هاست همچنین از آنجا که نسبت LREE‌ها به HREE‌ها بزرگ‌تر است می‌توان نتیجه گرفت که ماگما نسبت به منشأ خود تحول بیشتری را طی کرده است. با توجه به نمودار نرمال شده نسبت به کندریت در عناصر Sr, Ti, Nb و Ba شاهد آنومالی منفی هستیم که می‌توان آنها را به توده‌های کالک آلکالن قوسی مرتبط دانست. همچنین در این نمودارها LILE‌ها نظیر (Rb, K, Th) نسبت به برخی HFSE‌ها نظیر (Ti, Nb, Zr, Y) غنی شدگی بیشتری را نشان می‌دهند. همچنین با توجه به آنومالی منفی در Nb و Ti می‌توان محیط تکتونیکی فرورانش را برای نمونه‌ها در نظر گرفت. یکی از پارامترهای مهم برای تشخیص ماگماهای حاشیه فعال قاره‌ها آنومالی منفی Nb در نمودارهای عنکبوتی است. نمودارهای هارکر نشان می‌دهند که با افزایش درصد  $SiO_2$  مقادیر  $CaO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$  و  $FeO$  کاهش یافته و مقدار  $K_2O$  روند افزایشی را نشان می‌دهد.

## منابع

-اسدی، ن.، (۱۳۹۱) مطالعه علل تغییر درجه دگرگونی در طول همبری مجموعه پلوتونیک الوند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه بوعلی سینا. -افتخارنژاد، ج.، (۱۳۵۹) تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحات ۱۹-۲۸. -اقلیمی، ب.، (۱۳۷۹) نقشه زمین‌شناسی ورقه همدان (۱:۱۰۰۰۰۰). سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-Alavi, M., (1994) Tectonics of Zagros Orogenic Belt of Iran, New Data and Interpretation. Tectonophysics, 229, Pages 211-238.- Aliani, F., Maanijou, M., Sabouri, Z., And Sepahi, A. A., (2012), Petrology, geochemistry and geotectonic environment of the Alvand Intrusive Complex, Hamedan, Iran. *Chemie der Erde - Geochemistry*, 72(4), Pages 363-383. -Barker, A. J., (1991) Introduction to metamorphic textures and microstructures. Blackie, New York, 162 p.





# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



## پایش و تحلیل شبکه هوای فشرده در معدن مس قلعه‌زری

محمدجواد رحیم‌دل، فرزاد ظفرزاده

گروه مهندسی معدن، پردیس مهندسی، دانشگاه بیرجند

### ۱- مقدمه

امروزه هوای فشرده در صنایع مختلف به طور گسترده در ابزارهای کنترلی و ماشین‌آلات استفاده می‌شود. در عملیات معدنکاری زیرزمینی هوای فشرده برای مقاصد گوناگونی از قبیل راه‌اندازی چکش‌ها و چالزن‌های حفاری، بادبزن‌ها، تجهیزات و ماشین‌آلات استخراجی، بارگیری و باربری نظیر ماشین-آلات استخراج پنوماتیکی، لودرهای معدنی، و نیز تجهیزات جانبی از قبیل درب‌های تهویه و افشانه‌های آب جهت کاهش گرد و غبار در هوای معدن استفاده می‌شود. وجود هر گونه توقف در مسیر تولید و توزیع هوای فشرده معدن، منجر به توقف تجهیزات هوای فشرده معدن و در نهایت توقف عملیات معدنکاری می‌شود. از این رو، بررسی میزان مصرف هوای فشرده در شرایط مختلف عملیاتی معدن و نیز بررسی افت فشارهای موجود در خطوط انتقال هوای فشرده ضرورت دارد.

هدف از مقاله حاضر بررسی شبکه توزیع هوای فشرده در معدن مس قلعه‌زری است. برای منظور پس از پیمایش مسیر هوای فشرده معدن و تعیین میزان شدت جریان هوای فشرده لازم برای راه‌اندازی تجهیزات کارگاه‌های استخراج، نیروگاه مرکزی و کارخانه فرآوری معدن، به بررسی افت هوای فشرده در هر یک از مسیرهای شبکه پرداخته شد.

### ۲- روش تحقیق

پس از محاسبه مصرف خام هر یک از تجهیزات هوای فشرده، لازم است با اعمال ضرایبی، میزان مصرف واقعی تجهیزات هوای فشرده محاسبه گردد. این میزان مصرف، مبنای انتخاب کمپرسور و شبکه توزیع هوای فشرده است. مهم‌ترین ضرایب تصحیحی شامل ضریب ارتفاع، ضریب نشت و ضریب همزمانی است که در ادامه توضیح داده شده است.

### ۱-۲- ضریب ارتفاع

ارتفاع محل کمپرسور (متر)	۰	۳۰۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۲۱۰۰	۲۴۰۰
ضریب ارتفاع	۱	۱/۰۳	۱/۰۷	۱/۱	۱/۱۴	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۲۳	۱/۲۶

### ۲-۲- ضریب همزمانی

تعداد چالزن یا بارکننده	ضریب همزمانی	تعداد چالزن یا بارکننده	ضریب همزمانی
۱	۱	۱۰	۷۱/۰
۲	۱	۱۲	۶۷/۰
۳	۹۰/۰	۱۵	۶۳/۰
۴	۸۷/۰	۲۰	۵۸/۰
۵	۸۵/۰	۲۵	۵۵/۰
۶	۸۲/۰	۳۰	۵۳/۰
۷	۸۰/۰	۴۰	۵۲/۰
۸	۷۷/۰	۵۰	۵۱/۰
۹	۷۵/۰	۶۰	۴۷/۰
۱۰	۷۴/۰	۱۲	۶۷/۰

### ۳-۲- ضریب نشت

مطابق دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معدن ضریب نشت بین ۱/۱ تا ۱/۱۵ در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این، در صورتی که اطلاع دقیقی از جزئیات خط لوله در دست نباشد، ضریب همزمانی برابر با ۱۵/۱ در نظر گرفته می‌شود.

### ۴-۲- محاسبه افت فشار در شاخه‌های شبکه

$$\Delta p = \frac{800LQ^2}{rd^{5.3}} \quad \text{رابطه هاریس:}$$

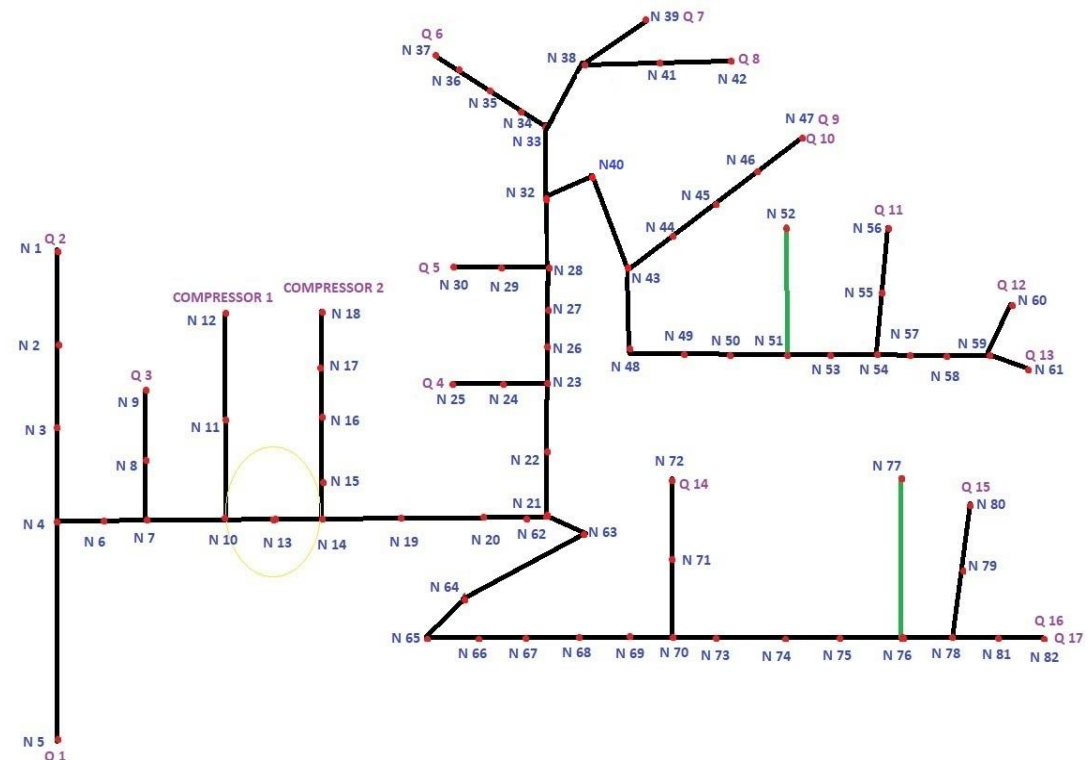
$$\Delta p = \frac{fLQ^{1.58}}{p_1 d^5} \quad \text{رابطه اطلس کوپکو:}$$

$\Delta p$ : افت فشار در طول خط لوله بر حسب بار،  $L$ : طول مؤثر لوله بر حسب متر،  $f$ : نسبت تراکم یا نسبت فشار مطلق هوای فشرده در داخل لوله به فشار مطلق هوای اتمسفر در محل،  $Q$ : شدت جریان هوای آزاد بر حسب لیتر در ثانیه،  $d$ : قطر داخلی لوله بر حسب میلی‌متر،  $f$ : ضریب اصطکاک که برای لوله‌های معمولی برابر با  $6/1 \times 10^{-8}$  در نظر گرفته می‌شود،  $Q$ : شدت جریان هوای آزاد بر حسب متر مکعب در ثانیه و  $P_1$ : فشار مطلق هوا در ابتدای خط لوله بر حسب بار است.

۴- مصرف عملیاتی هوای فشرده توسط مصرف کننده‌های اصلی محدوده مورد مطالعه

مصرف کننده	مصرف عملیاتی (m <sup>3</sup> /min)
کارخانه فرآوری (Q1)	۸/۱۳
لودر جبهه کار، تراز ۱۷۵- (Q9)	۸/۵
چالزن کارگاه استخراج ، تراز ۲۰۵- (Q11)	۴/۲
لودر جبهه کار، تراز ۲۰۵- (Q12)	۸/۵
چالزن کارگاه استخراج چاه اصلی (Q14)	۴/۲
لودر جبهه کار چاه اصلی (Q17)	۸/۵

۳- شبکه هوای فشرده معدن مس قلعه زری



۵- نتیجه گیری

طراحی و محاسبات شبکه هوای فشرده، اجرای تهویه صحیح و تامین هوای فشرده کافی از حیاتی‌ترین موارد در طراحی معادن و فضاهای زیرزمینی هستند. در این تحقیق، به پیمایش و بررسی شبکه هوای فشرده در محل چاه اصلی معدن زیرزمینی مس قلعه‌زری پرداخته شد. با توجه به نتایج این تحقیق، میزان مصرف عملیاتی هوای فشرده معدن با توجه به دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن برابر با ۳۶ متر مکعب در ثانیه برآورد شد که بیشترین میزان مصرف آن در کارخانه فرآوری معدن و برابر با ۱۳/۸ مترمکعب در ثانیه است. علاوه بر این، در شرایط فعلی معدنکاری، بیشترین افت فشار در شبکه هوای فشرده مورد مطالعه در محل لودر و چالزن تراز ۱۷۵- معدن برآورد شده که عملکرد این تجهیزات را به طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد. از این اقدامات اصلاحی نظیر تعویض خطوط لوله و یا استفاده از کمپرسورهای موضعی در مسیرهای منتهی به مصرف کننده‌های اشاره شده، ضرورت دارد.



## تحلیل اثربخشی جامع ماشین آلات باربری در معدنکاری روباز (مطالعه موردی)

محمدجواد رحیمدل، محمد جانشیر گیو، محدثه زهرایی  
گروه مهندسی معدن، پردیس مهندسی، دانشگاه بیرجند

### ۱- مقدمه

شاخص اثربخشی جامع تجهیزات (Overall Equipment Effectiveness, OEE)، شاخصی به منظور ارزیابی نحوه بهره‌برداری از تجهیزات و نگهداری و تعمیرات است که می‌تواند تاثیر مدیریت تجهیزات بر کارایی تجهیزات تولیدی را به طور جامع بیان کند. اثربخشی جامع تجهیزات یک شاخص برای مقایسه، تحلیل و بهبود فرآیندها و نیز ابزاری مناسب جهت تصمیمات مدیریتی است. این شاخص عملکرد تجهیزات را قالب سه پارامتر دسترسی، قابلیت استفاده و بهره‌وری تولید مورد بررسی قرار می‌دهد (بیابانی و همکاران، ۱۳۹۴). در این رویکرد، از اقدامات اصلاحی به بهترین شکل ممکن و با هدف محدود کردن تجهیزاتی که تأثیر منفی بر تولید داشته باشند، استفاده می‌شود. در استفاده از شاخص اثربخشی جامع تجهیزات، عملکرد ماشین آلات با استفاده از سه شاخص دسترسی پذیری، قابلیت استفاده و بهره‌وری تولید بررسی می‌کند.

هدف از مقاله حاضر، بررسی شاخص اثربخشی جامع تجهیزات باربری در معادن است. برای این منظور، شاخص‌های قابلیت دسترسی، قابلیت استفاده و بهره‌وری تولید ماشین‌آلات در یک مطالعه موردی (معدن گچ قره کمر در استان خراسان رضوی) محاسبه و تحلیل شده است. در بخش دوم این مقاله به ارائه روش تحقیق و در بخش سوم به تحلیل اثربخشی جامع ماشین‌آلات معدن پرداخته شده است.

### ۲- روش تحقیق

#### ۲-۱- قابلیت دسترسی

$$A = \frac{TH - DT}{TH}$$

#### ۲-۲- قابلیت استفاده

$$U = \frac{TH - DH - SH}{TH - DH}$$

#### ۲-۳- بهره‌وری تولید

$$Q = \frac{AP}{(TH - TD - SH)} / RC$$

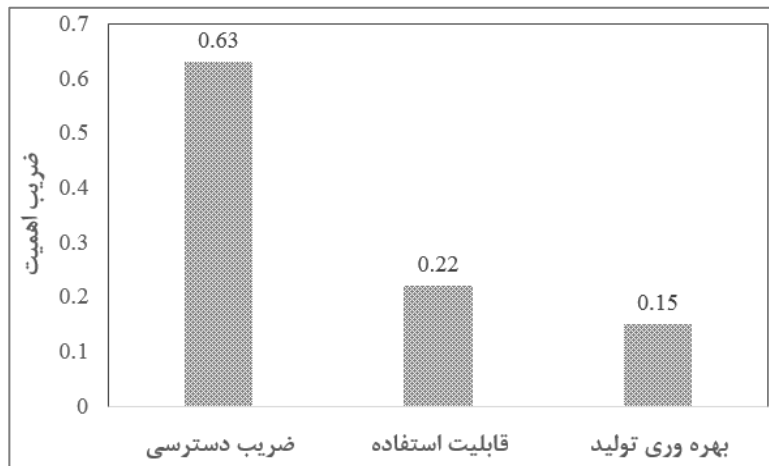
#### ۲-۵- محاسبه شاخص اثربخشی جامع وزن دار

$$OEE_w = A^{W_A} \times U^{W_U} \times Q^{W_Q}$$

$A$ : ضریب دسترسی،  $TH$ : زمان کل کارکرد دستگاه و  $DT$ : زمان توقف دستگاه به علت خرابی،  $U$ : ضریب قابلیت استفاده،  $TH$ : زمان کل کارکرد دستگاه،  $DH$ : زمان توقف دستگاه به علت خرابی،  $SH$ : زمان آماده به کار بودن دستگاه،  $AP$ : ظرفیت تولید واقعی،  $TH$ : زمان کل کارکرد دستگاه،  $TD$ : زمان خرابی،  $SH$ : زمان آماده به کاری و یا زمان توقفات در حین کار،  $RC$ : ظرفیت اسمی ماشین

### ۳- تحلیل اثربخشی جامع ناوگان باربری در معدن گچ قره کمر

۳-۱- درجه اهمیت هر یک از شاخص‌های سه‌گانه در محاسبه اثربخشی جامع





## بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، به محاسبه اثربخشی جامع کامیون‌ها در یک معدن گچ در استان خراسان رضوی پرداخته شد. با توجه به نتایج این تحقیق، متوسط ضریب دسترسی، قابلیت استفاده و اثربخشی جامع کامیون‌های معدن به ترتیب ۷۵، ۷۸ و ۸۳ درصد محاسبه گردید. متوسط ضریب بهره‌وری سه کامیون از چهار کامیون مورد استفاده در معدن ۴۴/۱ محاسبه گردید که بیانگر بالاتر بودن میزان بارگیری این کامیون‌ها بیشتر از ظرفیت اسمی آن‌ها بوده است که می‌تواند منجر به بروز خرابی‌های زود هنگام و در نهایت افزایش توقفات و کاهش ضریب دسترسی آن‌ها گردد. از این رو، با کاهش میزان بارگیری این کامیون‌ها و به طور همزمان برنامه‌ریزی صحیح به منظور کاهش زمان‌های تلف شده هر کامیون می‌توان اثربخشی آن‌ها را در سطح قابل قبولی حفظ کرد.

### منابع

Andras, I., Nan, M.S., Kovacs, I., Cristea, D. and Tomescu, L.C., 2006. Research Regarding The OEE (Overall Equipment Effectiveness) Assessment Of The Coal Open Pit Mines Production System. Annals of the University of Petroșani, Mechanical Engineering, 8, pp.139-146.

Brodny, J. and Tutak, M., 2019. Analysing the utilisation effectiveness of mining machines using independent data acquisition systems: A case study. Energies, 12(13), p.2505.

Dhillon, S., 2008. Mining equipment reliability. Springer London.

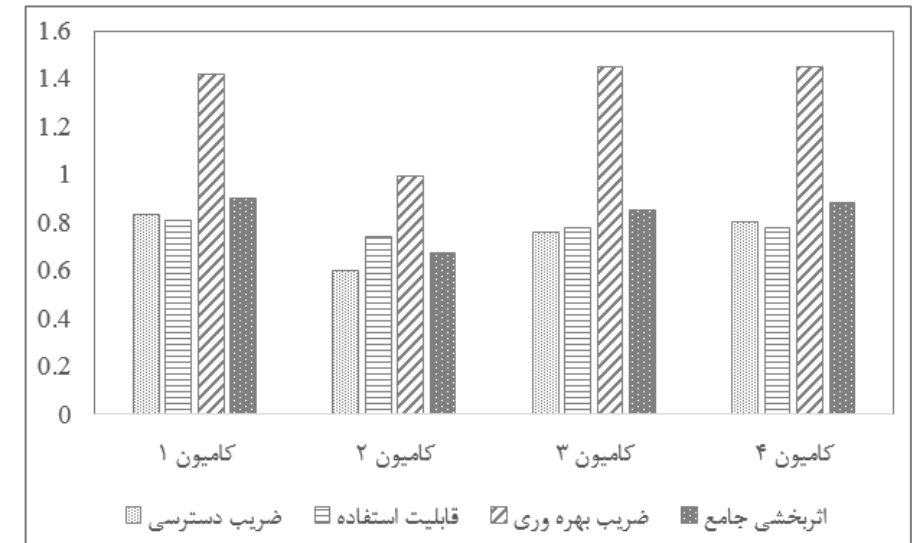
Elevli, S. and Elevli, B., 2010. Performance measurement of mining equipments by utilizing OEE. Acta Montanistica Slovaca, 15(2), p.95.

Norden, C. and Ismail, J., 2012. Defining a representative overall equipment effectiveness (OEE) measurement for underground bord and pillar coal mining. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 112(10), pp.845-851.

Podvezko, V., 2009. Application of AHP technique. Journal of Business Economics and Management, (2), pp.181-189.

بیابانی، مرتضی و نیک نژاد، علی و روحی زاده آرانچی، غلامرضا، ۱۳۹۴. طراحی مدلی به منظور افزایش بهره‌وری با استفاده از تکنیک‌های اثربخشی کلی تجهیزات (OEE) و نقشه برداری جریان ارزش (VSM)، نخستین همایش ملی مهندسی صنایع، ساوه.

### ۳-۲- شاخص‌های ضریب دسترسی، قابلیت استفاده، ضریب بهره‌وری و اثربخشی جامع کامیون‌های معدن







# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



## ارزیابی ریسک زیست محیطی سد باطله معدن مس قلعه زری

محمدجواد رحیم‌دل، احمد آریافر، زهره عبادی‌نیا

گروه مهندسی معدن، پردیس مهندسی، دانشگاه بیرجند

### ۱- مقدمه

بخش معدن و صنایع معدنی در بسیاری از کشورها نظیر کشور ما از مهم‌ترین مسیرها در دستیابی به توسعه پایدار است. در حال حاضر بیش از ۶۸ نوع ماده معدنی غیرنفتی با ذخایر حدود ۴۳ میلیارد تن در کشور وجود دارد به طوری که ایران را جزء ۱۵ کشور اول دنیا در کانی‌های فلزی و غیرفلزی قرار داده است (بهبودی و همکاران، ۱۳۹۶). معادن نقش قابل‌توجهی در پویایی اقتصاد هر کشور داشته و برنامه‌ریزی صحیح در بهره‌برداری از منابع معدنی امکان کسب ارزش افزوده مناسب در بخش‌های مختلف اقتصادی را فراهم می‌سازد.

هدف از مقاله حاضر تحلیل ریسک زیست محیطی سد باطله در معدن مس قلعه‌زری است. برای این منظور از روش حالات شکست و تحلیل اثرات آن استفاده شده است. در گام اول تحقیق، هر یک از رخداد ریسک و نیز علل وقوع آن‌ها شناسایی می‌شوند. عدد اولویت ریسک هر یک از رویدادها ( Risk Priority Number, RPN) با محاسبه شاخص‌های سه‌گانه احتمال وقوع، شدت و قابلیت شناسایی آن محاسبه شده و در نهایت، اولویت نهایی ریسک هر رویداد با توجه به عدد اولویت ریسک و ضریب اهمیت آن محاسبه می‌شوند.

### ۲- روش تحقیق

روش حالات شکست و تحلیل آثار آن، یک روش ساختار یافته به منظور شناسایی حالات خطای یک سیستم و محاسبه اثرات ناشی از آن خطاها است. این روش یک روش پیشگیرانه کاملاً ذهنی و بر اساس کار گروهی است. از این رو، انتخاب اعضای گروه با دانش و تجربه کافی درباره سیستم یا فرآیند مورد بررسی بسیار مهم است.

پس از تعیین هر یک از مخاطرات و ارزیابی احتمال وقوع، شدت و قابلیت شناسایی هر یک از آن‌ها، عدد اولویت ریسک محاسبه می‌شود. این عدد نشان‌دهنده ریسک کلی ناشی از حالات شکست است. عدد اولویت ریسک با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$RPN = O \times S \times D$$

که در این رابطه،  $O$ : شدت وقوع،  $S$ : احتمال وقوع و  $D$ : قابلیت شناسایی هر یک از پیامدها است.

### ۳- ارزیابی ریسک زیست محیطی سد باطله در معدن مس قلعه زری

#### ۳-۱- میانگین امتیازات عددی هر یک از شاخص‌های سه‌گانه ارزیابی ریسک

قابلیت شناسایی	احتمال وقوع	شدت وقوع	پیامد زیست محیطی
۸۶/۲	۲	۲	پتانسیل رانش زمین اطراف سد (C1)
۸۶/۲	۱۴/۲	۲	عدم پایداری شیب زمین (C2)
۲	۲	۱۴/۲	خطر سیل در منطقه در اثر افزایش حجم باطله (C3)
۱۴/۳	۸۶/۵	۷۱/۵	فرسایش سد (C4)
۵۷/۲	۷۱/۲	۱۴/۳	تغییر جهت جریان آبهای سطحی (C5)
۷۱/۹	۲	۲	تغییر جهت جریان آبهای زیرزمینی (C6)
۲	۸۶/۷	۷۱/۸	وزش باد، پخش غبار و آلودگی هوا (C7)
۲۹/۳	۲۹/۵	۸۶/۵	بوی نامطبوع سد باطله (C8)
۲	۲۹/۶	۲	رسوب‌گذاری و ته نشینی باطله (C9)
۴	۲۹/۴	۷۱/۴	آلودگی خاک محدوده سد (C10)
۷۱/۳	۸۶/۲	۸۶/۲	آلودگی آب‌های سطحی (C11)
۱۴/۴	۲	۲	آلودگی آب‌های زیرزمینی (C12)
۸۶/۴	۲	۲	مرگ و میر و تهدید زیست حیوانات (C13)
۸۶/۴	۲	۲	از بین رفتن زیستگاه حیات وحش (C14)
۷۱/۴	۲	۲	از بین رفتن اکوسیستم آبیان (C15)
۵۷/۲	۱۴/۴	۵۷/۳	آلودگی صوتی (C16)
۵۷/۴	۸۶/۲	۳	آلودگی و تهدید خاکهای کشاورزی (C17)
۱۴/۳	۲۹/۲	۴۳/۲	صدمه به دیگر تأسیسات و ساختمانهای معدن (C18)
۲۹/۲	۸۶/۶	۵۷/۷	ایجاد چشم انداز نامطلوبی از منطقه (C19)
۲۹/۲	۵۷/۴	۷۴/۴	تهدید امنیت بهداشتی و سلامت مردم بومی (C20)



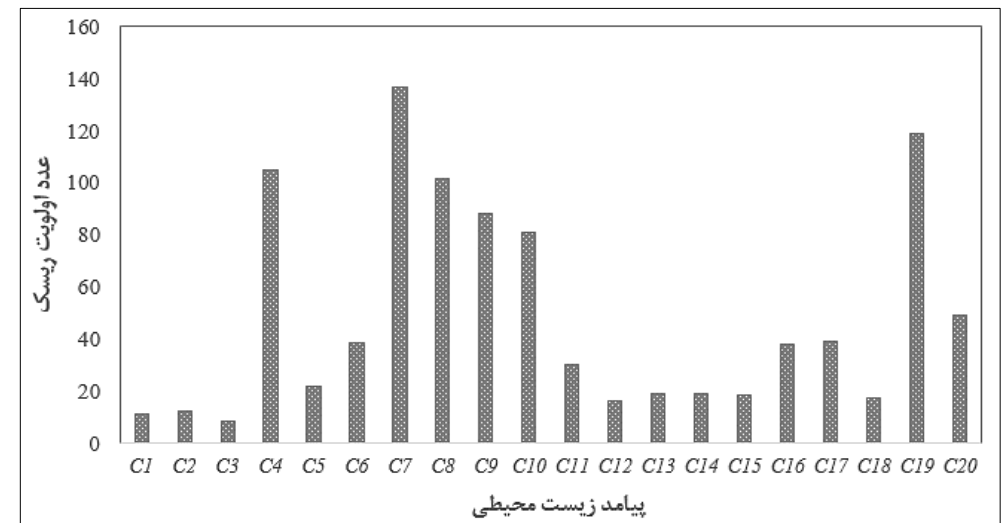
## بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



### ۳-۲- عدد اولویت ریسک برای هر یک از پیامدهای زیست محیطی سد باطله معدن

### ۴- نتیجه گیری

معادن یکی از عوامل تأثیرگذار بر محیط زیست هستند به گونه‌ای که در نتیجه انباشت باطله‌های حاصل از فرآوری مواد معدنی در سد باطله می‌توانند محیط زیست محدوده اطراف معدن را تحت تأثیر قرار دهند. ورود فلزات سنگین موجود در باطله‌های حاصل از فرآوری مواد معدنی فلزی می‌تواند پیامدهای نامطلوب زیست محیطی متعددی را به دنبال داشته باشد. در این مقاله به بررسی ریسک زیست محیطی سد باطله معدن مس قلعه‌زری پرداخته شد. برای این منظور پس از شناسایی پیامدهای زیست محیطی محتمل در محدوده مورد مطالعه، شدت، احتمال وقوع، و قابلیت شناسایی هر یک از پیامدها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت عدد اولویت ریسک پیامدها مشخص شدند. با توجه به نتایج، وزش باد و پخش غبار و آلودگی هوا، چشم انداز نامطلوبی از منطقه و فرسایش سد دارای بالاترین عدد ریسک هستند. از این رو، استفاده از پوشش‌های گیاهی سازگار با منطقه به منظور جلوگیری از پخش گردوغبار و جلوگیری از فرسایش دیواره‌های سد می‌تواند به عنوان اقدامات کنترلی و اصلاحی در نظر گرفته شود.







# بیست و ششمین همایش انجمن زمین شناسی ایران ۲۱ و ۲۲ شهریور ماه ۱۴۰۲ دانشگاه ارومیه



اهمیت استفاده از زبان برنامه نویسی پایتون در علوم زمین

## The importance of using Python programming language in earth sciences

دکتر خلیل رضایی، مهدی فرمهینی فراهانی

دانشیار رسوب شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی تهران [Khalil.rezaei@khu.ac.ir](mailto:Khalil.rezaei@khu.ac.ir)  
دانشجوی کارشناسی زمین شناسی دانشگاه خوارزمی [mahdifarmahinifarahani@aol.com](mailto:mahdifarmahinifarahani@aol.com)



### چکیده:

با توجه به پیشرفت تکنولوژی و تاثیر روزافزون نرم افزارها در ساده کردن فرایندهای تحقیقاتی نیاز به مهارت یادگیری برنامه نویسی به تدریج به یک ضرورت تبدیل شده است. در بسیاری از رشته های علوم پایه پایتون به عنوان یک زبان برنامه نویسی اختصاصی برای کارهای پژوهشی شناخته شده و در آینده ای نزدیک تاثیر زیادی روی تمام محققین می گذارد. بدیهی است با دانستن و مهارت در این زبان برنامه نویسی، می توان در کلیه شاخه های علوم زمین، نرم افزارهایی با ابزارهای کاربردی تر متناسب با آن رشته را توسعه داد.  
**لغات کلیدی: پایتون، علوم زمین، برنامه نویسی**

### مقدمه:

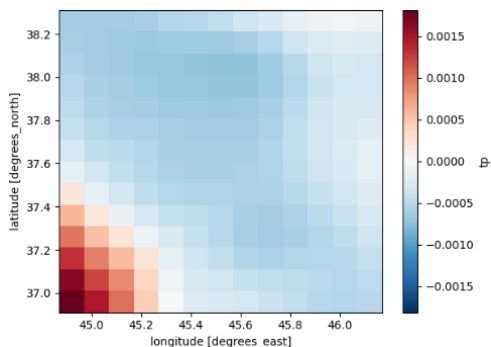
پایتون یک زبان برنامه نویسی سطح بالا، ماژولار و تفسیری شده است. برخی از استدلال هایی که یادگیری پایتون را توجیه می کند عبارتند از: آسان بودن برای فراگیری، انعطاف پذیری بالا، جامعه پشتیبان بزرگ، منبع در پایتون برخی محیطها برای انجام محاسبات باز بودن. علمی و تحقیقات توسعه داده شده اند که فرایند را برای افراد مبتدی که آشنایی با علوم کامپیوتر ندارند را سهولت می بخشد.

### روش ها و ابزار:

در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از بسته توزیع آناکوندا و برخی از کتابخانه های پایتون ( Numpy, scikit-image ) برخی از کاربردهای برنامه نویسی در علوم زمین را نمایش دهیم

### نتایج و بحث:

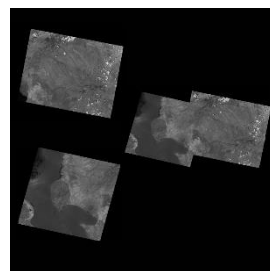
-بصری سازی داده برای نمایش و درک بهتر ارقام موجود در ستون های اکسل و یا فایل هایی با پسوند .nc می توانیم آن ها را بصری سازی کنیم. تصویر زیر نمونه بصری سازی داده های تغییرات میزان بارش دریاچه ارومیه با استفاده از مجموعه داده های ERA5-land در بستر پایتون است



## The importance of using Python programming language in earth sciences

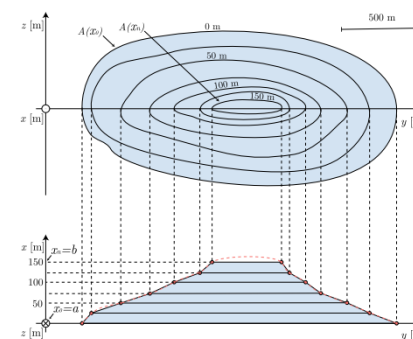
### مراجع:

1. (2017) Pandas for everyone: Python data analysis. Addison-Wesley Professional
2. Dowek G, Lévy J-J (2011) Introduction to the theory of programming languages. Springer, London. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-076-2>
3. Muñoz Sabater, J. (2019): ERA5-Land monthly averaged data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.68d2bb30
4. Rollinson H (1993), Interpretation Using geochemical data: evaluation. Presentation, Routledge
5. Smith V, Isaia R, Pearce N (2011) Tephro-stratigraphy and glass compositions of post-15 kyr Campi Flegrei eruptions: implications for eruption history and chronostratigraphic markers. Quat Sci Rev 30(25–26):3638–3660.
6. <https://doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2011.07.012>
7. Slavini'c P, Cvetkovi'c Marko (2016) Volume calculation of subsurface structures and traps in hydrocarbon exploration—a comparison between numerical integration and cell based models. Open Geosci 8(1). <https://doi.org/10.1515/geo-2016-0003>
8. Strang G, Herman E, OpenStax College, Open Textbook Library (2016) Calculus. Volume 1. OpenStax—Rice University
8. Turbak FA, Gifford DK (2008) Design concepts in programming languages. MIT Press.



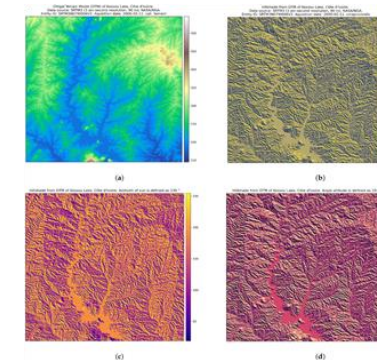
-یادگیری ماشین: یادگیری ماشینی زیر مجموعه‌ای از هوش مصنوعی است و به استفاده از الگوریتم‌ها و روش‌ها برای تشخیص الگوها در مجموعه داده‌های بزرگ و استفاده از این الگوها برای پیش‌بینی روندهای آینده، طبقه‌بندی یا ایجاد تصمیمات استراتژیک دیگر مربوط می‌شود. یادگیری ماشینی در طول دو دهه گذشته از یک رویکرد تخصصی به طور قابل توجهی رشد کرده است و به یک فناوری قوی با کاربرد علمی و تجاری گسترده تبدیل شده است. در اصل هر مشکل پیچیده‌ای که تعدادی کافی نمونه برای ورودی داشته باشد می‌تواند به یادگیری ماشینی تبدیل شود. ترکیب قسمت‌های دارای هم پوشانی تصاویر ماهواره‌ای آذربایجان شرقی با استفاده از روش یادگیری ماشینی در پایتون. داده‌ها از ماهواره Landsat 8 دریافت شده.

-محاسبات علمی: در معادله زیر  $V$  حجم یک جامد است که از  $x = a$  تا  $x = b$  امتداد می‌یابد و  $A(x)$  مساحت تقاطع حجم با صفحه‌ای موازی با صفحه  $Y-Z$  و عبور از نقطه  $(x, 0, 0)$  است. برای اعمال معادله فوق در شکل زیر از کد زیر که بر پایه مرکب سیمپسون و تقریب ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود. از این کد می‌توان برای برآورد حجم استفاده کرد.

$$V = \int_a^b A(x) dx$$


-پردازش تصویر: کارهای پردازش تصویر تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای یا... یکی دیگر از کارهای است که می‌توان با بهره‌گیری از زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام داد. پردازش تصویر فوق برای تهیه نقشه DEM در GloVis برای منطقه دریاچه کوسو ساحل عاج می‌باشد.

الف) نقشه DEM منطقه (ب) نقشه سایه روشن منطقه (ج) نقشه سایه روشن منطقه با در نظر گرفتن آزیموت ۲۳۰ درجه (د) نقشه سایه روشن منطقه با در نظر گرفتن زاویه خورشید ۱۰ درجه





### ماگماتیسم گرانیتوئیدی الیگومیوسن جبال بارز

#### Oligomiocene Granitoid magmatism of Jabal-e-Barez

راضیه رضایی آدریانی<sup>۱</sup>، حبیب‌الله قاسمی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکترا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

#### ژئوشیمی

با توجه به نمودار  $Na_2O+K_2O$  در برابر  $SiO_2$  سنگ‌های نفوذی منطقه هیشن، کرور و میجان در محدوده گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت با طبیعت ساب‌آلکان و از نوع گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان نوع ۱ ناشی از تفریق ماگمای بازالتی منشأ گرفته از ذوب بخشی گوشته متاسوماتیسم شده، توسط سیالات آزاد شده در جریان دگرگونی پیشرونده ورقه اقیانوسی فرورونده قرار می‌گیرند. درگاهی و همکاران (Dargahi et al, 2010) با مطالعه توده‌های بخش غربی مجموعه گرانیتوئیدی جبال بارز در شرق جبرفت، آن‌ها را از نوع سنیت، کوارتز مونزونیت، مونزودیوریت و مونزونیت تشخیص داده‌اند. توده‌های نفوذی بخش میانی جبال بارز در شرق جبرفت نیز از لحاظ سنگ‌شناسی عمدتاً در محدوده کوارتز دیوریت، دیوریت، گرانودیوریت و مونزو گرانیت قرار می‌گیرند و ماهیتی متآلومین تا پرآلومین دارند و از نوع گرانیت‌های I هستند (جشاری، ۱۳۹۸). به باور بهپور (۱۳۹۹) توده‌های گرانیتوئیدی جنوب شرق جبال بارز دارای ماهیت کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان پتاسیم بالا و متآلومین تا پرآلومین ضعیف و در محدوده گرانیت‌های نوع ۱ قرار می‌گیرند. توده نفوذی کرور در بخش جنوبی جبال بارز نیز ترکیب، کوارتز مونزونیت، گرانودیوریت و گرانیت دارند (شریک‌آباد، ۱۳۹۶). شکل ۲ موقعیت قرارگیری توده‌های نفوذی جبال بارز را در نمودار TAS نشان می‌دهد.

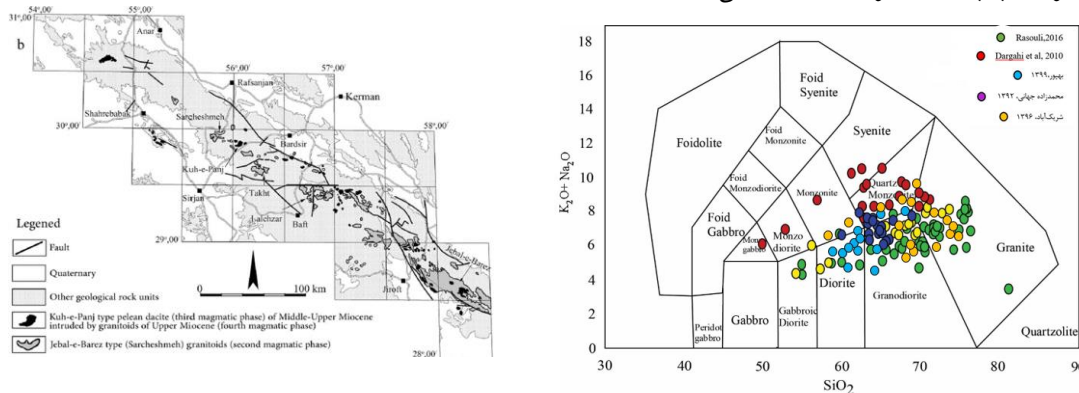
#### مقدمه

سنگ‌های ماگمایی نوار ارومیه- دختر در سراسر زمان ائوسن تا کواترنری پراکنده‌اند ولی بیشینه فراوانی آن‌ها در یک دوره آتشفشانی ماگمایی ۳۰ میلیون ساله در ائوسن- الیگوسن (۵۵ تا ۲۵ میلیون سال پیش) بوده است. در باره منشأ بروز این فعالیت ماگمایی دو نظریه غالب کافت درون قاره‌ای (Berberian and Sabzehei, 1974, Amidi, 1975, Amidi et al., 1984; Emami, 1981) و فرورانش (Berberian and Alavi, 1994; Berberian, 1981) مطرح بوده است. شهاب پور (۲۰۰۷) به فرورانش جزایر کمانی و بربریان و بربریان (۱۹۸۱) و بسیاری دیگر از پژوهشگران به فرورانش کمان حاشیه قاره باور دارند. به نظر میرسد که در خلال کرتاسه پایانی با بسته شدن حوضه اقیانوسی تیس جدید، ابتدا ماگمازایی از نوع جزایر کمانی بوده که با جمع شدن و به هم آمدن جزایر کمانی، افزایش عمق ورقه فرورنده و عمق محل زایش ماگما، در ائوسن میانی- الیگوسن جبهه ماگمایی به داخل قاره ایران مرکزی مهاجرت کرده و به شکل ماگمازایی محیط کششی درون کمانی حاشیه قاره نمایان گشته و نوار ماگمایی ارومیه- دختر و شمال ایران مرکزی- جنوب البرز را ایجاد کرده است (Agard et al., 2011).

Ghasemi and Rezaei Kahkhaei, 2015; Ahmadvand et al., 2020

#### زمین‌شناسی عمومی

مجموعه گرانیتوئیدی جبال بارز در نوار دهج - ساردوئیه در انتهای جنوب شرقی نوار ارومیه- دختر قرار گرفته است (شکل ۱). این نوار با روند شمال غرب- جنوب شرق، بیش از ۴۵۰ کیلومتر طول و ۷۰ کیلومتر عرض داشته از شمال غرب استان کرمان (دهج) شروع و تا جنوب شرق (جبال بارز و جبرفت) ادامه می‌یابد. توده های باتولیتی جبال بارز از شمال به کفه ریگان و از جنوب به فرونشست جازموریان محدود شده‌اند (قربانی، ۱۳۹۳). میزان اصلی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی منطقه جبال بارز، توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن است که در تمام نوار ارومیه- دختر دیده می‌شود. فازهای ماگمایی منطقه شامل حداقل یک فاز اصلی در ائوسن و ۴ فاز دیگر در الیگومیوسن هستند. این چهار فاز به ترتیب شامل (۱) جایگیری توده‌های دیوریتی/ کوارتز دیوریتی، (۲) جایگیری و نفوذ توده‌های گرانودیوریتی به درون فاز قبلی، (۳) تزریق توده‌های گرانیتی- آلکالی گرانیتی به درون فازهای قبلی؛ البته این فاز خود شامل تفریقی‌های آپلیتی- پگماتیتی نیز هست که به صورت رگه‌ای درون توده‌های گرانیتی- آلکالی گرانیتی و فازهای قبلی دیده می‌شوند. (۴) جایگزینی دایک‌های دیابازی در توده‌های گرانیتوئیدی. به طور کلی توده‌های نفوذی موجود در منطقه جبال بارز به سن الیگوسن- میوسن بوده و درون سنگ‌های آتشفشانی مجموعه هزار نفوذ کرده‌اند (Dimitrijevic, 1973). از توده‌های نفوذی مجموعه جبال بارز می‌توان به توده‌های دلفارد، دره حمزه، میجان، کرور و هیشن اشاره کرد.



شکل ۲. موقعیت قرارگیری نمونه‌های جبال بارز بر

روی نمودار TAS

شکل ۱- موقعیت نوار ماگمایی دهج- ساردوئیه در جنوب استان کرمان و

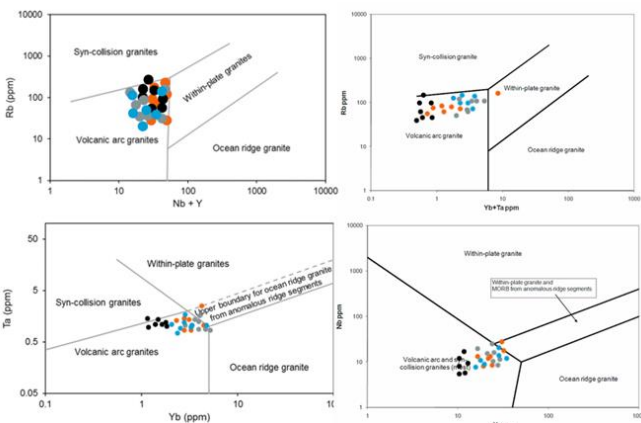
توده های گرانیتوئیدی جبال بارز در این نوار (قربانی، ۱۳۹۳).

### بررسی گرایش آداکیتی در گرانیتوئید جبال بارز

گرانیتوئیدهای کانی‌ساز در برخی کانسارها با مقادیر بالای نسبت‌های  $La/Yb$  و  $Sr/Y$  مشخص می‌شوند (Richards, 2011). سنگ‌های آذرین با نسبت  $Sr/Y$  بیش از ۲۰ و  $Y$  کمتر از ۱۲ به عنوان آداکیت در نظر گرفته می‌شوند و با منشا گرفتن ماگماها از از یک محیط با فشار بالا توضیح داده می‌شوند (Defant and Drummond, 1990). بنابراین ارتباط بین کانسار پورفیری و سنگ‌های آداکیتی جالب به نظر می‌رسد. کریم‌پور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی ارتباط ژنتیکی کانسارهای مس پورفیری با گرانیتوئیدهای آداکیتی و غیرآداکیتی در ایران پرداخته‌اند؛ با ترسیم نمودارهای مرتبط با آداکیت‌ها و بررسی کارهایی که تا کنون بر روی نواحی مختلف جبال بارز انجام شده، مشاهده می‌شود حداقل در مناطقی از جبال بارز که این مطالعات صورت گرفته سنگ‌ها از نوع آداکیتی نبوده و در محدوده کمان‌های ماگمایی نرمال قرار می‌گیرند (شکل ۳).

### محیط تکتونیکی

در رابطه با محیط تکتونیکی، توده‌های نفوذی بخش غربی جبال بارز، در محدوده گرانیتوئیدهای مرتبط با قوس قاره می‌گیرند (Dargahi et al, 2010, سپیدبر، ۱۳۹۷). محیط تکتونیکی بخش میانی جبال بارز نیز در ارتباط با فرورانش و مربوط به حاشیه فعال قاره می‌باشد (جشاری، ۱۳۹۸). توده‌های گرانیتوئیدی بخش انتهایی جبال بارز (جنوب سد نساء شهرستان بم) نیز نتایج مشابهی را نشان می‌دهند و بر اساس نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی در یک محیط قوس ماگمایی یا فرورانشی قرار می‌گیرند (محمدزاده جهانی، ۱۳۹۲). غنی شدگی نسبی توده‌های گرانیتوئیدی جبال بارز از LILE و LREE نسبت به HREE به همراه تهی شدگی از Ta، Nb و Ti بیانگر یک محیط زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای مرتبط با فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه قاره‌ای ایران مرکزی برای تشکیل آن است (بهیور و همکاران، ۱۳۹۹). (شکل ۴)



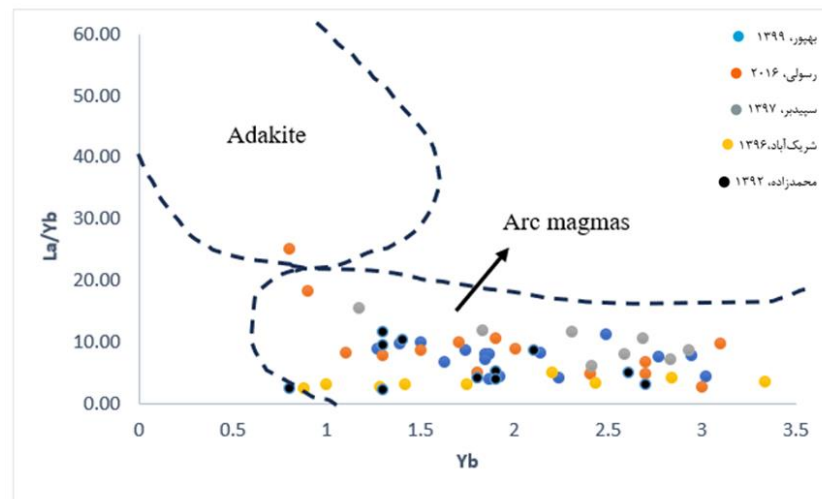
شکل ۴. نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساخت- ماگمایی (Pearce et al, 1984) و موقعیت قرارگیری نمونه‌های جبال بارز.

### نتیجه‌گیری

مجموعه گرانیتوئیدی جبال بارز در انتهای جنوب شرقی نوار ارومیه-دختر قرار گرفته و دارای ترکیب کلی دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت، گرانیت و آلکالی‌گرانیت است. ماگماتیسیم منطقه جبال بارز ماهیت کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان پتاسیم بالا و متآلومین تا پرآلومین ضعیف دارد و در محدوده گرانیت‌های نوع I قرار می‌گیرد. با ترسیم نمودارهای مرتبط با آداکیت‌ها مشاهده می‌شود حداقل در مناطقی از جبال بارز که مطالعات صورت گرفته سنگ‌ها از نوع آداکیتی نبوده و در محدوده کمان‌های ماگمایی نرمال قرار می‌گیرند. از لحاظ تکتونیکی مجموعه جبال بارز ویژگی‌های یک محیط زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای را نشان می‌دهد که در ارتباط با فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه قاره‌ای ایران مرکزی است.

### منابع

- بهیور، ش.، (۱۳۹۸) ژئوشیمی و پتروژنز بخش جنوب شرقی توده گرانیتوئیدی جبال بارز (جنوب بم، استان کرمان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- بهیور، ش.، مرادیان، ع.، احمدی‌پور، ح.، (۱۳۹۹) منشأ، تحولات ماگمایی و خاستگاه زمین‌ساختی جنوب شرق گرانیتوئید جبال بارز، بم، استان کرمان، علوم زمین، سال بیست و نهم، شماره ۱۱۶، صفحه ۲۰۳ تا ۲۱۱.
- جشاری، م.، (۱۳۹۸) پترولوژی، ژئوشیمی و محیط تکتونیکی بخش میانی مجموعه گرانیتوئیدی جبال بارز، شرق جیرفت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۰۰ صفحه.
- رسولی، ج.، قربانی، م.، (۱۳۹۶) کانه‌زایی مس پورفیری، دگرسانی، سن‌سنجی زیرکن به روش U/Pb و پتروژنز سنگ‌های منطقه دلفارد (شمال باختر جیرفت)، مجله علوم زمین، سال بیست و هشتم، شماره ۱۱۰، ص ۲۸۶-۲۷۳.



شکل ۳. نمودار  $La/Yb$  در برابر  $Yb$  و موقعیت قرارگیری نمونه‌های جبال بارز در محدوده کمان ماگمایی نرمال (Defant et al, 2002).



## بر آورد نرخ کرنش در زاگرس میانی به کمک مشاهدات GPS

عبدالخالق واعظی فرد<sup>۱</sup>، سعید زارعی<sup>۲\*</sup>، شبیر اشکپور مطلق<sup>۲</sup>، سیدرضا منصور<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران \*szarei@pgu.ac.ir  
۲- استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم و فناوری نانو و زیستی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

### تعیین نرخ گشتاور به کمک داده های GPS در زاگرس میانی

در این پژوهش با توجه به زمین‌ساخت ایران و گسلش هم‌زمان با زمین‌لرزه‌ها، شبکه‌بندی به کمک نرم‌افزار Arc GIS و بر اساس طول و عرض جغرافیایی یک درجه در یک درجه در نظر گرفته شده است. نرخ استرین به‌وسیله ایستگاه‌های GPS موجود در منطقه زاگرس، توسط سازمان نقشه‌برداری کشور و با بررسی بردارهای سرعت برگرفته از ظریفی ۲۰۱۳ و خرمی ۲۰۱۹ می‌باشند. مقدار نرخ استرین با استفاده از نرم‌افزار متلب استخراج و با میان‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی در نرم افزار Arc GIS، برای هر سلول برآورد شده است (شکل ۲). سپس مقدار نرخ گشتاور ژئودتیک برای هر سلول محاسبه شده است (جدول ۱). در منطقه مورد مطالعه ضخامت لایه لرزه‌ها با توجه به میانگین عمق کانونی زمین‌لرزه‌ها در کل زاگرس، برابر با ۱۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. پهنه‌بندی نرخ گشتاور ژئودتیک در منطقه زاگرس بر اساس شکل ۳ بیانگر این است که هرچه مناطق به سمت رنگ‌های گرم‌تر (در این پژوهش رنگ قرمز)، گرایش پیدا کنند نرخ گشتاور ژئودتیک بیشتر شده و هر چه به سمت رنگ‌های سردتر (در این پژوهش رنگ سبز)، گرایش پیدا نمایند نرخ گشتاور ژئودتیک کمتر می‌باشد. مناطق با رنگ زرد نیز نشان دهنده اعداد متوسط این دو می‌باشد. پهنه‌بندی صورت گرفته نشان دهنده آن است که در بخش‌های جنوبی نرخ گشتاور به طرز معناداری بیشتر از بخش‌های شمالی زاگرس می‌باشد.

### نتیجه گیری

نرخ گشتاور ژئودتیک شامل دگرشکلی‌های لرزه‌ای و غیر لرزه‌ای است و محدوده زمانی بسیار کوتاهی را شامل می‌شود. لذا این گشتاور مقادیر بیشتری را نسبت به دو روش دیگر نشان می‌دهد. این میزان برای کل زاگرس میانی برابر با  $10^{19} \times 2.838$  Nm/yr می‌باشد. نرخ گشتاور به‌دست‌آمده برای منطقه مطالعاتی، نشان دهنده سهم بیشتر دگرشکلی‌های بین‌لرزه‌ای در این پهنه ساختاری می‌باشد. این مطالعه نشان می‌دهد که بخش‌های جنوب و جنوب شرق استان فارس، بوشهر و هرمزگان می‌تواند دارای بیشترین مقدار انرژی موجود در زاگرس میانی باشد.

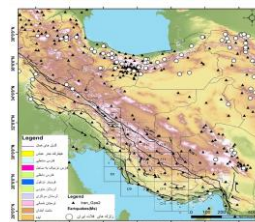
### مرجع

مهدیپور، ص.، زارعی، س.، منصور، س. ر.، 1400، ارزیابی پویایی لرزه زمینساختی در کمربند چین خورده و رانده زاگرس به کمک نسبت نرخ گشتاور لرزه ای به ژئودتیک. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد 15، شماره 2.

Kostrov, V. V. 1974, Seismic moment and energy of earthquakes, and seismic flow of rock. Izv. Acad. Sci. USSR Phys. Solid Earth, Engl. Transl. 23-44.

Nissen, Edwin, Mohammad Tatar, James A. Jackson, and Mark B. Allen. 2011, New views on earthquake faulting in the Zagros fold-and-thrust belt of Iran. Geophysical Journal International 186, no. 3, 928-944.

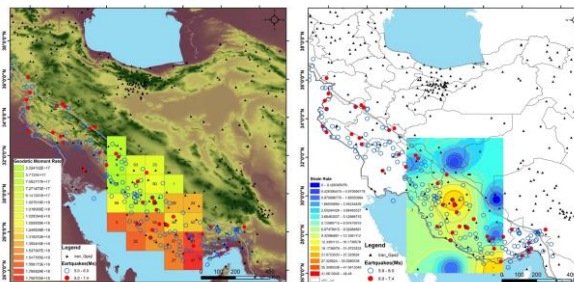
Ward, Steven N. 1998, On the consistency of earthquake moment rates, geological fault data, and space geodetic strain: the United States." Geophysical Journal International 134, no. 1, 172-186.



شکل ۱: نقشه موقعیت ایستگاه های GPS ایران محدوده مطالعه‌ای.

ردیف	نام ایستگاه	مختصات (طول و عرض)	ارتفاع (متر)	نرخ استرین (1/yr)
G11	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
E8	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
H8	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
D10	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
B	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
D9	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
H10	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
F12	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
C11	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
F11	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
F10	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
G8	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
E9	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
D12	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
C12	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
G10	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
G9	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
D12	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
H9	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
F9	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
E10	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
E11	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
D11	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04
F8	3.00E+10	2.00E+00	15	1.01E-04

جدول ۱: نرخ استرین و گشتاور ژئودتیک محاسبه شده برای هر سلول.



شکل ۳: پهنه بندی نرخ گشتاور ژئودتیک. رنگ های گرم میزان نرخ گشتاور بالاتر و بنابراین میزان بالاتر انرژی و رنگ های سرد میزان نرخ گشتاور پایینتر را نشان می‌دهند.

شکل ۲: پهنه بندی نرخ استرین در منطقه مورد مطالعه. رنگ های گرم میزان نرخ استرین بالاتر و رنگ های سرد میزان نرخ استرین پایینتر را نشان می‌دهند.

### مقدمه

امروزه با ظهور ژئودزی فضایی یک منبع جدید از اطلاعات در مورد میزان فعالیت زمین‌لرزه‌ها به‌دست‌آمده است. ژئودزی فضایی به‌وسیله سنجش مدل‌ها و اندازه‌گیری نرخ استرین زمین‌ساختی که زمین‌لرزه‌ها ایجاد می‌کنند، نرخ فعالیت را پیش‌بینی می‌کند. مقدار نرخ استرین به کمک نرم‌افزار متلب استخراج گردید و با میان‌یابی به روش نزدیک‌ترین همسایگی، برای هر سلول در زاگرس میانی به عنوان یک منطقه فعال زمین‌ساختی برآورد شده است. سپس مقدار نرخ گشتاور ژئودتیک برای هر سلول محاسبه شده است. این مقدار در بخش‌هایی از غرب استان فارس و استان بوشهر و همچنین بخش‌های غربی استان هرمزگان بیشتر می‌باشد. پهنه‌بندی صورت گرفته برای نرخ گشتاور ژئودتیک نشان دهنده آن است که در بخش‌های جنوبی این نرخ به طرز معناداری بیشتر از بخش‌های شمالی زاگرس می‌باشد که نشان می‌دهد در این مناطق انرژی بیشتری وجود دارد و لذا می‌تواند از خطر لرزه خیزی بالاتری در آینده برخوردار باشد.

### موقعیت زمین شناسی منطقه

بر پایه بررسی‌های ناحیه‌ای، جنوب ایران در پهنه برخوردی میان ایران، عربستان قرار گرفته است و به همین دلیل، در حال حاضر زاگرس تحت تأثیر دگرشکلی، ناشی از فشارهای زمین‌ساختی با روند NNE-SSW، فرجام همگرایی و برخورد قاره‌ای، قرار دارد. در گستره مورد بررسی به جز گسل‌های پی سنگی با روند شمال شرق - جنوب غرب و سازوکار راستالغز راستگرد بقیه گسل‌ها اصلی دارای روند شمال غرب - جنوب شرق با سازوکار راندگی می‌باشند. زلزله‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی اکثراً در عمق کمتر از پی سنگ بوده و گسل‌های پی-سنگی رازک و فیروزآباد تأثیر کمی در خطر زمین‌لرزه منطقه دارند. گسل‌های کازرون، سبزووشان، کره بس، پیشانی کوهستان (MFF) و پیش ژرفای زاگرس (ZFF) گسل‌های موثر در خطر زمین‌لرزه محدوده مطالعاتی می‌باشند (شکل ۱)

### روش مطالعه

نرخ گشتاور ژئودتیک پتانسیل منطقه پوشش داده‌شده توسط شبکه ژئودینامیکی را در یک محدوده زمانی نسبتاً کوتاه در برمی‌گیرد و همه حرکات لرزه‌ای و غیرلرزه‌ای در منطقه را نشان می‌دهد. وارد در سال ۱۹۹۸ میلادی برای اولین بار این کمیت را با استفاده از داده‌های ژئودتیک و با استفاده از تانسور استرین حاصل از آن تعیین کرد. این پژوهشگر نرخ گشتاور ژئودتیک را برای آمریکا و اروپا از طریق فرمول زیر محاسبه کرد:او از وارونگی اسکالر رابطه کاسترو و بزرگ‌ترین مقدار ویژه تانسور استرین استفاده کرد.

$$\dot{M}_{geodetic} = 2\mu AH_S \dot{\epsilon}_{max}$$