تعیین منشأ سنگ درونگیر ذخایر مس با میزبان رسوبی در حوضه طبس- راور بر پایه برداشت‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌نگاری

رامین هندی [1*] و علی‌اصغر حسنی‌پاک [2]

[1] دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[2] استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۱۳

چکیده

این نوشتار، بخشی از نتایج پژوهش انجام شده در رابطه با بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانسارهای مس با میزبان رسوبی در بلوک طبس- راور است که به منظور شناسایی ویژگی‌های ژئوشیمیایی محیط تشکیل این کانسارها تعیین سنگ منشأ رسوبات در منطقه انجام شده است. بدین منظور افزون بر نمونه‌های ژئوشیمیایی متعارف ۵۵ نمونه کانی‌سنگین از رسوبات آبراهه‌ای و ۴۹۳ نمونه سنگی از رخنمون‌های سنگ درونگیر کانی‌سازی برداشت شد. بر پایه مطالعه نمونه‌های کانی‌سنگین و مقاطع نازک تهیه شده از رخنمون سنگ‌های تخریبی منطقه، کانی‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات تخریبی تعیین شد. سپس بر پایه محل برداشت نمونه‌های بالا، نقشه توزیع فضایی شاخص‌های محتوای فلدسپار و اجزای دگرگونی نمونه‌ها با استفاده از روش کریجینگ شاخص رسم شد. با مقایسه نقشه رسم شده و زمین‌شناسی یکپارچه بلوک‌های مجاور، سنگ مادر اولیه تأمین‌کننده رسوبات تخریبی در حاشیه باختری بلوک طبس- راور در محدوده بلوک‌های کلمرد و پشت بادام تعیین شد. به منظور تعیین دامنه سنی سنگ منشأ احتمالی اجزای تخریبی ماسه‌سنگ‌های درونگیر ذخایر مس با میزبان رسوبی از بلورهای زیرکن استفاده شد. بلورهای زیرکن از نمونه‌های ماسه‌سنگ با سن حد فاصل ژوراسیک تا کرتاسه و همچنین از نمونه‌های کانی‌سنگین استخراج شده و بر پایه آن دامنه سنی سنگ مادر تأمین‌کننده اجزای تخریبی حوضه رسوبی طبس- راور مشخص شده است. نتایج سنجش سن بلورهای زیرکن بیانگر وجود چهار جامعه آماری متمایز در نتایج بوده است. بخش عمده نتایج تعیین سن با دامنه سنی سنگ مادر تعیین شده در حاشیه باختری حوضه منطبق بوده و توزیع فراوانی سن بلورهای زیرکن‌ها با فرایندهای کوهزایی شناخته شده در ایران مرکزی همخوانی قابل قبولی از خود نشان داده است. بخشی از بلورهای زیرکن نیز که دارای قدمت بیش از یک میلیارد سال بوده‌اند وجود دو فاز کوهزایی در بازه ۱/۷ تا ۲ میلیارد سال و در حد فاصل ۲/۵ میلیارد سال پیش را در سنگ مادر پی‌سنگ ایران مرکزی پیشنهاد کرده است.

کلیدواژه‌ها: کانسار مس با میزبان رسوبی، ایران مرکزی، بلوک طبس، بلوک پشت‌بادام، تعیین سن اورانیم سرب، زیرکن

***نویسنده مسئول:** رامین هندی
E-mail: raminhendi@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

کانسارهای مس با میزبان رسوبی (Sediment-hosted Copper Deposit) پس از کانسارهای مس پورفیری بزرگترین ذخایر تولید کننده مس در جهان هستند. کانسارهای مس با میزبان رسوبی در حدود ۲۳ درصد از تولید جهانی مس را دارند (Jaques, 1997; Wilkinson, 2012). با توجه به کاهش احتمال کشف ذخایر پورفیری در سطح جهانی، تمایل به سرمایه‌گذاری اکتشافی در دیگر ذخایر مس از جمله کانسارهای مس با میزبان رسوبی افزایش یافته است. در طی سال‌های اخیر نیز در ایران با توجه به افزایش قیمت جهانی مس و توسعه حوضه‌های رسوبی مناسب، تمایل به سرمایه‌گذاری اکتشافی در این کانسارها به عنوان یکی از منابع تأمین کننده مس افزایش یافته است. شناسایی ویژگی‌های حوضه‌های رسوبی مناسب و تعیین شرایط عمومی و محلی کانسارهای مس با میزبان رسوبی می‌تواند در اکتشاف و توسعه معدن‌کاری در این مناطق بسیار مفید باشد. مقاله حاضر نیز بخشی از نتایج مطالعات انجام شده در یکی از حوضه‌های رسوبی بزرگ ایران مرکزی یعنی حوضه رسوبی طبس- راور است. این حوضه مساحتی بالغ بر ۴۷۰۰۰ کیلومتر مربع را شامل می‌شود و در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۶ تا ۵۷/۵ درجه خاوری و عرض جغرافیایی ۳۰/۵ الی ۳۵ درجه شمالی واقع شده که از جنوب شهرستان راور تا شمال شهرستان طبس گسترش دارد.

۲- زمین‌شناسی منطقه

بلوک طبس- راور بخشی از خرد قاره ایران مرکزی (Central-East Iranian Microcontinent) است که در حاشیه خاوری و بخش میانی این خرد قاره (Takin,1972) و در حد فاصل دو برگه عربستان و توران (اوراسیا) قرار دارد. ویژگی‌های این بخش از ایران مرکزی توسط افراد مختلف بررسی و توصیف شده است (Stocklin,1968؛ نبوی، ۱۳۵۵؛ افتخارنژاد، ۱۳۵۹؛ Seyed-Emami et al.,2004؛ آقانباتی، ۱۳۷۷ الف؛ ۱۳۸۳). ساختار کلی این خرد قاره شامل بلوک‌های مجزایی است که در اثر عملکرد شگستگی‌های عمده موجود در منطقه حاصل شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ Alavi,1991; Sengör,1990). در اثر بالاآمدگی و فرورفتگی بلوک‌ها در امتداد این گسل‌ها، ساختمان‌های فرازمین (هورست) و فروزمین (گرابن) ایجاد شده است که ساختار کلی این بخش را شکل داده است. وجود ناهمسانی‌های ساختاری- رسوبی گسترده در میان این بلوک‌ها سبب شده است که بتوان خرد قاره ایران مرکزی را به بلوک‌های لوت، طبس، کلمرد، پشت بادام و بلوک یزد تقسیم کرد (آقانباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۱).

در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی یکپارچه شده بر پایه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مطالعاتی ارائه شده است. در شکل ۲- الف نقشه رده‌بندی شده بر پایه سکانس‌های موجود در منطقه ارائه شده در این شکل بخش عمده خرد قاره ایران مرکزی و به ویژه بلوک طبس- راور را رخساره سنگ‌های رسوبی پوشانده است، به گونه‌ای که حوضه رسوبی طبس- راور یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های رسوبی ایران مرکزی را شکل می‌دهد. در حاشیه خاوری منطقه (بلوک لوت) و حاشیه جنوب باختری منطقه (پهنه ارومیه دختر) رخساره‌های آتشفشانی دیده می‌شود و در حد فاصل بلوک پشت بادام و بلوک یزد یک سری سنگ‌های آذرین نفوذی و سنگ‌های دگرگونی رخنمون دارند. در شکل ۲- ب نیز دامنه سنی واحدهای مختلف زمین‌شناسی بر پایه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه نمایش داده شده است. بر پایه این نقشه یک سری سنگ‌های رسوبی، دگرگونی و توده‌های نفوذی واقع در حاشیه باختری بلوک

Archive of SID
www.SID.ir

طبس- راور کهن‌ترین سنگ‌های منطقه (و حتی ایران مرکزی) را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها دارای سن پرکامبرین تا کامبرین هستند و دیگر سنگ‌های پالئوزوییک با سن جوان‌تر از کامبرین بیشتر در بخش شمالی و جنوبی بلوک پشت بادام قرار دارند. عمده سنگ‌های مربوط به سکانس رسوبی که بیشترین رخنمون سنگی را در منطقه دارند نیز متعلق به مزوزوییک هستند. بیشترین رخنمون آنها در بلوک طبس- راور متعلق به رسوباتی با سن ژوراسیک و کرتاسه هستند. سنگ‌های آذرین نفوذی و خروجی جوان‌تر نیز که در بلوک لوت و پهنه ارومیه دختر گسترش دارند متعلق به ترشیری هستند.

بر پایه مشاهدات صحرایی و پژوهش‌های انجام شده در مورد ذخایر مس با میزبان رسوبی در این منطقه، سنگ درونگیر کانی‌سازی‌های مس محدود به طبقات سرخ رنگ با دامنه سنی حد فاصل ژوراسیک تا کرتاسه است. عمده کانی‌سازی در سازند گره‌دو و رخساره‌های معادل آن است که در محدوده شهرستان راور تا شمال طبس گسترش دارد. طبقات سرخ سازند گره‌دو بیشتر در بخش شمالی بلوک طبس- راور گزارش شده است. در بخش‌های میانی و جنوبی بلوک طبس طبقات سرخ با نام‌های مختلف مانند سازند سرخ قاره‌ای (Stocklin,1968)، سنگ‌ماسه‌های دانه درشت سرخ، رسوب‌های سرخ رنگ بالای سازند بیدو، لایه‌های بیدو، سازند بیدو (Huber&Stöcklin, 1954)، سری بیدو (Huckriede et al., 1962)، سازند سرخ بالایی (Stocklin, 1968a)، لایه‌های سرخ گره‌دو (Ruttner et al., 1968) و بخش آواری گچ مگو (Aghanabati, 1975;1977) نامیده شده‌اند که در واقع یک واحد سنگی مشترک ولی با نام‌های متفاوت، مربوط به ژوراسیک پایانی و کرتاسه آغازین هستند (آقانباتی، ۱۳۷۷ ب)، (Wilmsen et al., 2009).

۳- معرفی مدل‌های کانسار مس با میزبان رسوبی

کانسارهای مس رسوبی از جمله کانسارهای چینه‌سان و چینه‌کران همراه با سکانس‌های رسوبی یا سکانس‌های رسوبی دگرگون شده هستند. این کانسارها بیشتر با سنگ‌های رسوبی آواری از جمله ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل، سنگ‌آهک ماسه‌ای و دولومیت یا معادل‌های دگرگونی آنها همراه هستند. کانسارهای مس با میزبان رسوبی بر خلاف کانسارهای ماسیو سولفاید به ندرت با سنگ‌های آتشفشانی یافت می‌شوند (Maidenet al., 1984) و تشکیل این کانسارها مستقل از فرایندهای آذرین شکل می‌گیرند (Cox et al., 2003). اولین تقسیم‌بندی کانسار مس با میزبان رسوبی توسط Routhier (1963) انجام شد. پس از آن تقسیم‌بندی‌های متفاوتی توسط افراد مختلف از جمله Mosieret al. (1986); Cox (1986); Kirkham (1989); Hitzman et al. (2005) ارائه شده است. جامع‌ترین و مستندترین تقسیم‌بندی موجود توسط سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و توسط Cox et al. (2003) انجام شده است. این تقسیم‌بندی عبارت است از: زیر تیپ رخساره‌های احیایی (RF)، زیر تیپ رخساره‌های اکسیدی یا طبقات سرخ (RB) و زیر تیپ رخساره‌های ماسه‌سنگی احیایی ریوت (RV). گسترش زیاد شیل‌های سیاه و سنگ‌های آهکی احتمال توسعه تیپ RF، وجود شرایط احیایی محلی در طبقات سرخ احتمال تشکیل تیپ RB و گسترش شرایط احیایی در ماسه‌سنگ‌ها احتمال تشکیل تیپ RV را افزایش می‌دهد (Coxet al., 2003؛ حسنی پاک و هندی، ۱۳۹۰). بالا بودن متوسط عیار در این ذخایر یکی از مهم‌ترین جاذبه‌های آنها در جامعه معدنی است. با توجه به مدل‌های ارائه شده برای کانسارهای مس با میزبان رسوبی، واحدهای سنگی موجود در منطقه، توسعه حوضه‌های رسوبی کم ژرفای قاره‌ای و رسوبات طبقات سرخ که در بخش عمده حوضه طبس- راور گسترش دارند، بیشترین پتانسیل موجود برای کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی، کانی‌سازی تیپ طبقات سرخ (RB) است. پس از این تیپ کانی‌سازی، با توجه به گسترش واحدهای تخریبی ماسه‌سنگی و شیلی تیره رنگ مانند شمشک و هجدک در ژوراسیک پیشین تا میانی، به ویژه در بخش‌های جنوبی و شمالی حوضه راور- طبس، محتمل‌ترین تیپ موجود، کانی‌سازی مس احیایی (RF) است. در نهایت تیپ Reveet (RV) با توجه نبود شرایط اولیه مناسب دارای کمترین احتمال است.

۴- تعیین نقاط امید بخش

در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، وجود طبقات سرخ از سه نظر مهم است. اول این که در صورت وجود رسوبات تخریبی دارای قطعات سنگ مافیک و یا کانی‌های فرومنیزین این رسوبات می‌توانند به عنوان منبعی برای شستشوی عنصر مس از سنگ به حساب آیند، در این صورت طبقات سرخ به عنوان منشأ تأمین کننده عنصر مس می‌توانند مطرح باشند. دوم آن که طبقات سرخ به دلیل داشتن میان‌لایه‌های تبخیری مناسب، می‌توانند به عنوان تأمین‌کننده شوری لازم برای سیال حمل کننده مس در این طبقات به شمار آیند که سبب تسهیل مهاجرت عنصر مس است. سوم آن که در صورتی که منشأ عنصر مس و سیال با شوری مناسب در خارج از این طبقات باشد، این طبقات به دلیل وجود شرایط اکسیدان، محیط مناسبی برای تداوم پایداری و مهاجرت کمپلکس‌های دارای عنصر مس تا مسافت‌های زیاد هستند. بر پایه مدل‌های زایشی کانسارهای مس با میزبان رسوبی و مطالعات انجام شده در مورد کنترل‌کننده‌های زمین‌شناسی این کانسارها در مقیاس ناحیه‌ای، فراگیرترین کنترل‌کننده که مورد قبول همه صاحب نظران در این زمینه است، وجود سکانس رسوبی مناسب برای سنگ میزبان کانی‌سازی است که به طور عمده شامل رسوبات تخریبی و آواری سرخ رنگ (Red bed) است که دارای افق‌های تیره رنگ (احیای) به صورت میان‌لایه (مانند کمربند مس زامبیا (Selley et al., 2005) و یا پوشاننده کل سکانس (مانند ذخایر حوضه کوپرشیفر) است. بر پایه مباحث ارائه شده برای تعیین نقاط پرپتانسیل تشکیل ذخایر مس با میزبان رسوبی، مهم‌ترین لایه اطلاعاتی وجود رخنمون‌های سنگی، شامل لایه‌های سرخ رنگ است. محل این رخنمون‌ها بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی موجود تعیین و بر پایه داده‌های دور سنجی (اطلاعات سنجنده Aster) تصحیح و تکمیل شده است. به این مناطق نقاط توسعه آثار و نشانه‌های معدنی و رخنمون‌های احتمالی کانسارهای مس با میزبان رسوبی و دیگر لایه‌های اطلاعاتی مانند اطلاعات ژئوشیمیایی (رسوبات آبراهه‌ای ۱:۱۰۰۰۰۰)، اطلاعات ژئوفیزیک هوایی اضافه شده است. در پایان نیز بر پایه تلفیق کلیه لایه‌های اطلاعاتی، مناطق امید بخش تعیین شده. این مناطق مساحتی در حدود ۲۳۵۰۰ کیلومترمربع را تحت پوشش قرار می‌دهد که در شکل ۳ نشان داده شده است.

۵- بازدید صحرایی و عملیات نمونه‌برداری

در مناطق امید بخش تعیین‌شده به منظور بررسی شواهد زمین‌شناسی و شناخت ویژگی‌های کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی در مجموع ۱۱۹ محل مورد بازدید صحرایی قرار گرفت. موقعیت مکانی این نقاط در شکل‌های ۱ و ۳ دیده می‌شود. در طی عملیات صحرایی ۱۲۳ نمونه ژئوشیمی از رسوبات آبراهه‌ای، ۵۵ نمونه کانی‌سنگین و ۴۹۳ نمونه سنگی از بخش‌های مختلف سنگ درونگیر کانی‌سازی و بخش‌های کانی‌سازی شده برداشت شد. از ۴۹۳ نمونه سنگی ۱۹۳ نمونه برای تهیه مقاطع نازک، ۱۶ نمونه برای تهیه مقطع صیقلی، ۴۰ نمونه برای تهیه مقاطع نازک صیقلی، ۷ نمونه برای تهیه مقاطع دو رو صیقلی برداشت شد. به منظور جدایش کانی‌های مناسب برای مطالعات ایزوتوپی و تعیین سن نیز ۵۰ نمونه سنگی پس از خردایش تا زیر یک میلی‌متر، برای آماده‌سازی و جدایش بخش سنگین تا نیمه سنگین به آزمایشگاه مربوطه ارسال شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۶–نتایج مطالعات مقاطع نازک

از ۱۹۳ مقطع نازک تهیه شده، با توجه به مشاهدات صحرایی و بررسی اولیه مقاطع آماده شده، ۸۳ مقطع که نماینده کل تغییرپذیری دیده شده در سنگ‌های نمونه‌برداری شده بودند انتخاب و به طور کامل مطالعه شده‌اند. با توجه به اهداف این پژوهش مواردی که در طی این مطالعه مد نظر بوده عبارت‌اند از: تعیین نام سنگ، متوسط اندازه دانه‌های آواری، نوع سیمان، تعیین درجه بلوغ بافتی، تعیین بلوغ کانی‌شناسی، بررسی وجود بافت پشتیبان، تعیین میزان تراکم رسوبات، وضعیت تماس بین ذرات، بررسی درز و شکاف‌ها و پرشدگی و تهی‌شدگی آنها، میزان جورشدگی اجزا، میزان گردشدگی دانه‌ها، جنس اجزای تشکیل دهنده رسوبات و فراوانی نسبی آنها، تعیین نوع و میزان کانی‌سازی احتمالی و دیگر موارد احتمالی بر حسب نوع نمونه برداشت شده. در ادامه خلاصه بررسی آماری نتایج مرتبط با مقاله حاضر ارائه شده است. سنگ درونگیر و میزبان کانسارهای مس با میزبان رسوبی عمدتاً از سنگ‌های تخریبی و در برخی موارد سنگ‌های رسوبی شیمیایی تشکیل شده است. در جدول ۱ توزیع نوع سنگ میزبان در بلوک طبس- راور نشان داده شده است که بر پایه ۸۳ مقطع نازک مطالعه شده در این منطقه تعیین شده است. در این جدول متوسط تنوع سنگ میزبان جهانی این ذخایر نیز ارائه شده و همان گونه که دیده می‌شود تشابه بسیاری بین این دو مورد وجود دارد.

از نظر نوع مواد تشکیل دهنده قطعات تخریبی، کانی کوارتز و فلدسپار فراوان‌ترین کانی دیده شده در مقاطع هستند، این کانی‌ها به ترتیب در ۹۹٪ و ۸۳٪ مقاطع مشاهده شده‌اند. در میان قطعات فلدسپار مشاهده شده، در ۷۴٪ موارد کانی ارتوز و در ۲۶٪ موارد پلاژیوکلاز قابل تشخیص بوده است. پس از مجموعه کانی‌های بالا، قطعات چرت، خرده‌های آهکی، دگرگونی، خرده شیلی، کانی کدر دارای بیشترین فراوانی هستند. کانی زیرکن نیز با فراوانی ۶٪ (در چهار مقطع) کمترین کانی مشاهده شده در مقاطع مطالعاتی بوده است. قطعات آتشفشانی کمترین واحد تشکیل دهنده قطعات تخریبی در سطح مقطع بوده‌اند. این قطعات در ۴٪ موارد (تنها سه مقطع) دیده شده است که در هر مقطع کمتر از ۱٪ سطح مقطع را شامل می‌شده است. خرده‌های سنگ دگرگونی در ۴۲٪ مقاطع (۴۵ نمونه) دیده شده‌اند که در برخی موارد تا ۵۰٪ سطح مقطع را شامل می‌شده است. بیشترین نوع دگرگونی دیده شده از نوع شیست با فراوانی ۳۶٪ و سپس اسلیت با فراوانی ۲۹٪ در مقام دوم بوده است. در برخی موارد نیز فیلیت دیده شده است. در ۹٪ موارد نیز تعیین نوع دگرگونی میسر نبوده است.

۷–خلاصه مطالعات کانی سنگین

هدف از مطالعات کانی‌سنگین معرفی شواهد کانی‌سازی احتمالی، تعیین شواهد سنگ منشأ احتمالی و در نهایت جدایش کانی‌های لازم برای مطالعات ایزوتوپی پایدار و ناپایدار مانند زیرکن، آپاتیت و کانی‌های سولفوره بوده است. از ۱۱۹ ایستگاه صحرایی مورد بازدید ۵۵ نمونه کانی‌سنگین با حجم تقریبی ۵ تا ۷ لیتر برداشت شده است. افزون بر نمونه‌های رسوب آبراهه، ۵۰ نمونه سنگی برای جدایش کانی‌های لازم به منظور تجزیه ایزوتوپی، انتخاب شده و پس از خردایش نمونه‌ها تا اندازه یک میلی متر برای مطالعه کانی‌های سنگین، مورد گل‌شویی، لاوک شویی و بروموفورم گیری قرار گرفته‌اند. موقعیت ۵۵ نمونه کانی‌سنگین برداشت شده از رسوبات آبراهه‌ای و ۵۰ نمونه سنگی خردایش شده در شکل شماره ۳ به ترتیب با نماد مربع سرخ رنگ و لوزی زرد رنگ نشان داده شده است. کلیه نمونه‌ها پس از طی مراحل آماده‌سازی، توسط دستگاه بیناکولار مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از موارد گزارش شده در نتایج مطالعات کانی‌سنگین وجود کانی‌های معرف سنگ‌های دگرگونی مانند گارنت، آندالوزیت و همچنین قطعات سنگ‌های دگرگونی است. در شکل شماره ۴ توزیع جغرافیایی موارد بالا در نمونه‌های کانی‌سنگین دیده می‌شود.

۸–تعیین سنگ منشأ احتمالی رسوبات

برای تعیین سنگ منشأ احتمالی رسوبات آواری تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌های این منطقه، نقشه توزیع فضایی اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها، رسم شد. سپس بر پایه مقایسه نقشه تهیه شده با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، الگوی محتمل مهاجرت ذرات آواری تعیین شده است. بیشترین رخنمون سنگ‌های رسوبی مورد مطالعه در بخش کانی‌سازی شده و در اطراف آن از سنگ‌های رسوبی با دانه‌بندی متوسط تا دانه‌ریز تشکیل شـده که در ۴۰٪ موارد از ماسه‌سنگ آرکوزی و لیتیک آرکوز تشکیل شده است و در ۶٪ موارد نیز ساب آرکوز دیده شده است. به منظور تعیین سنگ منشأ احتمالی رسوبات آواری تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه، مدل توزیع فضایی ماسه‌سنگ‌های حاوی فلدسپار رسم شده است. بدین منظور بر پایه نتایج مطالعات سنگ‌شناسی تمامی مقاطع نازک در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری، بر پایه میزان محتوای فلدسپار دیده شده در مقاطع مطالعاتی، به هر ایستگاه یک کد عدد صحیح بین صفر تا ۳ اختصاص داده شده است. پس از تبدیل عددی بالا با استفاده از روش برآورد کریجینگ شاخص (Indicator Kriging) میزان محتوای فلدسپار در محدوده رخنمون‌های سنگی سازند گره‌دوو معادل آن برآورد شده است. نتایج حاصل از این برآورد در شکل ۵ ارائه شده است. محدوده برآورد شده در این شکل با خط مرزی سرخ رنگ مشخص شده است و در زمینه این شکل، نقشه زمین‌شناسی یکپارچه که بر پایه نوع رخساره طبقه‌بندی شده قابل مشاهده است. در این شکل برای رنگ‌آمیزی نقشه از نقاط انفصال هیستوگرام مقادیر برآورد شده استفاده شده است. بر این اساس، حدود رنگ آمیزی بخش‌های کم فلدسپار، دارای فلدسپار متوسط و مناطق دارای فلدسپار بالا تعیین شده و با رنگ‌های زرد، نارنجی و قهوه‌ای در شکل ۵ مشخص شده‌اند. بر پایه نقشه توزیع مقدار محتوای کانی فلدسپار در واحد زمین‌شناسی گره‌دو و معادل آن، نمونه‌های واقع در بخش جنوبی بلوک طبس- راور دارای بیشترین مقدار محتوای فلدسپار هستند و هر چه به سمت شمال برویم از مقدار محتوای فلدسپار کاسته می‌شود. نکته قابل توجه در این شکل تشابه میزان گسترش و الگوی بخش دارای محتوی فلدسپار بالا با رخنمون‌های سنگ‌های آذرین در بلوک پشت‌بادام در باختر منطقه است. با توجه به دامنه سنی و نوع رخنمون واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، تنها منشأ احتمالی برای ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه واحدهای سنگی رخنمون‌دار در بلوک پشت‌بادام می‌تواند در نظر گرفته شود.

برای حصول اطمینان از سنگ منشأ احتمالی، سعی شد تا افزون بر ملاک وجود ذرات آواری فلدسپار از معیار دیگری نیز استفاده شود. بدین منظور با توجه به گسترش قابل توجه قطعات سنگ‌های دگرگونی در مقاطع مورد مطالعه، از این معیار نیز استفاده شده است. چون برای گسترش قطعات سنگ‌های دگرگونی و کانی‌های توسعه یافته در سیستم‌های دگرگونی (مانند گارنت و آندالوزیت) داده‌های دیگری نیز بر پایه مطالعات نمونه‌های کانی‌سنگین در دست است، از تلفیق تمامی این اطلاعات استفاده شده است. موارد به کار رفته در تعیین میزان توسعه اجزای دگرگونی در رسوبات موجود در هر ایستگاه نمونه‌برداری عبارت است از مشاهده کانی‌های گارنت، آندالوزیت و قطعات سنگ‌های دگرگونی در نمونه‌های کانی سنگین به همراه مشاهده قطعات سنگ‌های دگرگونی مانند شیست و اسلیت در مقاطع نازک مطالعه شده. بر پایه مجموعه موارد بالا در هر ایستگاه، یک امتیاز، بین صفر (هیچ جزء دگرگونی دیده نشده) تا چهار (چهار مورد از موارد بالا قابل مشاهده بوده است) برای هر ایستگاه اختصاص داده شده است. پس از تعیین شاخص‌های دگرگونی، با استفاده از روش برآورد کریجینگ شاخص، نقشه توزیع شاخص دگرگونی در محدوده رخنمون سازند گره‌دو و معادل آن رسم شده است (شکل ۶). در این شکل بخش‌های دارای اجزای کم دگرگونی، دارای اجزای متوسط دگرگونی و مناطق دارای اجزای زیاد دگرگونی تعیین شده و با رنگ‌های زرد، نارنجی و قهوه‌ای در نقشه مشخص شده‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir

همان گونه که در این شکل نیز دیده می‌شود الگوی توزیع شواهد دگرگونی به دست آمده طی مطالعات مختلف همگی بر وجود سنگ منشأ احتمالی در حاشیه باختری بلوک طبس- راور به ویژه در بلوک پشت بادام تأکید دارند. از آنجا که نقشه مربوط به اجزای دگرگونی بر پایه اطلاعات بیشتری رسم شده است دقت بیشتری دارد و به خوبی حرکت بلوک طبس- راور را نسبت به بلوک مجاور در حاشیه باختری نمایش می‌دهد. این حرکت هم در بخش شمالی و همچنین در بخش جنوبی، در جایی که بیشترین شواهد وجود رسوبات آواری حاوی قطعات حاصل از فرسایش سنگ‌های دگرگونی است، دیده می‌شود.

نکته قابل توجه دیگر، انطباق زیاد محدوده طولی گسترش رسوبات آواری دارای مقادیر بالای شواهد دگرگونی (رنگ قهوای) با گسترش مناطق رخنمون سنگ‌های دگرگونی در حاشیه باختری بلوک طبس- راور است که در نقشه توزیع محتوای فلدسپار رسوبات آواری (شکل ۵) نیز به خوبی دیده می‌شود. این انطباق بیانگر، فرسایش و هوازدگی رخساره‌های آذرین و دگرگونی در حاشیه باختری بلوک طبس- راور (به خصوص بلوک پشت بادام) و حمل محصولات به درون حوضه رسوبی است. پس از رسوب مواد آواری و قطعات تخریبی در حوضه رسوبی شاهد تشکیل واحدهای سنگی مختلف با توجه به شرایط حاکم بر بخش‌های مختلف محیط رسوبی هستیم. پس از اتمام مراحل مختلف دیاژنز (یا در طی آن)، حرکات زمین‌ساختی ناشی از گسل‌های شمالی- جنوبی مانند گسل‌های کلمرد و کوهبنان (با حرکت راستگرد) کلیه رخساره‌های رسوبی تشکیل شده در بلوک طبس- راور به سمت جنوب جابه‌جا شده‌اند که به خوبی در این نقشه‌ها دیده می‌شوند.

همخوانی نسبی گسترش محدوده مقادیر بالای فلدسپار و اجزای دگرگونی با گسترش محدوده رخنمون‌های واحدهای آذرین و دگرگونی در حاشیه باختری بلوک طبس می‌تواند بیانگر آهنگ بالای فرسایش و یا سرعت به نسبت بالای حمل مواد به حوضه باشد. چرا که گسل‌های کوه‌بنان و کلمرد از گسل‌های بسیار قدیمی هستند و بر پایه شواهد موجود از پرکامبرین و پالئوزوییک تا مزوزوییک و حتی در سنوزوییک فعال بوده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳؛ بربریان، ۱۹۷۶؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۱). اگر حمل رسوبات با سرعت کم انجام می‌شد شاهد توزیع و گسترش وسیع‌تر این مواد در حوضه رسوبی بودیم. از دیگر نکات قابل استنباط از نقشه‌های رسم شده، عملکرد همزمان و مشابه گسل‌های کلمرد و کوه‌بنان با یکدیگر است. در شکل ۶ در بخش شمالی بلوک طبس و در بخش میانی این بلوک رسوبات دارای مقادیر بالای شاخص دگرگونی (با رنگ قهوه‌ای) در مقایسه با رخنمون واحدهای دگرگونی بلوک کلمرد و پشت‌بادام میزان جابه‌جایی یکسانی دارند که می‌تواند شاهدی بر عملکرد واحد این دو گسل و تقویت کننده این فرضیه که گسل کوه‌بنان امتداد گسل کلمرد است (آقانباتی، ۱۳۸۳) باشد.

۹- تعیین سن ایزوتوپی سنگ مادر طبقات سرخ گره‌دو و معادل آن

در این پژوهش، بیشتر محیط مورد بررسی، یک حوضه رسوبی است و بیشتر نمونه‌های برداشت شده شامل رسوبات تخریبی دانه ریز تا دانه متوسط هستند. در این بخش هدف تعیین سن سنگ میزبان نیست، زیرا شواهد دیرینه‌شناسی و چینه‌شناسی کافی برای تعیین سن سنگ میزبان در دست است. هدف از بررسی نمونه‌های برداشت شده، تعیین منشأ سنگ میزبان و به دست آوردن برخی شواهد برای شناخت کامل‌تری از تاریخچه حوضه رسوبی است. در سنگ‌های رسوبی و به ویژه رسوبی تخریبی مانند ماسه‌سنگ‌ها، برای تعیین سن دیاژنز یا سن سنگ منشأ بهتر است از تجزیه جزئی کانی‌های قابل استخراج از سنگ استفاده کرد. یکی از مناسب‌ترین و متداول‌ترین کانی‌های قابل استفاده برای مطالعات دیرینه‌شناسی ایزوتوپی (به ویژه در سنگ‌های رسوبی) استفاده از کانی زیرکن ($ZrSiO_4$) است. این کانی دارای سختی و مقاومت بسیار بالایی در برابر هوازدگی شیمیایی و دگرگونی است (Harley et al., 2007).

سنجش زمان در این کانی بر اساس واپاشی اورانیم به سرب صورت می‌پذیرد و در علوم زمین به عنوان بهترین زمان‌نگار لقب گرفته است و می‌تواند از جوان‌ترین تا قدیم‌ترین تحولات زمین‌شناسی مانند کوهزایی‌ها، شکل‌گیری و حرکت قاره‌ها را در خود ثبت نماید (Rubatto & Hermann, 2007).

۹-۱. نمونه برداری و آماده‌سازی بلورهای زیرکن

در طی بازدید و عملیات صحرایی از واحدهای مناسب یک سری نمونه سنگ و یک سری نمونه کانی‌سنگین برداشت شد. هدف از برداشت نمونه‌های کانی‌سنگین تحت پوشش قرار دادن بخش بیشتری از حوضه رسوبی مورد نظر و امکان دسترسی به تعداد بیشتری کانی زیرکن بوده است. نمونه‌ها از بخش‌های مختلف حوضه و از افق‌های مختلف برداشت شده است. نمونه‌های کانی سنگین و نمونه‌های سنگی (پس از خردایش) برای آماده‌سازی و جدایش بلورهای زیرکن به آزمایشگاه مربوطه ارسال شده است. از ۵۵ نمونه کانی‌سنگین برداشت شده، تنها ۱۷ نمونه دارای بلورهای زیرکن بوده‌اند و بیشینه تعداد بلور جداشده از این نمونه‌ها برابر ۳۵۰ عدد بلور و کمینه آن ۲۰ عدد بلور زیرکن بوده است. از کل نمونه‌های سنگی برداشت شده (۴۹۳ نمونه) نیز ۵۰ نمونه برای خردایش و جدایش زیرکن انتخاب شدند که در پایان مرحله جداسازی تنها برای ۱۱ نمونه، بلورهای زیرکن با تعداد بیش از ۲۰ عدد به دست آمد. در مجموع ۲۸ نمونه حاوی دست کم ۲۰ عدد بلور زیرکن به دست آمد که همگی برای سن‌سنجی به بخش دیرینه‌شناسی ایزوتوپی مرکز تحقیقات علوم زمینِ دانشگاه ملی استرالیا (ANU) ارسال شد و در نهایت با توجه به محدودیت بودجه، از کل نمونه‌های ارسالی، ۱۷ عدد نمونه که از نظر تعداد بلورهای زیرکن و توزیع فضایی محل نمونه، دارای اولویت بوده‌اند، تجزیه شده‌اند.

۹-۲. نتایج تعیین سن بلورهای زیرکن

کلیه تجزیه‌های اورانیم- سرب با استفاده از روش SHRIMP RG بر روی بلورهای زیرکن ارسالی در مرکز تحقیقات علوم زمین دانشگاه ملی استرالیا (RSES) انجام شده است. از آنجا که نمونه‌های زیرکن متعلق به سنگ‌های رسوبی آواری هستند، نمی‌توان برای تجزیه و تحلیل نتایج آنها از نمودارهای متداول مانند نمودار همسازی ودریل (Wetherill Concordia Diagram, 1956) که در بررسی سنگ‌های آذرین و دگرگونی به کار می‌رود، استفاده کرد. بنابراین تعیین سن مطلق یا میانگین سن برای هر نمونه، بی‌معنی است و باید یک دامنه و بازه‌ای از سن‌های مختلف را برای آنها متصور بود. از آنجا که دانه‌های زیرکن به احتمال قریب به یقین با سنگ‌های رسوبی همزمان تشکیل نشده‌اند، تنها می‌توانند در مورد سنگ منشأ سنگ‌های رسوبی اطلاعاتی به دست دهند. از آنجا که همه بلورهای زیرکن به صورت آواری وارد حوضه رسوبی شده و در بخش‌های مختلف سازند تخریبی گره‌دو و معادل آن متمرکز شده است، تمامی بلورهای زیرکن را می‌توان در یک مجموعه مورد بررسی قرار داده و بر پایه آن در رابطه با سن منشأ سنگ درونگیر کانی‌سازی اظهار نظر کرد. بدین منظور بر پایه تمامی نتایج گزارش شده (۲۷۴ عدد داده موجود) نمودار تابع توزیع فراوانی تجمعی داده‌ها رسم شده است (شکل ۷). همان گونه که در این شکل به خوبی قابل تشخیص است، سن بلورهای زیرکن یک جامعه آماری واحد و یکسان را تشکیل نمی‌دهد بلکه چهار جامعه آماری در آن قابل تشخیص است.

برای جدایش جوامع آماری از نرم‌افزار PPLOTE7 (Probability Plot Ver. E7) استفاده شده است. در این نرم‌افزار جوامع آماری با روش بیشینه درست‌نمایی به چهار جامعه تفکیک شده است. نتایج جدایش چهار جامعه آماری، شامل درصد فراوانی هر جامعه و مقدار میانگین هر یک در شکل ۷ قابل مشاهده است. بر پایه جدایش انجام شده، جوان‌ترین بلورهای زیرکن، ۲۲/۷٪ جامعه مورد بررسی را تشکیل می‌دهند. این جامعه میانگین ۲۱۱ میلیون سال دارد و متعلق به تریاس پسین است. جامعه دوم که بخش عمده نتایج تعیین سن را شامل می‌شود دارای بازه‌ای از حدود ۲۵۰ میلیون سال تا یک میلیارد سال پیش را شامل می‌شود. این جامعه با میانگین سنی ۶۳۲ میلیون سال، ۴۸/۶٪

Archive of SID

www.SID.ir

جامعه را تشکیل می‌دهند. این دو جامعه در مجموع حدود ۷۰٪ کل جامعه آماری مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند و پیوستگی خوبی دارند. جامعه سوم که شامل ۱۴/۷٪ فراوانی است میانگین سن ۱۸۲۸ میلیون سال دارد که با ۷۰٪ اول جامعه انفصال معنی‌داری را نشان می‌دهد. جامعه چهارم نیز که ۱۴٪ فراوانی داده‌ها را شامل می‌شود با میانگین ۲۵۶۳ میلیون سال قابل مشاهده است. دو عدد بلور زیرکن با سن بالای سه میلیارد سال نیز دیده می‌شود که به عنوان داده خارج از ردیف در نظر گرفته و حذف شده است.

به منظور مقایسه توزیع سنی بلورهای زیرکن و فرایندهای کوهزایی، در شکل ۸ نمایش نمادین فراوانی سن بلورهای زیرکن به همراه مهم‌ترین فازهای کوهزایی شناخته شده در ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳) نشان داده شده است. در این شکل کاملاً مشخص است که بیشترین فراوانی بلورهای زیرکن در حد فاصل تریاس تا ژوراسیک قابل مشاهده است که همزمان با رخدادهای کوهزایی سیمرین پیشین است. فراوانی زیرکن در این مقطع زمانی با شواهد توسعه فعالیت‌های ماگـــمایی، جایگیری توده‌های نفـوذی در ایران مرکزی همراه است (حقی‌پور، ۱۹۷۴؛ آقانباتی، ۱۳۸۳) که موجب پیدایش بلورهای زیرکن در این بازه زمانی شده است. با توسـعه فرابوم‌ها در بلوک‌طبس- راور (مانند فرابوم شتری) و بلوک‌های مجاور در زمان تریاس پسین (Stocklin et al.,1968 ; Berberian, 1982) شاهد فراخاست، چین‌خوردگی، فرسایش و حمل رسوبات و بلورهای زیرکن به حوضه رسوبی طبس- راور هستیم. خارج از دامنه سنی مزوزوییک، بیشترین فراوانی بلورهای زیرکن را در حدفاصل پرکامبرین تا پالئوزوییک شاهد هستیم که به طور عمده ناشی فرایندهای کوهزایی کاتانگایی می‌تواند باشد که در نوپروتروزوییک رخ داده است (نبوی، ۱۳۵۵؛ حقی‌پور، ۱۹۷۴). پیوستگی سن زیرکن‌های اندازه‌گیری شده در حد فاصل یک میلیارد سال تا ۲۵۰ میلیون سال پیش، بیانگر اثر فرایندهای ناشی از عملکرد فازهای کالدونین و هرسینین در زایش بلورهای زیرکن (هر چند محدود) بوده است.

بر پایه مقایسه رویداد کاتانگایی با رخداد پان‌افریکن دامنه سنی این کوهزایی ۶۰۰ میلیون سال تا یک میلیارد سال دانسته شده است. بر پایه تعیین سن سنگ‌های آتشفشانی اسیدی مانند ریولیت‌های ریزو و قره‌داش که به طور دگرشیب زمین‌های چین‌خورده پرکامبرین را می‌پوشاند، برای سن رویداد کاتانگایی در ایران سنی معادل ۷۵۰ الی ۸۰۰ میلیون سال در نظر گرفته شده است (آقانباتی، ۱۳۸۳). بنا به نوشته آقابراهیمی سامانی (۱۳۶۷) نیز کهن‌ترین واحد رخنمون دار در ایران مرکزی، در ارتباط با «سازند ناتک» است که سن پرتوسنجی ۷۵۰ تا ۸۷۴ میلیون سال را دارا است. وجود پیوستگی سن زیرکن‌های موجود در شکل ۷ تا یک میلیارد سال (یا ۱/۱ میلیارد سال) بیانگر این نکته است که دامنه زیرین سنی رخداد کاتانگایی در ایران نیاز به بازنگری دارد و معادل یک میلیارد سال پیشنهاد می‌شود.

نکته قابل توجه دیگر در شکل‌های ۷ و ۸ وجود دو سری بلورهای زیرکن با دامنه سنی ۱/۷-۲ میلیارد سال و دیگری ۲/۲-۲/۷ میلیارد سال با میانگین ۲/۵ میلیارد سال است که برای توجیه وجود این دامنه سنی، فرایند زمین‌شناسی شناخته شده‌ای در ایران تاکنون گزارش نشده است. از آنجا که هر یک از آمارهای بالا بر پایه حدود ۴۰ داده به دست آمده است مقادیر بالا از نظر آماری دارای اعتبار لازم هستند. از این رو می‌توان آنها را به عنوان یک ابزار توجیه منطقی برای وجود این دامنه سنی دانست. وجود بلورهای زیرکن با قدمت بالای یک میلیارد سال سن، بیانگر وجود سنگ منشأ یا پدیده‌های زمین‌شناسی احتمالی با سن بیش از یک میلیارد سال است.

برای توجیه وجود این دامنه سنی چند گزینه را می‌توان متصور شد که عبارت‌اند از:

الف- وجود واحدهای سنگی با سن تشکیل بالای یک میلیارد سال سن در حاشیه باختری بلوک طبس- راور که تا کنون مورد شناسایی قرار نگرفته است. بر پایه مطالعات زمین‌شناسی انجام شده در این مناطق تاکنون شواهد مستندی برای وجود سنگ‌های قدیمی و هسته‌های آرکئن گزارش نشده و وجود این سنگ‌ها در منطقه پرسش آمیز است. سنگ‌های قدیمی‌تر از پرکامبرین پسین به لحاظ نبود آثار و شواهد حیاتی قابل استناد و به ویژه تأثیر فرایندهای دگرگونی و دگرشکلی در منطقه، با ابهام توصیف شده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳). وجود بلورهایی با سن بالای یک میلیارد سال، لزوم بررسی مجدد و بازنگری بر روی سن سنگ‌های منطقه را ایجاب می‌نماید. این امر با نمونه‌برداری سیستماتیک از واحدهای زمین‌شناسی مختلف و تعیین سن آنها با روش‌های نوین امکان‌پذیر است.

ب- بلورهای زیرکن تعیین سن شده قدیمی، اجزای تشکیل دهنده سنگ مادر اولیه واحدهای رسوبی تخریبی و یا دگرگونی فعلی واقع در حاشیه باختری بلوک طبس- راور هستند. به معنی دیگر بلورهای با سن بیش از یک میلیارد سال در واقع معرف سن سنگ منشأ اولیه سنگ‌های رسوبی یا دگرگونی رخنمون‌دار در منطقه هستند. بلورهای زیرکن در سنگ‌های اولیه احتمالی با سن پروتروزوییک پیشین و آرکئن پس از تحمل فرایندهای هوازدگی، دگرسانی احتمالی و فرسایش، به حوضه‌های رسوبی قدیمی حمل شده و پس از طی مراحل دیاژنز، در تشکیل واحدهای رسوبی تخریبی شرکت کرده‌اند که در مراحل دیگر، طی فرایندهای دگرگونی با شدت‌های مختلف، واحدهای دگرگونی فعلی را در حاشیه باختری بلوک طبس- راور تشکیل داده و سپس در مرحله بعد وارد چرخه دوم هوازدگی و فرسایش شده و در حوضه طبس- راور جای‌گیر شده‌اند.

صحت هر یک از دو گزینه بالا مستلزم عملکرد دست کم یک تا دو فاز کوهزایی برای توجیه وجود بلورهای زیرکن با سن متوسط ۱/۸ و ۲/۵ میلیارد سال است. این دامنه سنی می‌تواند معادل کوهزایی‌های روکر پیشین (Early Ruker Orogeny) با دامنه سنی ۱/۷ تا ۲ میلیارد سال و کوهزایی اینسل(Insel Orogeny) با متوسط ۲/۶ میلیارد سال سن در قطب جنوب باشد که ممکن است سنگ مادر اولیه واحدهای دگرگونی موجود در ایران مرکزی را شکل داده‌اند.

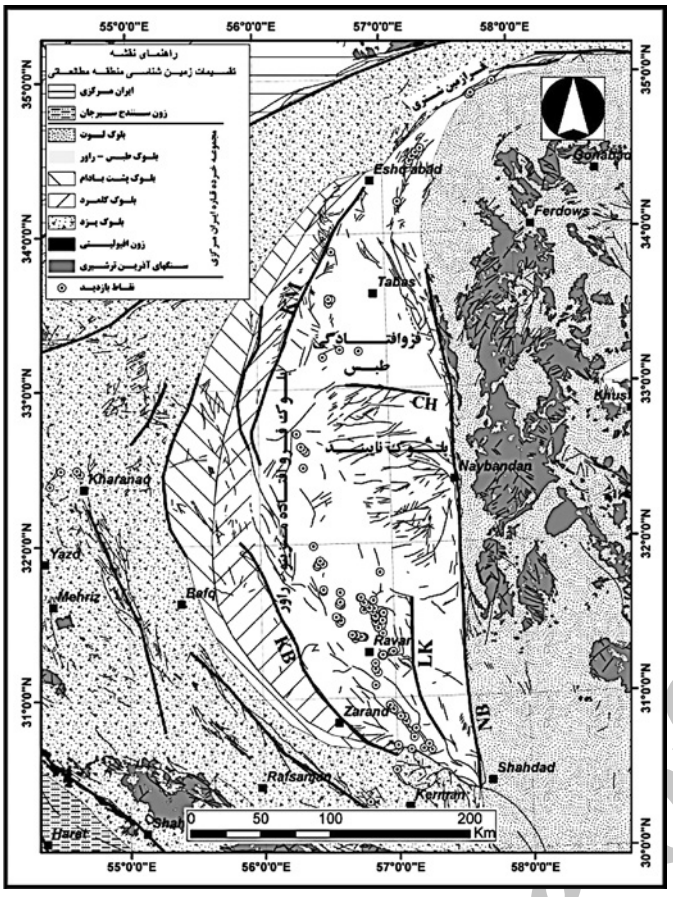
۱۰- نتیجه‌گیری

شواهد به دست آمده از بررسی رسوبات تخریبی سنگ درونگیر کانی‌سازی‌های مس با میزبان رسوبی در بلوک طبس- راور که از طریق مطالعات ژئوشیمیایی (کانی‌سنگین و رادیو ایزوتوپی) و سنگ‌نگاری حاصل شده، بیانگر وجود سنگ منشأ و تأمین‌کننده مواد اولیه حمل شده به حوضه طبس- راور در حاشیه باختری این بلوک است. عمده سنگ مادر رسوبات سازند گره‌دو و معادل آن از سنگ‌های آذرین و دگرگونی توسعه یافته در بلوک پشت‌بادام و سنگ‌های رسوبی پالئوزوییک بلوک کلمرد و پشت بادام تشکیل شده است که بر پایه نتایج تعیین سن بلورهای زیرکن استخراج شده از رسوبات طبقات سرخ حد فاصل ژوراسیک تا کرتاسه بلوک طبس نیز مورد تأیید قرار گرفته است. تجزیه اورانیم- سرب کانی‌های زیرکن، بیانگر تأثیر زیاد و تکاپوی شدیدتر رویداد کوهزایی سیمرین و کاتانگایی در این بلوک‌ها از نظر توسعه فعالیت‌های آذرین مانند جایگیری توده‌های نفوذی یا فعالیت‌های آتشفشانی بوده است. وجود بلورهایی با قدمت پرکامبرین (بالای یک میلیارد سال) در رسوبات مورد مطالعه نیز معرف وجود دست کم یک تا دو فاز کوهزایی با قدمت بیش از رخداد کوه‌زایی چاپدونین در پی‌سنگ ایران زمین است که بر سنگ مادر واحدهای دگرگونی‌پروتروزوییک ایران مرکزی اعمال شده است. از طرفی نقشه توزیع شاخص دگرگونی رسم شده، می‌تواند شاهدی بر تأیید فرضیه یکی بودن گسل کلمرد و کوه‌بنان باشد.

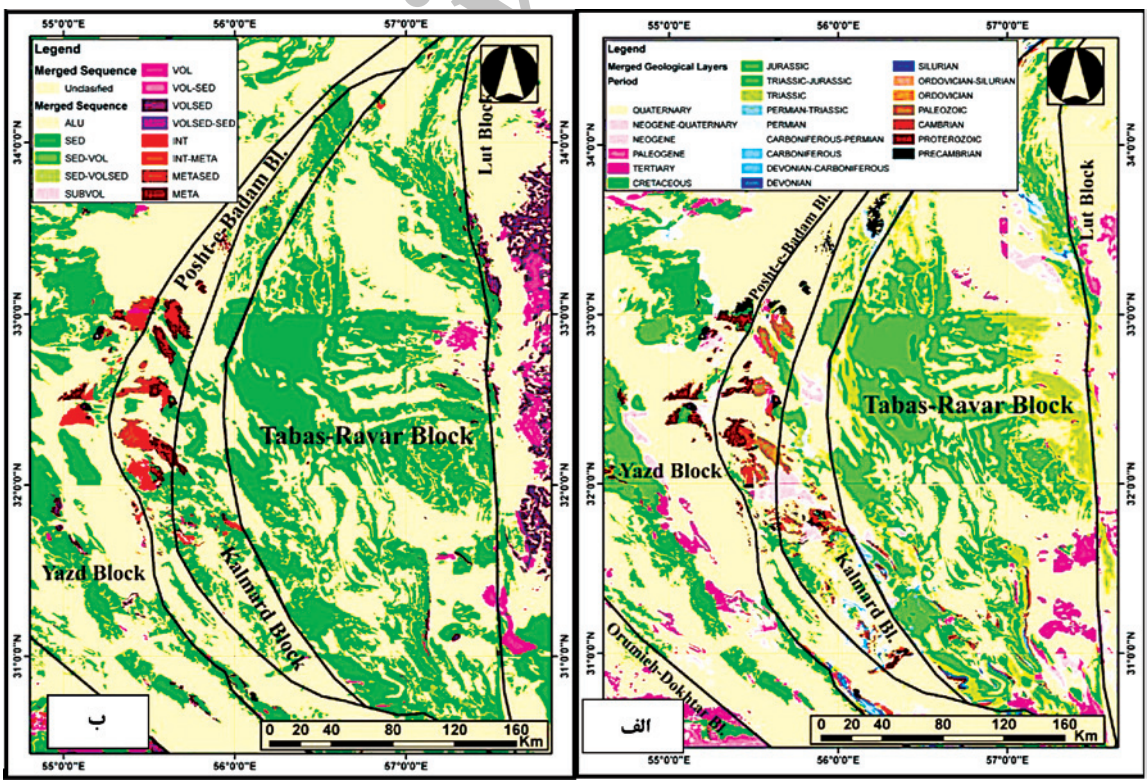
سپاسگزاری

از شرکت صنایع ملی مس ایران که بخشی از هزینه این پژوهش را در قالب انجام رساله دکتری بر عهده داشته‌اند و همچنین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به جهت تأمین برخی از داده‌ها و اطلاعات بکار رفته در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

Archive of SID
www.SID.ir

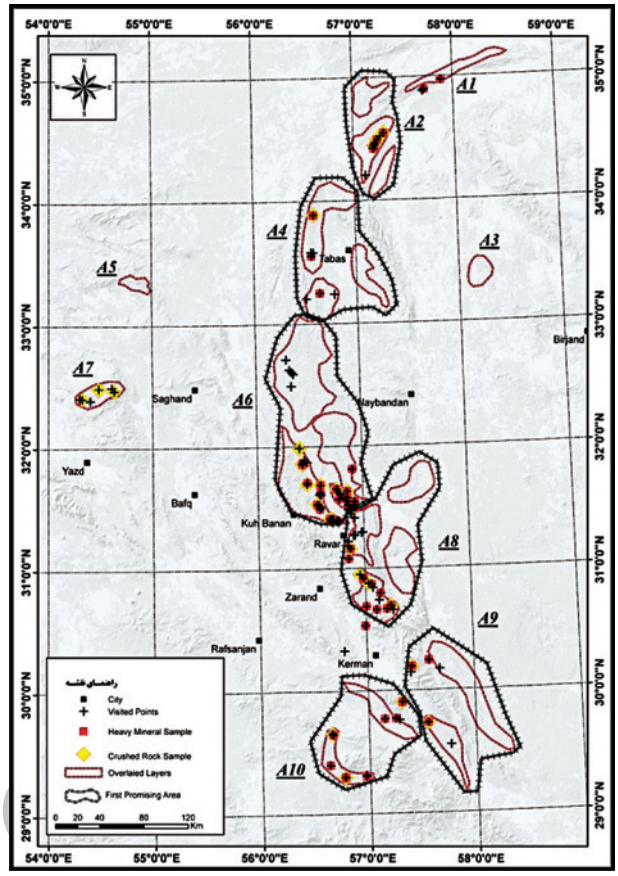


شکل ۱- تقسیمات زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی بر پایه آخرین تقسیمات زمین‌شناسی ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳) به همراه موقعیت نقاط مورد بازدید. NB: گسل نایبند؛ LK: گسل لکرکوه؛ KB: گسل کوه‌بنان؛ KM: گسل کلمرد و CH: گسل چشمه.

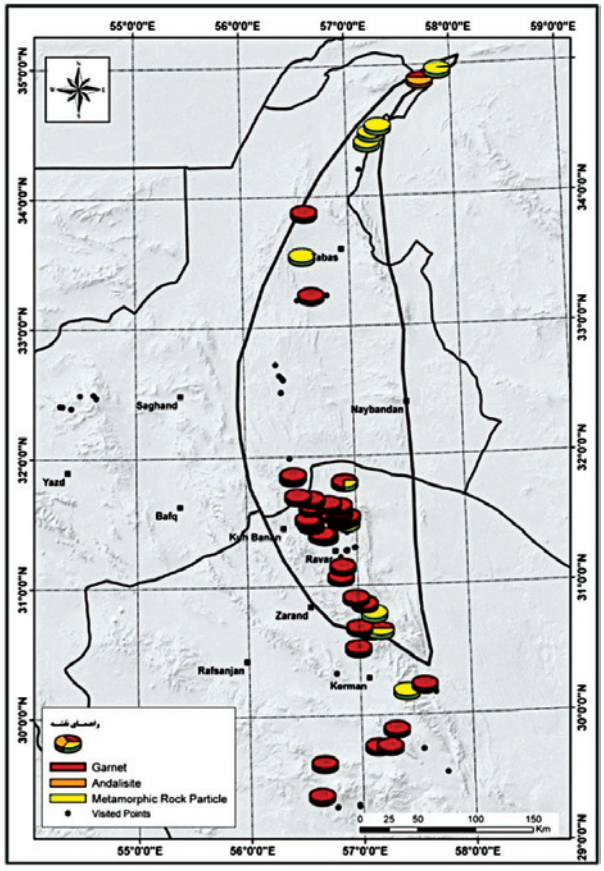


شکل ۲- الف) نقشه زمین‌شناسی یکپارچه و رده‌بندی شده بر پایه نوع رخساره سنگی؛ و ب) زمان هر واحد، در محدوده بلوک طبس- راور. (مجموعه سنگ‌های دگرگونی: META؛ سنگ‌های رسوبی دگرگونی: METASED؛ سنگ‌های آذرین نفوذی: INT؛ سنگ‌های آتشفشانی: VOL؛ سنگ‌های آتشفشانی رسوبی: VOLSED؛ سنگ‌های آتشفشانی نیم‌ژرفا: SUBVOL؛ سنگ‌های رسوبی: SED؛ رسوبات عهد حاضر: ALU)

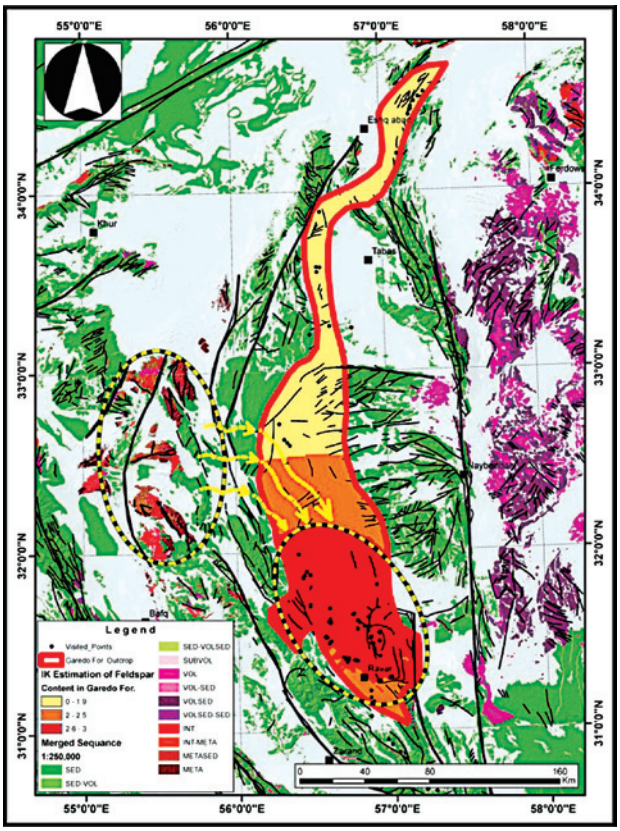
Archive of SID
www.SID.ir



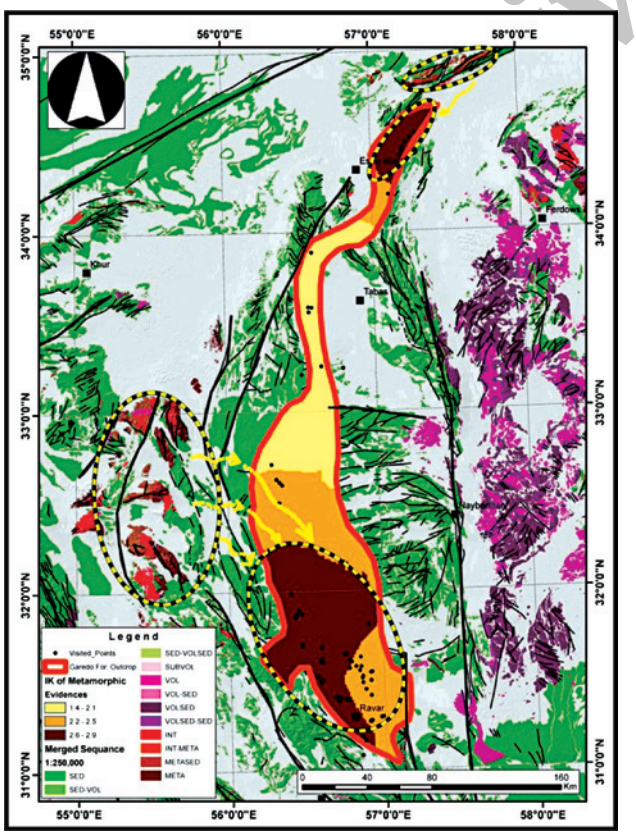
شکل ۳ – موقعیت مناطق امیدبخش اولیه برای تمرکز مطالعات و عملیات صحرایی.



شکل ۴ – نقشه توزیع کانی‌های سنگین معرف سنگ منشأ دگرگونی بر پایه نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای.

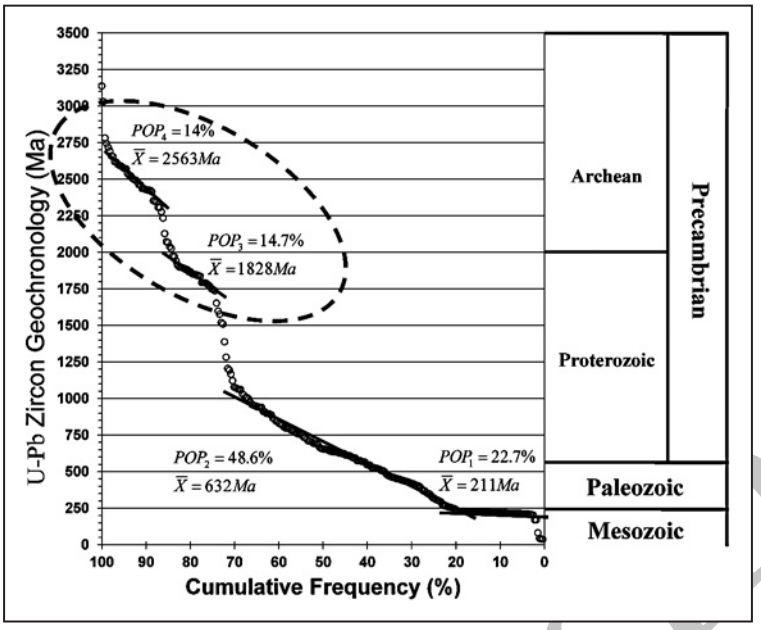


شکل ۵ – نقشه توزیع محتوای فلدسپار مشاهده شده طی مقاطع سنگ‌شناسی در محدوده رخنمون سازند گره‌دو.

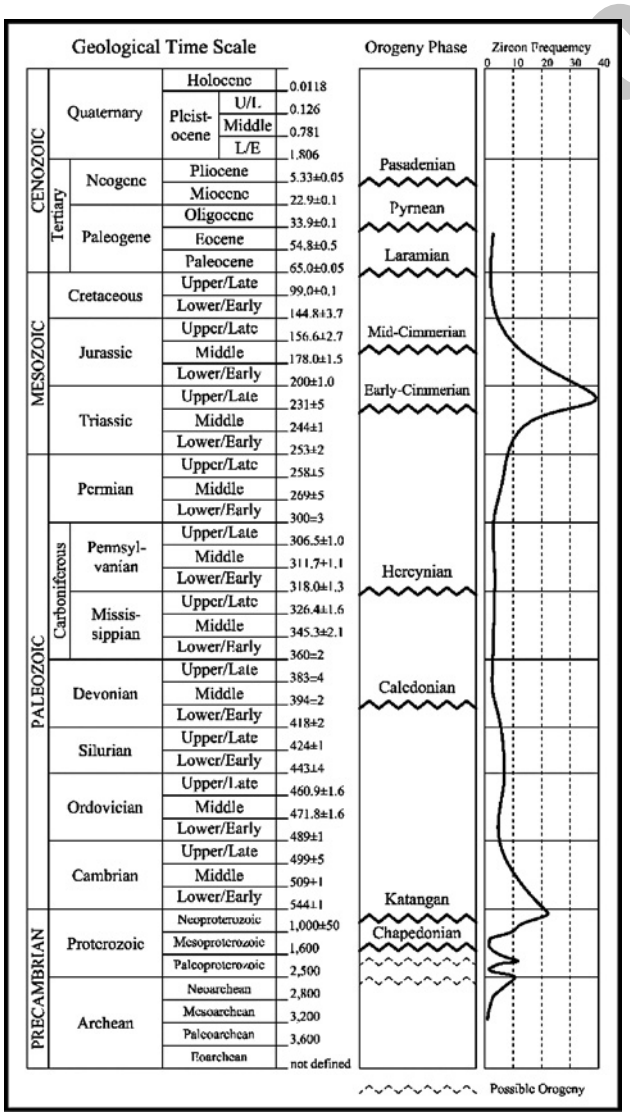


شکل ۶ – نقشه توزیع اجزای دگرگون‌شده طی مقاطع سنگ‌شناسی و کانی‌سنگین در محدوده رخنمون سازند گره‌دو.

www.SID.ir



شکل ۷ - نمودار فراوانی تجمعی نتایج تعیین سن ۲۷۴ عدد بلور زیرکن به همراه نتایج جدایش جوامع آماری مربوطه در سنگ درونگیر کانی‌سازی مس با میزبان رسوبی (تشکیلات گره‌دو و معادل آن).



شکل ۸ - نمایش نمادین فراوانی نتایج تعیین سن ۲۷۳ عدد بلور زیرکن در سازند گره‌دو و معادل آن در بازه‌های مربوط به دوران‌های زمین‌شناسی مختلف به همراه فازهای کوهزایی مهم ایران (به نقل از آقانباتی، ۱۳۸۳).

www.SID.ir

جدول ۱- مقایسه تنوع نوع سنگ میزبان در منطقه مطالعاتی و کانسارهای مس با میزبان رسوبی در جهان.

نوع کانسار	نوع سنگ میزبان (٪)			
	سنگ رسوبی تخریبی دانه متوسط تا درشت	سنگ رسوبی تخریبی دانه ریز	سنگ رسوبی شیمیایی	سنگ دگرگونی
متوسط جهانی* در کانسارهای مس رخساره اکسیدی	۸۵	۱۲	۲/۵	<۱
سنگ‌های دیده شده در حوضه رسوبی مطالعاتی **	۸۸	۷	۵	-

*: بر پایه ۱۵۵ کانسار مدل‌سازی شده در سراسر جهان (Coxet al., 2003).
**: بر پایه ۸۳ مقطع نازک مطالعه شده در بلوک طبس- راور

Archive of SID

کتابنگاری

آقابراهیمی سامانی، ب.، ۱۳۶۷- پدیده‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی اورانیوم در منطقه ساغند، ایران مرکزی، مجموعه مقالات سمینار بررسی ذخایر و توان معدنی استان یزد.

آقانباتی، ع.، ۱۳۷۷ الف- چینه‌شناسی ژوراسیک ایران ج ۱، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۶۵، ۳۶۵ ص.

آقانباتی، ع.، ۱۳۷۷ب- چینه‌شناسی ژوراسیک ایران ج ۲، سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۶۵، ۳۸۱ ص.

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۱۹ ص.

افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت شماره ۸۲، ص ۱۹- ۲۸.

حسنی‌پاک، ع. و هندی، ر.، ۱۳۹۰- مدل اکتشافی کانسارهای مس با میزبان رسوبی، فصلنامه سنگ و معدن، شماره ۱۹- ۱۸، ص ۲۳ - ۲۸.

سعیدی، ع.، قاسمی، م. ر.، قرشی، م.، نواب‌پور، پ.، فریدی، م.، حقی‌پور، ن. و رضاییان، م.، ۱۳۸۱- بررسی زمین‌ساخت و لرزه‌زمین‌ساخت بلوک طبس، گزارش طرح پژوهشی شورای پژوهش‌های علمی کشور، ۱۵۸ص.

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

References

Aghanabati, A., 1975- Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas). These Doctoratd'Etat: No. A.D.11.623. Gronoble, France.

Aghanabati, A., 1977 - Étudegéologique de la région de Kalmard (w. Tabas). - Geological Survey of Iran Report35, 1-230.

Alavi, M., 1991- Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remmants in northeastern Iran. Geol. Soc. Of Amer. Bull. V. 103, pp. 983-992.

Berberian, M., 1976- Contribution to the Seismotectonics of Iran (Part II). Geological Survey of Iran, Rep. No.39, 518 P. 5 Maps. 259 figures.

Berberian, M., 1982- Discussion on the paper A. MohajerAshjai and A.A. Nowroozi "yheTabas Earthquake of September 16, 1978 in East Central Iran", G.R.L. No. 9 1 0391. Geophysical Res. Lett., 9 (3), p. 193-194.

Cox, D. P., 1986- Descriptive model of sediment-hosted copper in Cox, D.P., and Singer, D.A.,eds., Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 205.

Cox, D. P., Lindsey, D. A., Singer, D. A. & Diggles, M. F., 2003- Sedimenthosted copper deposits of the world:Deposit models and database: U.S.Geological Survey Open-File Report 03–107, 50 p.

Haghipour, A., 1974- Etude geologique de la region de Biabanak-Bafq (Iran-Central), Petrologieettectonique dusoclePrecambrien et de sacouverture. These, universitescientifiqueetMedicale de Grenoble, France, 403p.

Harley, S. L. & Kelly, N. M., 2007- Zircon Tiny but Timely, Elements 3:13-18 p.

Hitzman, M. H., Kirkham, R. V., Broughton, D. W., Thorson, J. & Selley, D., 2005- The sediment-hosted stratiform copper ore system: Economic Geology 100th Anniversary Volume.

Huber, H. & Stöcklin, J., 1954- Hojedk coal survey National Iranian Oil Company, Unpubl. Report 116, 65pp.

www.SID.ir

Huckriede, R., Kürsten, M. & Venzlaff, H., 1962- Geologie des Gebieteszwischen Kerman und Saghand (Iran), GeologischesJahrbuch, Beiheft 51, 197pp.

Kirkham, R. V., 1989- Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits: GeologicalAssociation of Canada Special Paper 36, p 3–38.

Maiden, K. J., Innes, A. H., King, M. J., Master, S. & Pettitt, I., 1984- Regional controls on the localization of stratabound copper deposits: Proterozoic examples from southern Africa and South Australia: Precambrian Research, v. 25, p. 99–118.

Mosier, D. L., Singer, D. A. & Cox, D. P., 1986- Grade and tonnage model of sediment-hosted copper in Cox, D.P.,and Singer, D.A., eds., Mineral deposit models: U.S. GeologicalSurvey Bulletin 1693, p. 206.

Rubatto, D. & Hermann, J., 2007 b- Zircon behaviour in deeply subducted rocks, Elements 3:31-35 p.

Ruttner, A., Nabavi, M. & Hadjian, J., 1968- Geology of the Shirgesht area (Tabas area, East Iran).- Geol. Surv. Iran Rep. 4, 133pp.

Selley, D., Broughton, D., Scott, R. J., Hitzman, M., Bull, S. W., Large, R., Mc Goldrick, P. J. & Croaker, M., 2005- A New Look at the Geology of the Zambian Copperbelt, Society of Economic GeologistsInc., 100th Anniversary Volume.

Sengör, A. M. C., 1990- A new model for the late Palaeozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implicationsfor Oman, In: Robertson, A.H.F., Searle, M.P. &Ries, A.C. (eds.), The geology and tectonics of the Omanregion, Geological Society of London, Special Publication 49, 797-831.

Seyed-Emami, K., Fursich, F. T. & Wilmsen, M., 2004- Documentation and significance of tectonic events in thenorthern Tabas Block (east – central Iran) during the Middle and late Jurassic. Riv. Ital. Paleont. Strat. 110(1), 163-171.

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

Stöcklin, J., Eftekhar-Nezhad, J. & Hushmand-Zadeh, A., 1965- Geology of the Shotori Range (Tabas area, East Iran), Geol. Surv. Iran Rep. 3, 69pp.

Takin, M., 1972 - Iranian Geology and Continental Drift in the Middle East. , Nature 235 / 5334, 147-150.

Wilkinson, W. H., 2012- Mineral Exploration and challenges in Africa, Arizona Geological Society Newsletter, 1-2.

Wilmsen, M., Fürsich, F. T., Seyed-Emami, K. & Majidifard, M. R., 2009- An overview of the stratigraphy and facies development of the Jurassic System on the TabasBlock, East-Central Iran, The Geological Society, London, Special Publications, pp 323-343.

Archive of SID

www.SID.ir

Identification of Host Rock Source at Sediment-Hosted Copper Type Mineralization in Tabas-Ravar Basin Based on Geochemical and Petrography Studies

R. Hendi [1*] & A. A. Hassani pak [2]

[1] Ph.D. Student, School of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Professor, School of Mining Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2012 April 29 Accepted: 2012 September 03

Abstract

This paper is part of the results of researches carried out on geochemical characteristics of sediment-hosted copper deposits in the Tabas-Ravar block trying to identify the mineralization host rock characteristics and the source rock of the sediments in the area. For this purpose, not only the common geochemical samples but also a number of heavy mineral and rock samples were collected from the stream sediments and outcrops of the mineralization host rock, respectively. The clastic parts of minerals and components of sediments in this area have been determined based on the heavy mineral and thin section studies. After this stage, the spatial distribution map of included feldspar and metamorphic components of collected samples were prepared based on the sample sites, using "Indicator Kriging" estimation method. Through comparison made between the drawn map and the uniform geology of the neighbor blocks, the source rock supplying the clastic sediments was identified in the west margin of the Ravar – Tabas block in the area of Kalmard and Posht- e Badam Structural blocks. Zircon crystals were used in order to find out the range of age for the probable source rock from which the clastic contents of the host rock of sediment-hosted copper deposits were derived. Zircon was extracted from host rock and heavy mineral samples taken from the study area. The results for zircon crystals dating indicated the presence of four distinctive statistical populations while the principal population of dating results were in conformity with the range of age of the known source rock in the west margin of the basin source rocks and the frequency distribution of zircon crystal ages have a good coincidence with known orogenic processes in Central Iran. Another part of dating results with over 1Ga, suggests two orogenic phases: one in 1.7-2Ga and the other in more than 2.7Ga for basement mother rock of Central Iran.

Keywords: Sediment-Hosted Copper Deposits, Central Iran, Tabas Structural Block, Posht e Badam Structural Block, U-Pb Dating, Zircon.
For Persian Version see pages 211 to 220
*Corresponding author: R. Hendi; E-mail: raminhendi@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir