

بررسی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REE) کانسارهای مس رسوبی در منطقه نهند - ایوند، شمال تبریز

سیده نرگس ساداتی^{۱*}، محمد یزدی^۲، مهرداد بهزادی^۳، محمد حسین آدابی^۴، میرعلی اصغر مختاری^۵

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ۳- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ۴- استاد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
- ۵- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۲۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۳/۴/۱۲

چکیده

کانی سازی مس به صورت رسوبی در واحدهای زمین شناسی مربوط به دوره میوسن در چندین نقطه از آذربایجان شرقی شناخته شده است. منطقه اکتشافی نهند - ایوند در ۲۰ کیلومتری شمال تبریز، استان آذربایجان شرقی و در زون البرز غربی - آذربایجان واقع می باشد. سازندهای موجود در منطقه از تشکیلات رسوبی - تخریبی به سن میوسن (سازند قرمز بالایی) به همراه ولکانیک های داسیتی جوان تر تشکیل شده است. مطالعه حاضر حاصل تلفیق شواهد زمین شناسی و ژئوشیمیایی جهت بررسی کانی سازی و منشا آن در ماسه سنگ های قرمز و خاکستری در ناحیه مورد مطالعه است. این شواهد نشان دادند که افق های کانی سازی شده در این منطقه شامل سولفیدهای پراکنده مس در طول مرزهای احیا درون ماسه سنگ های خاکستری غنی از مواد آلی در تماس با رسوبات سیلتی و مارنی، شیل، سیلت سنگ و ماسه سنگ قرمز می باشد. بعد از مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و مطالعات ژئوشیمی اولیه ۳۵ نمونه سنگی که نماینده بخش های کانی سازی غنی از مواد آلی، شیل ها، ماسه سنگ های قرمز و سنگ های آتشفشانی بودند، به منظور بررسی الگوی عناصر نادر خاکی توسط دستگاه ICP-MS تجزیه شدند. آنالیزهای ژئوشیمیایی نسبت به شیل آمریکا (NASC) بهنجار شده و نتایج نشان داده است که واحدهای شدیداً کانی سازی شده عموماً در داخل ماسه سنگ های خاکستری قرار می گیرند و تشابه الگوی عناصر خاکی کمیاب نشان دهنده این است که ماسه سنگ های خاکستری حاوی کانی سازی ارتباط نزدیکی با ماسه سنگ های قرمز فاقد کانی سازی و در مواردی شیل های منطقه دارد و شباهتی با سنگ های ولکانیکی نشان نمی دهد. در مجموع می توان گفت که الگوی پراکندگی REE ها دیدگاه جدیدی در مورد تفسیر ارتباط محیط رسوبگذاری، کانی سازی و دیاژنز بعدی در اختیار ما قرار می دهد.

واژه های کلیدی: آنومالی Eu، اکسیداسیون - احیا، الگوی REE، کانی سازی، ماسه سنگ خاکستری

مقدمه

تا مدت‌ها فرض عمومی بر این بود که تغییرات REE در محیط‌های رسوبی در طول دیاژنز عموماً کم است و به همین دلیل بعضی نویسندگان از مقادیر REE موجود در رسوبات صرفاً برای شناسایی منشا استفاده می‌کردند (لاکس و همکاران، ۲۰۰۵). اما در طول سالین اخیر مطالعات زیادی در مورد تحرک REE ها در طول فرآیندهای دیاژنز و هوازگی در کانسارهای با اهمیت اقتصادی توسط نویسندگان مختلف انجام شده است که نشان می‌دهد ترکیب REE در سنگ‌های رسوبی علاوه بر فاکتورهای اولیه در طول رسوبگذاری به وسیله فرآیندهای دیاژنتیکی کنترل می‌شود. به عنوان مثال مطالعات اولیه روی REE در کوپرشیفر لهستان اطلاعات زیادی گردآوری کرده (بچتل و همکاران، ۲۰۰۱) و ما را برای داشتن نگاهی دقیق‌تر به هر دو ویژگی رسوبگذاری و دیاژنتیکی کانسارهای بزرگ مس ترغیب کرده است. همچنین سوتون و همکاران (۲۰۰۱) از عناصر نادر خاکی به طور موفقیت- آمیزی برای تفسیر منشا کانسارهای کوپریت آفریقا استفاده کردند. در نهایت مطالعات غنی شدگی ناشی از مهاجرت REE ها در شرایط سوپرژن به این توافق عمومی رسیده است که عناصر نادر خاکی (REE) در طول هوازگی شیمیایی از سنگ مادر با لیتولوژی‌های مختلف مهاجرت کرده و با درجات مختلف تفریق می‌شوند و تحت تاثیر متغیرهای مختلف فیزیکی و شیمیایی مانند Eh-Ph، در لایه‌های اکسیدان و هوازده به شدت غنی می‌شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۳). در طول فرآیندهای هوازگی شیمیایی، همه عناصر به درجات مختلف قادر به تحرک و جابه‌جایی از سنگ مادر می‌باشند، در این میان فلزات آکالان مانند کلسیم، منیزیم،

پتاسیم و سدیم به سهولت از کانی اصلی آن‌ها مهاجرت می‌کنند در حالی‌که عناصری مانند Zr, Hf, Nb Th, Al, Ti در برابر هوازگی مقاوم‌تر هستند (ژو و همکاران، ۲۰۱۳). تدریجاً که بعضی از پارامترها مانند شرایط توپوگرافی، تخلخل، نفوذپذیری و Eh-ph تغییر می‌کند تحرک می‌تواند به صورت مستقلاً در بعضی عناصر اتفاق بیفتد که در این میان غنی شدگی ناشی از مهاجرت REE ها اهمیت ویژه‌ای دارد.

ذخایر مس شناخته شده در ایران عموماً از نوع آتشفشانی و گرمابی بوده و کانسارهای (SSC) که بعد از ذخایر پورفیری دومین تامین‌کننده مس جهان هستند تا کنون کمتر مورد توجه بوده‌اند، در حالی‌که کانسارهای مهمی از این تیپ ذخایر نظیر کوپرشیفر در آلمان، وایت پاین در آمریکا و کمربند مس زامبیا - زئیر دارای اهمیت جهانی هستند. این نوع از کانسارها محصول جریان‌های گرمابی بلندمدت در توالی لایه‌های قرمز رنگ هستند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). پژوهش حاضر در ارتباط با کانی‌سازی مس در سنگ‌های رسوبی ناحیه نهند- ایوند است. کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی تا کنون در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، لذا اکتشاف و شناسایی این تیپ کانسارها در کشور ضروری به نظر می‌رسد. افق‌های مس رسوبی در سازند قرمز بالایی در ناحیه نهند- ایوند متشکل از توالی رسوبات و نهشته‌های تخریبی با سن میوسن متشکل از شیل، سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و در بعضی نواحی کنگلومرا است که در بعضی قسمت‌ها به واسطه وجود مواد آلی به رنگ خاکستری روشن نمود یافته (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳) و افق‌های احیا برای تشکیل کانی‌سازی مس رسوبی به ضخامت ۱ سانتی متر تا ۲ الی ۳ متر را درون ماسه‌سنگ‌ها تشکیل می‌دهد. لیتولوژی این سازند نشانگر

محیط تشکیل قاره ای می باشد و نظر به تشابهات چینه شناسی، سنگ شناسی، کانی شناسی این کانی سازی ها را می توان معادل کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه های قرمز رنگ دانست که اغلب در حوضه های مولاسی و کششی بعد (و یاحین) کوهزایی تشکیل شده اند (آقازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹). با توجه به مطالعات انجام شده قبلی و بازدید مقدماتی، مهم ترین فلز کانی سازی شده در ناحیه نهند- ایوند فلز مس است که در نتیجه فرآیندهای اکسیداسیون و هوازدگی عموماً به صورت اکسیدهای مس از قبیل ملاکیت و آزوریت و به ندرت سولفیدهای مس مانند دیژنیت و کولیت نمایان شده است (نقی زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۱۳۸۶، جلالی ۱۳۹۰، رجب پور و همکاران، ۱۳۹۲). در این پژوهش به بررسی ژئوشیمیایی کنترل کننده توزیع عناصر خاکی کمیاب و فرعی پرداخته می شود. سعی بر آن است که هر دو ویژگی رسوبگذاری اولیه و فرآیندهای دیژنتیکی بعدی اندیس مس در محدوده نهند- ایوند مورد مطالعه قرار گیرد. در این میان توجه ویژه به ماسه سنگ های خاکستری شده که اغلب به طور اولیه کانی سازی شده و احتمالاً در طول فرآیندهای دیژنز بعدی تحت تاثیر سیالات کانی ساز اکسیدان قرار گرفته اند. همچنین ترکیب سنگ های ولکانیکی و ارتباط احتمالی آن با کانی سازی در منطقه مورد مطالعه بررسی خواهد شد.

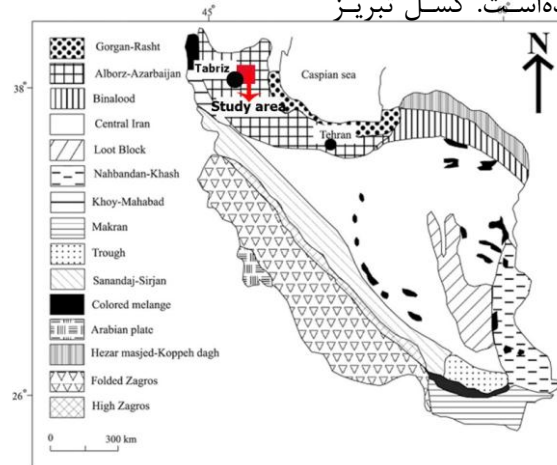
زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه

منطقه اکتشافی نهند - ایوند در شمال تبریز در استان آذربایجان شرقی واقع می باشد. این منطقه معدنی از لحاظ ساختاری در تقسیم بندی نبوی (۱۳۵۵) در زون البرز- آذربایجان و در تقسیم بندی اشتوکلین (۱۹۷۷) و آقنابتی (۱۳۸۳) در

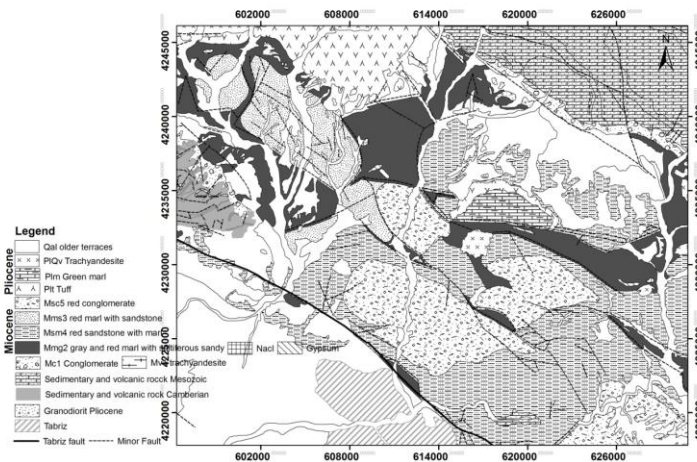
زون ایران مرکزی قرار گرفته است و بخشی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا می باشد (کریم زاده سماریان، ۲۰۰۴). از لحاظ واحدهای زمین شناسی امروزه حوضه تبریز شامل سازند قرمز قم و سازند قرمز بالایی است (اشتوکلین، ۱۹۷۷، داوودزاده و همکاران، ۱۹۹۷). این حوضه پس از پسروری دریای قم (کنگلومرای واحد^۱ Mc) به وسیله یک دوره از رسوبگذاری قاره ای دنبال می شود که متشکل از شیل، مارن، سیلت سنگ، ماسه سنگ، کنگلومرا به همراه واحدهای تبخیری است (اشتوکلین، ۱۹۷۷؛ کریم زاده سماریان، ۲۰۰۴). ضخامت این سازند بیشتر از ۲۰۰۰ متر است و سن آن اواسط تا اواخر میوسن در نظر گرفته شده و بنا به نوشته (داوودزاده ۲۰۰۴، آلن، ۲۰۰۴، سن و پورابریشمی، ۲۰۱۰، ریچنباکر و همکاران، ۲۰۱۱) سازند قرمز بالایی نامیده شده است. در سالیان اخیر با مطالعاتی که توسط سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور صورت گرفت در منطقه مورد نظر یک سری لایه های مس دار (درون لایه M_2^{mg}) نیز شناسایی شده است (عنایتی، ۱۳۹۱) (شکل ۲)؛ که شامل توالی از ماسه سنگ های سبز و خاکستری در میان واحدهای رسوبی قرمز رنگ است که بر اساس مطالعات پالئونتولوژی این واحد دارای سن میوسن میانی است (اسدیان، ۱۹۹۳، داوودزاده و همکاران، ۱۹۹۷، آلن، ۲۰۰۴، سن و پورابریشمی، ۲۰۱۰، ریچنباکر، ۲۰۱۱). گنبد های آتش فشانی با ترکیب ریولیت تا داسیتی به داخل این سکانس رسوبی نفوذ کرده است که سن آن دقیقاً معلوم نیست اما قطعاً بعد از تشکیل سکانس رسوبی میوسن می باشد (کریم زاده سماریان، ۲۰۰۴؛ جهانگیری، ۲۰۰۷). در نقشه زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه واحدهای ماسه سنگی حاوی کانی سازی به رنگ مشکی نمایش داده است (شکل ۲). همچنین این

مهم ترین گسل موجود در منطقه می باشد که آخرین عملکرد آن به صورت راست گرد بوده است (قربانی، ۱۳۸۱) و موجب جابه جایی روند کانی سازی در ماسه سنگ های خاکستری در برخی نواحی شده است (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳).

واحد شامل نهشته های گسترده ای از لایه های تبخیری (ژیپس و نمک) و گنبد های نمکی می باشد (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳). چین خوردگی هایی با روند شمال غرب - جنوب شرق موجب تشکیل مجموعه ای از طاقدیس و ناودیس در ناحیه مورد مطالعه شده است. گسل تبریز



شکل ۱: زون های مهم ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵) و موقعیت منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسدیان، ۱۳۷۲



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ناحیه نهند- ایوند ، برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اسدیان، ۱۳۷۲

زون های خاکستری و احیا را در میان واحدهای تخریبی قرمز و اکسیدان ایجاد کرده جمع آوری گردید و برای شناسایی توزیع و فراوانی عناصر کمیاب در پهنه های کانی سازی شده نمونه ها به وسیله دستگاه ICP-OES در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران و آکادمی زمین شناسی

مواد و روش ها

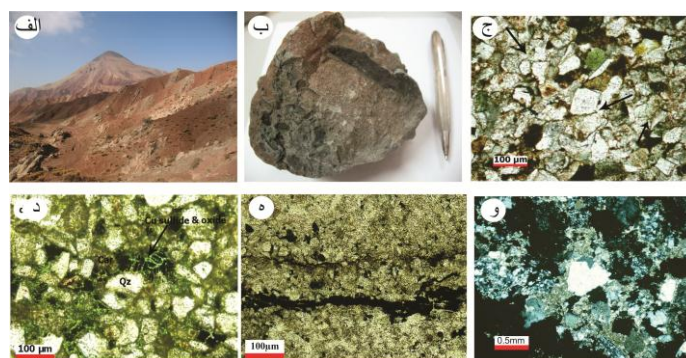
به منظور مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمیایی زون های کانی سازی شده در محدوده نهند- ایوند بیش از ۱۰۰ نمونه از ماسه سنگ متوسط دانه واحد M_2^{mg} سازند قرمز بالایی جایی که مواد آلی

مختلف هماتیت در ماتریکس و حضور مواد آلی در سطوح لایه‌بندی، از صورتی روشن تا تیره، قرمز، قهوه‌ای، خاکستری روشن تا تیره، سبز-خاکستری تا سفید متغیر است (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳). ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده به رنگ سفید تا خاکستری بوده و آلتراسیون لیچینگ گسترده این ماسه‌سنگ‌ها موجب تمایز آن از معادل استراتیگرافی آن (ماسه‌سنگ‌های قرمز) می‌شود. به نظر می‌رسد که تخلخل و نفوذپذیری خوب سنگ‌های میزبان (۵ تا ۱۰ متر) در مجاورت واحدهایی با نفوذپذیری کمتر (شیل، مارن و سیلت‌سنگ قرمز) شرایط مطلوب برای مهاجرت جانبی سیال کانه‌دار را فراهم آورده است (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳)، در نتیجه مهاجرت سیالات کانه‌دار ماسه‌سنگ واحد M_2^{mg} به خصوص در بخش‌های درشت‌دانه می‌تواند به وسیله مقادیر زیادی سیمان سولفیدی بین شبکه‌ای (عمدتاً دیژنیت و کولیت) کانی‌سازی شود (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۲). رسوبگذاری مس در این مکان‌ها احتمالاً به وسیله شرایط احیا ایجاد شده توسط مواد آلی تسهیل می‌شود (گرینوود و همکاران، ۲۰۱۳).

چین مورد آنالیز قرار گرفتند. بعد از مطالعات ژئوشیمی اولیه از میان آن‌ها ۳۱ نمونه سنگی که نماینده بخش‌های کانی‌سازی غنی از مواد آلی، شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های قرمز بودند به منظور بررسی الگوی عناصر نادر خاکی مورد آنالیز توسط دستگاه ICP-MS در آکادمی زمین‌شناسی چین و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران قرار گرفتند. برای اینکه زمینه ژئوشیمیایی سنگ‌های ولکانیکی و ارتباط احتمالی آن با کانی‌سازی در ناحیه مورد مطالعه مشخص شود، ۴ نمونه دیگر از سنگ‌های ولکانیکی عمدتاً داسیتی نیز مورد آنالیز قرار گرفتند. همچنین اندازه‌گیری کربن آلی (TOC) و گوگرد به وسیله آنالیزگر سولفید و کربن LECO بر روی ۴۸ نمونه در آکادمی زمین‌شناسی چین انجام شد.

نتایج

مشاهدات صحرایی و میکروسکوپی: مشاهدات صحرایی انجام‌شده در ناحیه معدنی حاکی از حضور افق‌های کانه‌دار در واحد M_2^{mg} سازند قرمز بالایی است که عمدتاً متشکل از سیلت‌سنگ، ماسه‌سنگ و رسوبات شیلی و مارنی است (شکل ۳-الف). رنگ این واحدها به علت مقادیر



شکل ۳: رخنمون تناوب ماسه‌سنگ‌های خاکستری و قرمز در مجاورت توده ولکانیکی (الف)، نمونه دستی کانی‌سازی شده همراه مواد آلی (ب)، تصویر میکروسکوپی نمونه ماسه‌سنگ قرمز (به عدم وجود اکسید آهن در کنتراکت دانه‌ها توجه کنید) (ج) سولفیدها و اکسیدهای مس به صورت سیمان بین دانه‌ای (د) لامیناسیون کاذب پر شده با مواد آلی و کانی‌های اپک (ه) رشد مجدد کوارتز (و)

جدول ۱ نشان داده شده است. از آنجایی که مقادیر متنوع عناصر نادر خاکی (REE)، مس، نقره، گوگرد و TOC در ماسه سنگ های مختلف وابسته به فرآیندهای دیازنتیکی و هیدروترمالی هستند، براساس ترکیب کانی شناسی و عیار این عناصر نمونه های مورد آنالیز به دو گروه عمده ماسه سنگ های غیر کانی سازی شده و ماسه سنگ های کانی سازی شده تفکیک شدند. علاوه بر این برای شناسایی بیشتر محیط زمین شناسی کانسار چندین نمونه از شیل های زیرین و سنگ های ولکانیکی مجاور کانی سازی برای مطالعات انتخاب شدند. تفاوت در مقدار و ویژگی REE میان لیتولوژی ها منعکس کننده تفاوت در محیط رسوبگذاری، مقادیر متنوع کانی های رسی و همچنین حضور مواد آلی است. در ادامه توزیع عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی در این گروه ها بررسی شده است (جدول ۱ و ۲).

بنابراین تنها یک نوع از ماسه سنگ ها (ماسه سنگ خاکستری در واحد M_2^{mg}) می تواند میزبان مقادیر قابل توجهی سولفیدهای مس عموماً در سطوح لایه بندی و در ارتباط بسیار نزدیک با مواد آلی و سیمان کربناته باشد (شکل ۳-ب) (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۳). بعد از رسوبگذاری سولفیدها حوادث اکسیداسیون سوپرژن موجب تشکیل مالاکیت، آزوریت، تنوریت و آتاکامیت می شود (مهدوی، ۱۳۸۷، مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶). رد پای آلتراسیون هیدروترمال ثانویه بر روی کانی ها به وضوح قابل مشاهده است. حفره ها و لامیناسیون کاذب، تشکیل کوارتز به صورت رشد مجدد و مشاهده کانی سازی مس همه شواهدی بر فرآیندهای هیدروترمال هستند (شکل ۳-ج تا و) (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۳).

ژئوشیمی: میانگین نتایج ژئوشیمیایی نمونه های مورد مطالعه در ناحیه نهند- ایوند (۲۹ نمونه ماسه سنگ، ۲ نمونه شیل و ۴ نمونه ولکانیکی) در

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی عناصر کمیاب بر حسب ppm به روش ICP-OES در انواع لیتولوژی ناحیه نهند- ایوند

SAMPLE	Ag	As	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Hf	Nb	Ta	Ba	Tl	Pb	Th	U
Unmineralized Brown Sandstone																		
IR-AN-19	0.034	57.8	70.3	383	10.8	49.4	69.6	57	96.4	218	8.64	20.3	1.48	397	0.44	10.1	9.64	2.38
IR-NA-2	0.058	1.56	41.5	312	9.74	85.9	25.1	38.3	50.3	330	4.15	10	0.7	1008	0.25	4.3	4.29	1.34
Unmineralized Red Sandstone																		
IR-BA-27	0.022	15.8	46	145	25.7	39.4	13.6	42.1	77.5	423	2.32	7.05	0.95	547	0.37	11.8	4.97	1.58
IR-AN-8a	0.23	165	42.4	94.3	7.07	35.7	85.1	35.7	66	391	3.11	9.11	0.6	585	0.38	21.5	5.35	2.72
IR-BA-26	0.85	7.44	57.5	113	37.6	29.1	51.3	51.7	64.6	564	2.57	7.58	0.89	651	0.36	12	5.1	1.64
Unmineralized Gray Sandstone																		
IR-S-38	0.041	4.19	60.9	268	13.4	123	24.4	46.1	40.4	303	3.01	9.63	0.57	928	0.19	5.59	3.76	1.19
IR-K-44B	0.065	3.17	67.5	145	9.29	27.6	24.9	44.3	49.9	322	4.72	10.8	0.79	637	0.22	12.4	5.12	1.57
IR-MR-55a	0.041	1.66	37.9	203	8.2	77.2	52	35.3	53.5	369	2.4	7.24	0.45	3777	0.32	6.01	3.63	1.05
IR-NA-1a	2.22	4.15	57.3	478	13	91.5	35.11	44.7	57.1	271	4.41	10.8	0.68	797	0.4	5.88	4.5	2
IR-NA-5	0.36	1.82	65	311	17.8	109	1193	62.7	54.9	278	4.51	13	0.92	312	0.3	5.08	5.86	1.87
Mineralized Gray Sandstone																		
IR-S-33	1.23	13.5	84.7	319	29.5	88	1484	52.1	63.5	304	5.39	12.9	0.95	530	0.4	20	5.42	2.55
IR-MR-55b	3.43	10	55.5	239	33.4	99.9	3019	44.3	51.5	243	4.15	10.3	0.91	432	0.83	3576	4.65	2.38
Oxidized Gray Sandstone																		
IR-K-45	0.69	1.19	48.3	141	16.4	38.7	35730	31.5	31.4	340	6.16	13.7	1.13	437	0.17	13.9	4.84	2.8
IR-MR-58	11.1	2.41	25.4	76.3	9.23	34.8	83630	21.6	21.6	187	1.76	3.67	0.33	854	0.33	29	2.66	1.39
Highly Mineralized Gray Sandstone																		
IR-S-HS	630	23.4	34.7	202	68.2	99.6	351600	35.9	31.5	104	2.35	5.84	0.45	481	4.35	144	3	2.55
Khaje Gray Sandstone																		
KH-9	28.46	< 0.5	104	245	29.78	177	21323	113	93.78	360	4.11	19.75	1.71	565	< 0.5	11.06	7.97	3.23
KH-10	0.26	11.12	86.45	158	39.69	208	1550	46.33	56.59	352	5.75	18.58	0.87	786	< 0.5	6.35	6.48	3.81
KH-11	2.64	< 0.5	88.22	162	19.74	102	4885	45.63	105	325	10.59	23.47	0.87	621	< 0.5	2.86	5.68	3.56
KH-12	40.85	35.97	96.29	164	43.56	141	6229	55.80	111	407	5.78	22.81	2.80	595	< 0.5	48.46	10.94	4.78
KH-13	34.03	19.18	107	221	46.45	224	7749	78.11	118	319	2.95	24.73	1.05	530	8.06	33.28	8.73	4.03
KH-14	19.86	2.60	64.99	176	24.85	179	11270	62.76	89.41	297	6.76	16.31	1.18	473	0.99	5.03	3.90	2.86
KH-15	2.69	4.58	68.34	117	25.28	141	2320	50.63	102.35	331	3.89	17.64	2.45	558	< 0.5	10.00	4.37	2.87
KH-16	5.01	45.32	72.75	147	27.20	116	11108	63.34	123	321	3.80	17.72	0.54	402	< 0.5	39.52	6.64	4.19
KH-17	< 0.1	13.21	76.70	77.53	23.02	102	153	39.13	89.64	445	3.58	15.77	1.52	216	< 0.5	33.27	7.17	4.28
KH-18	3.82	2.36	62.51	245	19.65	101	4922	34.92	101	242	6.33	19.03	0.33	413	< 0.5	< 0.5	6.14	3.03
KH-19	18.86	7.05	99.49	179	30.75	198	11820	74.25	121	373	4.69	20.43	0.70	457	< 0.5	11.35	4.37	3.37
KH-20	< 0.1	2.64	128	170	28.03	190	273	34.10	125	370	9.53	16.17	0.19	747	0.56	< 0.5	4.10	2.37
KH-21	22.66	5.95	127	148	43.79	210	4701	67.79	110	4608	8.03	22.19	2.51	534	< 0.5	12.33	9.15	6.10
KH-22	23.13	8.96	110	244	37.90	222	4809	60.78	139	371	3.23	17.83	1.15	757	< 0.5	10.88	6.70	3.42
Shale																		
22a(shale)	0.1	16	118	94.8	18.6	79.4	36.5	92.6	66.8	469	3.16	11	0.71	351	0.36	14.9	6.41	2.82
IR-MR-55c	0.16	11	198	194	26.3	159	144	122	98.8	221	4.59	20.5	1.23	268	0.65	19.3	10	2.49
IR-NA-4b	0.029	3.41	23	47.2	1.48	12.1	9.09	7.5	2.36	267	3.47	10.9	0.68	168	<0.05	1.03	8.2	1.66
IR-S-28	0.036	1.51	26.6	17.3	8.52	11.4	18.1	25.3	32.1	581	3.37	10.2	0.64	717	0.16	9.52	8.82	3.05
Volcanic Rock																		
IR-S-40a	0.031	1.23	28.1	70.3	3.55	13.6	11	20.4	60.1	558	3.58	10.8	0.67	1328	0.22	9.41	9.3	2.72
IR-S-42	0.072	0.99	26.8	38	2.54	10.1	9.41	19.7	5.39	566	3.29	9.48	0.59	498	<0.05	4.69	6.8	1.79

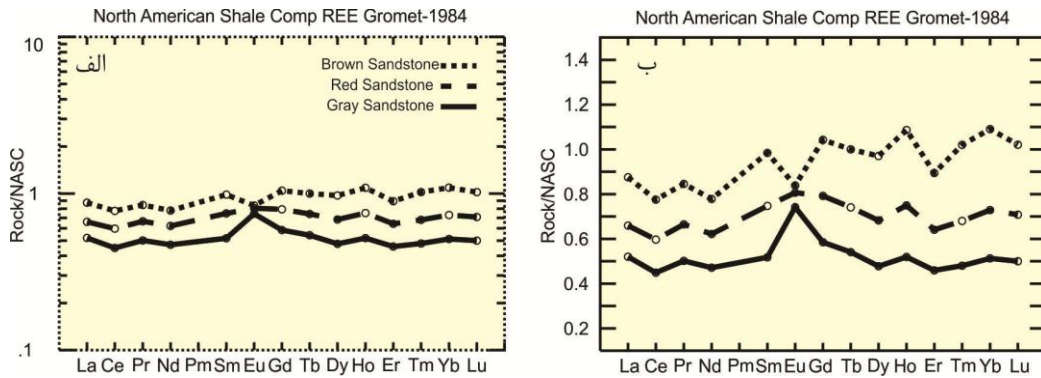
جدول ۲: نتایج ژئوشیمیایی میانگین مس، نقره و $\sum REE$ بر حسب (ppm) و گوگرد و کربن آلی کل بر حسب درصد و نسبت ها و پارامترهای محاسباتی مربوط به REE ها در انواع لیتولوژی موجود در منطقه مورد مطالعه

	Cu (ppm)	Ag (ppm)	S (%)	TOC (%)	$\sum REE$ (ppm)	La/Lu	Gd/Yb	La/Sm	La/Yb	La/Ho	Y/Ho	Tb/La	Eu/Yb	Ce/Yb	L/H	L/M	M/H
Unmineralized Brown Sandstone	69.60	0.03	0.01	<0.10	144.08	57.14	1.60	4.99	8.28	24.78	30.88	0.03	0.31	16.75	13.68	6.31	2.17
Unmineralized Red Sandstone	19.35	0.04	0.02	<0.10	109.38	61.27	1.68	5.16	9.18	26.85	31.17	0.03	0.38	18.25	14.76	6.52	2.26
Unmineralized Gray Sandstone	293.06	0.25	0.04	0.12	83.24	70.51	1.92	5.65	10.49	30.59	30.77	0.03	0.58	20.67	16.53	6.80	2.43
Mineralized Gray Sandstone	2301.75	1.81	0.10	0.19	106.14	67.50	1.92	5.02	10.38	29.89	29.67	0.03	0.52	21.71	16.95	6.89	2.46
Highly Mineralized Gray Sandstone	351600.00	630.00	5.46	4.36	65.40	90.00	1.99	6.64	13.71	35.12	26.10	0.02	0.57	26.10	19.74	7.80	2.53
Oxidized Gray Sandstone	59680.00	5.90	0.35	0.31	134.58	92.63	2.58	4.98	13.82	35.92	24.29	0.03	0.77	28.59	21.17	6.86	3.08
Khaje Gray Sandstone	5831.00	14.47	/	/	113.00	159.39	1.66	6.45	15.69	36.07	26.01	0.01	0.75	26.55	18.11	8.28	2.19
volcanic Rock	12.73	0.03	0.01	/	66.40	250.95	2.91	11.09	40.23	107.55	28.84	0.01	1.45	67.94	50.08	13.18	3.80
Shale	90.25	0.13	0.57	0.80	107.18	60.42	1.70	5.30	9.21	28.04	28.89	0.03	0.39	17.58	14.17	6.57	2.16

شدگی از عناصر مذکور است (شکل ۴). که احتمالاً ناشی از رقیق شدگی بیشتر به وسیله SiO_2 به دلیل اندازه بزرگتر دانه‌های ماسه‌سنگ نسبت به شیل است (Sawlowicz, 2013). اگر چه مقادیر REE در ماسه‌سنگ‌های قرمز نسبت به سایر ماسه‌سنگ‌ها نسبتاً بالاست ($\sum REE=109/38$) (جدول ۲)، و نمونه‌ها از LREE نسبت به HREE غنی تر می باشند ($LREE/HREE=14/76$) الگوی عناصر نادر خاکی در ماسه‌سنگ خاکستری غیر کانی‌سازی شده از روند کلی ماسه‌سنگ قرمز پیروی کرده و اما مقادیر $\sum REE$ در آن‌ها پایین‌تر و نسبت عناصر نادر خاکی سبک به سنگین بالاتر است ($\sum REE=83/24$, $LREE/HREE=16/53$). در ناحیه مورد مطالعه یک نمونه ماسه‌سنگ قهوه‌ای فاقد کانی‌سازی که نشان‌دهنده تشکیل تحت شرایط اکسیداسیون شدیدتر است نیز مورد آنالیز قرار گرفت که مقدار $\sum REE$ در آن بیشتر از ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری فاقد کانی‌سازی است ($\sum REE=144/08$) ولی نسبت $LREE/HREE$ در آن‌ها تا حدودی کمتر است ($13/68$) (جدول ۲). همچنین نسبت Eu/Eu^* در ماسه‌سنگ‌های قهوه‌ای، قرمز و خاکستری به ترتیب برابر با $0/83$ ، $0/82$ ، $0/74$ است، که همگی آنومالی منفی ضعیفی نشان می دهند (شکل ۴).

۱- ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری بدون کانی‌سازی

در ناحیه مورد مطالعه ماسه‌سنگ قرمز غیر کانی‌سازی شده فاقد مواد آلی است و TOC در آن‌ها قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد و مقدار مس موجود در این ماسه‌سنگ‌ها به طور متوسط ppm $19/35$ است که نسبت به مقدار متوسط آن در ماسه‌سنگ‌های لیتوسفر (ppm 10) حدود ۲ برابر غنی شدگی نشان می‌دهد (یزدی، ۱۳۸۱). ماسه‌سنگ‌های خاکستری بدون کانی‌سازی دارای چندین متر ضخامت هستند که به صورت جانبی گاهی تا کیلومترها در داخل ماسه‌سنگ‌های قرمز قابل ردیابی است. این ماسه‌سنگ‌ها معمولاً مقادیر بسیار اندکی از مواد آلی، پیریت رسوبی یا کانی‌های سولفیدی را دارا می‌باشند، عیار متوسط مس ppm $293/06$ و مقدار TOC آن‌ها $0/12$ ٪ می‌باشد (جدول ۲). این نمونه‌ها نشان‌دهنده واحدهای لیتولوژیک غیر کانی‌سازی شده هستند. نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری غیر کانی‌سازی شده در ناحیه مورد مطالعه نسبت به ترکیب شیل آمریکای شمالی (NASC) بهنجار شده و مقایسه میزان غنی‌شدگی عناصر خاکی نادر سبک (La, Ce, Pr, Nd)، متوسط (Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) و سنگین (Ho, Er, Tm, Yb, Lu) در همه ماسه‌سنگ‌های غیر کانی‌سازی شده بیانگر تهی



شکل ۴: نمودار الگوی پراکندگی عناصر خاکی کمیاب در ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری فاقد کانی‌سازی ناحیه مورد مطالعه در مقیاس لگاریتمی (الف) و خطی (ب).

ماسه‌سنگ‌های خواجه آنومالی مثبت نشان می‌دهد به طوری که نسبت Eu/Eu^* در ماسه‌سنگ‌های خاکستری کانی‌سازی شده و ماسه‌سنگ‌های خواجه، به ترتیب برابر با 0.8 و $1/2$ است که بیانگر آنومالی ضعیف منفی در متوسط ماسه‌سنگ‌های خاکستری کانی‌سازی شده و آنومالی مثبت در ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده خواجه است.

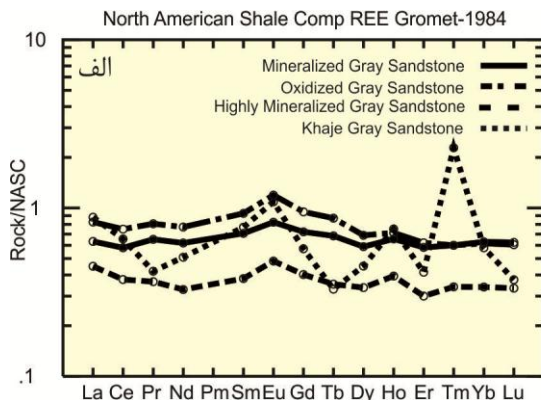
همچنین الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در یک نمونه کانسنگ سولفیدی شدیداً مینرالیزه (نمونه IR-S-HS) که کمتر تحت‌تاثیر فرآیند اکسیداسیون قرار گرفته و عیار مس در آن به بیشترین مقدار (35%) در میان همه نمونه‌های مورد مطالعه می‌رسد، نیز مورد بررسی قرار گرفت. بررسی الگوی REE در این نمونه نشان داد که عناصر نادر خاکی الگوی نسبتاً مسطحی را نشان می‌دهد و دارای کمترین مقدار REE در میان انواع ماسه‌سنگ‌های مشاهده شده است. همچنین نسبت LREE به HREE در کانسنگ سولفیدی در مقایسه با سایر ماسه‌سنگ‌های خاکستری بالاتر است ($LREE/HREE=19/74$) (جدول ۲)، کاهش نسبت HREE به LREE می‌تواند ناشی از تاثیر سیالات گرمابی غنی از کلر و فلوئوریداری

۲- ماسه‌سنگ‌های خاکستری غنی از مواد آلی و مس

افق‌های کانی‌سازی شده معمولاً درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری غنی از مواد آلی به وجود می‌آیند و مقدار TOC در آن‌ها بیش از 0.1 درصد و عیار مس بین 0.1 تا 3.5% متغیر است (جدول ۱). مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی در این زون دیژنیت و کولیت است که جایگزین پیریت‌های رسوبی قبلی شده‌اند.

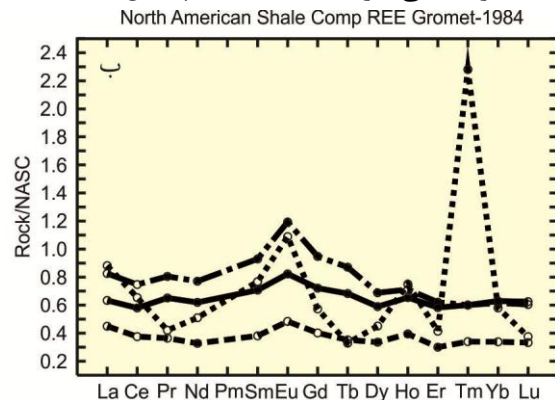
داده‌های تجزیه عناصر نادر خاکی در ماسه‌سنگ‌های خاکستری کانی‌سازی شده با میانگین عیار مس ($3\%-0.1\%$) در ۱۹ نمونه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱ و ۲). با توجه به مطالعات انجام‌شده دو الگوی متفاوت در این ماسه‌سنگ‌ها مشاهده می‌شود. در یک گروه متشکل از ۷ نمونه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در متوسط نمونه ماسه‌سنگ کانی‌سازی شده دارای روند مشابهی با ماسه‌سنگ‌های غیر کانی‌سازی شده قرمز و خاکستری است. ۱۲ نمونه دیگر که از منطقه خواجه نمونه برداری شده‌اند، الگوی عناصر نادر خاکی روند کاملاً متفاوتی (الگوی تقریباً زیگزاگی همراه با غنی‌شدگی بسیار شدید عنصر Tm به همراه آنومالی مثبت Eu) را نشان می‌دهد (شکل ۵ الف، ب). همچنین نسبت Eu نرمالیزه در

Eu/Eu^* در کانسنگ سولفیدی و بخش‌های اکسیدان به ترتیب معادل ۰/۵ و ۱/۲ است و همان طور که از شکل ۵ نمایان است، این دو نوع ماسه‌سنگ به ترتیب کم‌ترین و بیشترین مقدار آنومالی Eu را نشان می‌دهد.



باشد که سبب شستشو و حمل آن‌ها گشته‌اند (کیکاوادا و همکاران، ۲۰۰۱).

نسبت LREE به HREE در ماسه‌سنگ‌های اکسیدان تقریباً مشابه با میزان آن در کانسنگ سولفیدی و بالاتر از مقدار آن در ماسه‌سنگ خاکستری کانی‌سازی شده است. همچنین نسبت



شکل ۵: الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در انواع ماسه‌سنگ‌های خاکستری کانی‌سازی شده در مقیاس لگاریتمی (الف) و خطی (ب).

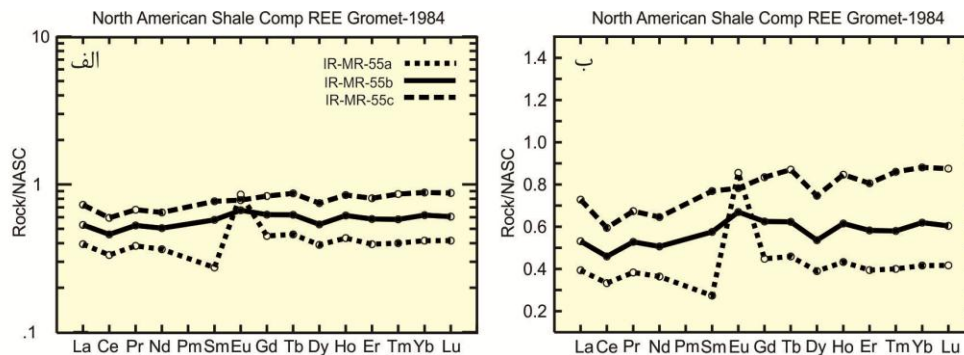
همه انواع ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه دارد حاکی از آن است که Ce با ظرفیت 3^+ از محیط شسته شده است که مشاهده کانی موناژیت در میکروسکوپ الکترونی نیز موید این مطلب است.

همچنین نسبت Ce/Ce^* در کانسنگ سولفیدی و بخش‌های اکسیدان به ترتیب معادل ۰/۴ و ۰/۸ است (شکل ۵ ب). میزان بسیار پایین Ce در کانسنگ سولفیدی که کمترین مقدار را در میان

ترتیب ۱۸/۲، ۸/۷۷ می‌باشد. ماسه‌سنگ غیر کانی‌سازی شده که بلافاصله روی ماسه‌سنگ خاکستری کانی‌سازی شده قرار دارد مقدار کل عناصر نادر خاکی آن کم بود ($\sum REE = 63/01$) در حالیکه نسبت Eu/Eu^* در آن برابر با ۰/۸۳ است که غنی‌شدگی بیشتری را نسبت به ماسه‌سنگ کانی‌سازی شده و شیل‌های زیرین نشان می‌دهد. مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده و شیل نشان می‌دهد که تفاوت عمده ای میان الگوی REE این دو لیتولوژی مشاهده نمی‌شود و ظاهراً این الگو بیشتر تحت تاثیر فرآیندهای آلتراسیون بعدی است تا تاثیر سنگ منشا اولیه (شکل ۶).

۳- شیل

برای مقایسه الگوی REE در یک پروفیل کوچک در ناحیه مرنو (ناحیه شرقی منطقه مورد مطالعه) که از پایین به بالا شامل شیل IR-MR-55c، ماسه‌سنگ خاکستری کانی‌سازی شده IR-MR-55b و ماسه‌سنگ خاکستری غیر کانی‌سازی شده IR-MR-55a بود نمونه برداری انجام شد. عیار مس در ماسه‌سنگ کانی‌سازی شده در این قسمت تقریباً مشابه با ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده از قسمت‌های دیگر است (Cu ۳۰۱۹ ppm) و الگوی نسبتاً مسطحی از REE ها را دارد و نسبت Eu/Eu^* در آن برابر ۰/۶۶ است. مقدار REE کل در آن برابر با ۸۸/۶۹ و Y و Sc به

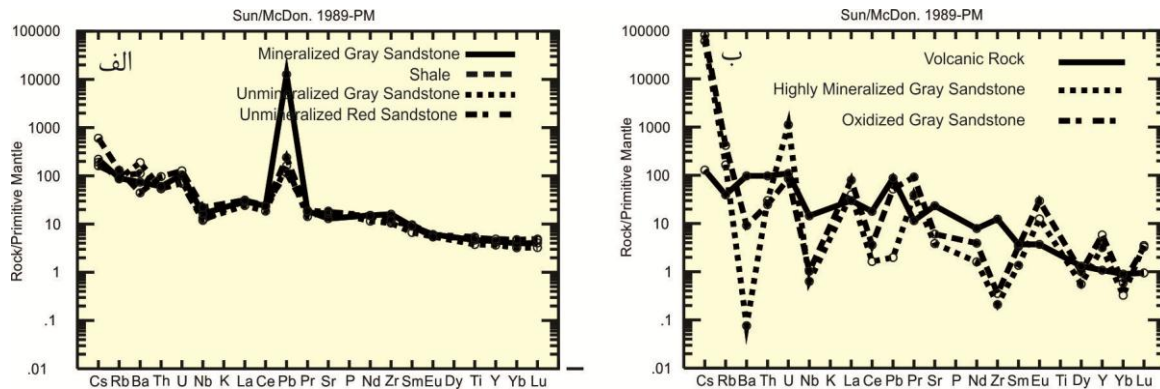


شکل ۶: مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در ماسه‌سنگ قرمز فاقد کانی‌سازی (IR-MR-55a)، ماسه‌سنگ خاکستری کانی‌سازی شده (IR-MR-55b) و شیل (IR-MR-55c) موجود در مقطع مرنو در مقیاس لگاریتمی (الف) و خطی (ب).

۴- سنگ‌های ولکانیکی

سنگ‌های ولکانیکی در ناحیه مورد مطالعه تنوع شیمیایی کمی نشان می‌دهند و دارای ترکیب ریولیتی تا داسیتی می‌باشند. همان‌طوری که قبلاً ذکر شد به دلیل آنکه عناصر نادر خاکی و عناصر لیتوفیل بزرگ یون نسبتاً غیر متحرک هستند آن‌ها می‌توانند به طور موثر در ردیابی منشأ سیالات تشکیل دهنده ماده معدنی در یک سیستم هیدروترمال به کار گرفته شوند (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲). لذا الگوی عناصر فرعی در همه لیتولوژی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده (شکل ۷ الف-ب) و نتایج حاصل از آن در سنگ‌های ولکانیک نشان‌دهنده غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل بزرگ یون مانند Sr, Ba, Th, U, Pb و تهی‌شدگی Nb, Dy, Y, Yb, Lu است که نسبت به دیگر لیتولوژی‌های موجود در منطقه شباهت کمتری را

نسبت به نمونه‌های کانی‌سازی شده نشان می‌دهد. این الگو برای ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی و فاقد کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه نشان دهنده غنی‌شدگی در عناصر لیتوفیل بزرگ یون مانند Sr, Ba, U, Rb و به خصوص Pb و تهی‌شدگی در عناصر La, Ce, Nd, Lu می‌باشد و این نشان‌دهنده این است که کانسار مس نهند - ایوند ارتباط نزدیکی با ماسه‌سنگ‌های قرمز و خاکستری و در مواردی شیل‌های منطقه دارد. البته استثنائات مهمی نیز وجود دارد به عنوان مثال این الگو برای یک نمونه شدیداً کانی‌سازی شده و دو نمونه اکسیدان کمی متفاوت بوده و نشان‌دهنده غنی‌شدگی شدید در عناصر لیتوفیل بزرگ یون مانند Cs, Rb, U و تهی‌شدگی شدید در عناصر Ba, Nb, Ce, Pb, Zr است.



شکل ۷: نمودار چند عنصری برای مجموعه سنگ‌های کانی‌سازی شده و فاقد کانی‌سازی و سنگ‌های ولکانیکی محدوده نهند - ایوند. بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) (الف، بس).

بحث

(۱۹۹۰) دریافتند که جذب REE برای سطوح به شدت تحت تاثیر مواد آلی است. به عبارت دیگر وقتی که REE ها با کلوئیدهای آلی ترکیبات کمپلکسی تشکیل می‌دهند عناصر نادر خاکی در واقع متحرک‌تر می‌شود و بنابراین با سهولت بیشتری از سنگ مادر آن‌ها مهاجرت می‌کنند و تحت شرایط اکسیدان همراه با تجزیه کلوئیدهای آلی رسوبگذاری می‌کنند (سالوویز، ۲۰۱۳). مقدار کربن آلی کل در ناحیه مورد مطالعه بین ۰/۱۱ در نمونه‌های غیر کانی‌سازی شده و ۴/۳۶ در نمونه‌های کانی‌سازی شده متغیر است (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۴)، بنابراین مقدار TOC در ماسه سنگ شدیداً کانی‌سازی شده به بیشترین مقدار خود می‌رسد (TOC= ۴/۳۶) در حالی که مقدار REE در آن‌ها کمترین مقدار (ΣREE=۶۵/۴) است و در ماسه‌سنگ‌های اکسیدان که مقدار TOC در آن‌ها کمتر است (TOC= ۰/۱۷) میزان REE به بیشترین مقدار ممکن (ΣREE=۱۵۳/۱۴) می‌رسد و نشان می‌دهد که تغییرات TOC در مقاطع متفاوت ماسه‌سنگ‌های واحد M_2^{mg} می‌تواند در الگوی REE تاثیر بگذارد؛ بنابراین حضور مواد آلی احتمالاً می‌تواند توضیح دهد که چرا ماسه‌سنگ کانی‌سازی شده مقادیر REE کمتری دارد. بنابر

مقایسه آرایه توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مورد مطالعه و ارتباط آن با کانی‌سازی داده‌های تجزیه عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مورد مطالعه، نسبت به ترکیب شیل آمریکای شمالی (NASC) (گرومت و همکاران، ۱۹۸۴) بهنجار شدند و برای تعبیر و تفسیر رفتار عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مختلف مقادیر $\sum REE$ ، Tb/La ، La/Ho ، La/Yb ، La/Sm ، Eu/Eu^* ، Tb/Ca و Eu/Yb محاسبه گردید. مطالعه دقیق الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در ناحیه نهند ایوند نشان‌دهنده تفاوت‌های قابل ملاحظه در الگوی REE در نمونه‌های مختلف است. مهمترین توضیح قابل درک برای متفاوت بودن الگوی REE در رسوبات معمولاً مربوط به سنگ منشا آن‌ها است، ولی در اینجا کوچک بودن نسبی ناحیه مورد مطالعه و تشابه در الگوی REE در شیل‌ها و ماسه‌سنگ پیشنهاد می‌کند که تغییرات عمده در سنگ منشا در طول رسوبگذاری لایه نازک M_2^{mg} که میزبان کانی‌سازی مس در منطقه مورد مطالعه است، بسیار غیر منطقی است و تغییرات در محتوای REE در ناحیه نهند - ایوند نمی‌تواند عموماً وابسته به منشا باشد. بیرنه و کیم

آنچه گفته شد بحرانی ترین فاکتور کنترل کننده الگوی عناصر نادر خاکی که در ماسه سنگ ها حفظ شده است شامل تاثیر سیال مهاجرت کننده است که می تواند اکسیدان یا احیا باشد. البته ما باید در خاطر داشته باشیم که توسعه کانسار در ناحیه مورد مطالعه مرتبط با نهشته شدن اولیه سولفیدهای مس و اکسیداسیون متعاقب آن بوده است.

آنومالی Eu در ماسه سنگ ها عموماً موروثی از سنگ منشا است و یا از شرایط مختلف اکسیداسیون احیا در کانسار نشات می گیرد، از آنجایی که تغییرات عمده در سنگ منشا در ناحیه مورد مطالعه خیلی مهم به نظر نمی رسد، تفاوت میان آنومالی Eu نمونه های کانی سازی شده و غیر کانی سازی می تواند به وسیله شرایط مختلف رسوبگذاری و دیاژنز اولیه توضیح داده شود. Eu^{+2} که تحت شرایط شدید احیا در طول دیاژنز اولیه محلول است می تواند به سمت بالا مهاجرت کند و در لایه های نزدیک سطح جایی که شرایط Eh احتمالاً کمتر احیا است، اکسیده شود (سالوويز، ۲۰۱۳). بنابراین آنومالی منفی Eu/Eu^* در ماسه سنگ های مورد مطالعه احتمالاً وابسته به شرایط احیا غالب در طول نهشته شدن و دیاژنز اولیه ماسه سنگ های خاکستری است (مکرا و همکاران، ۱۹۹۲) و فرآیندهای اکسیداسیون ثانویه طولانی مدت موجب حذف آنومالی منفی یوروپوم نرمالیز از ماسه سنگ های کانی سازی شده اولیه شده است.

بررسی الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) و تغییرات نسبت های LREE/HREE، LREE/MREE و MREE/HREE در نمونه های آنالیز شده در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که این نسبت ها در نمونه های کانی سازی شده از کانسارهای مورد مطالعه، شباهت و قرابت بسیار نزدیکی با ماسه سنگ های خاکستری میزبان کانه

سازی در کانسار دارند و با سنگ های ولکانیکی هیچ گونه شباهتی نشان نمی دهند. بنابراین نقص ولکانیک ها در منطقه مورد مطالعه بیشتر به عنوان موتور حرارتی که باعث گرم شدن و چرخش سیالات گرمابی می شده است قابل پذیرش است. افزایش نسبت LREE/HREE در نمونه های آنالیز شده می تواند ناشی از سیالات گرمابی غنی از کلر و فلوریداری باشد که سبب شستشو و حمل آن ها گشته اند (کیکاوادا و همکاران، ۲۰۰۱). این نسبت در ماسه سنگ های اکسیدان بیشترین حد را در میان انواع لیتولوژی در ناحیه مورد مطالعه دارد و نشان می دهد که در طی فرآیندهای شدید هوازدگی همان طوری که از طریق مطالعات عملی و آزمایشگاهی ثابت شده است که عناصر HREE به سهولت بیشتری نسبت به عناصر LREE شسته شده و از کانی های اصلی خارج می شود در حالیکه $LREE^{3+}$ به طور ترجیحی در سطح کانی های رسی جذب می شوند (ژو، ۱۹۷۳)، در نتیجه موجب غنی شدگی نسبی LREE در زون های هوازده و غنی شدگی نسبی در HREE در مراحل اولیه کانی سازی می شود.

نتیجه گیری

- بر اساس نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی، متوسط عیار مس و نقره از افق های کانه دار در ناحیه نهند - ایوند به ترتیب برابر ۲۳۰۱ و ۱/۸۱ ppm می باشد، که نشانگر غنی بودن این سنگ ها در منطقه مورد مطالعه از عناصر یاد شده است.

- آرایه توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه های کانی سازی شده کانسار از الگوی تغییرات این نسبت در ماسه سنگ های خاکستری به شدت تبعیت می کنند و همچنین قرابت نزدیکی با شیل ها و ماسه سنگ های قرمز نشان می دهد، ولی هیچ شباهتی با ولکانیک های منطقه ندارد و از رفتار ژئوشیمیایی آن ها پیروی نمی کنند. بنابراین

به طور خلاصه می‌توان گفت افق‌های کانی‌سازی شده در این سازند شامل سولفیدهای پراکنده مس در طول مرزهای احیا درون ماسه‌سنگ‌های خاکستری غنی از مواد آلی در تماس با رسوبات سیلتی و مازنی، شیل، سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ قرمز است. به نظر می‌رسد از آنجا که تغییرات عمده در سنگ منشا تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها به احتمال زیاد در ناحیه مورد مطالعه وجود ندارد، اختلاف آرایه توزیع عناصر نادر خاکی در ناحیه نهند - ایوند به احتمال زیاد ناشی از شرایط حاکم در طول رسوبگذاری و احتمالاً دیاژنز اولیه ماسه‌سنگ‌ها بوده‌است. لذا پیشنهاد شده‌است که تفاوت در رخداد REE در اینجا عمدتاً به وسیله فرایندهای بعد از رسوبگذاری به وجود آمده‌است که احتمالاً مرتبط با کانی‌سازی و اکسیداسیون بوده‌است. لازم به یادآوری است که مطالعات بیشتری برای شناسایی تفاوت میان فرایندهای دیاژنتیکی اولیه و فرایندهای کانی‌سازی که احتمالاً چند مرحله‌ای و طولانی مدت هستند مورد نیاز می‌باشد و تنها یک پیشنهاد عمومی در اینجا داده شده‌است.

- جلالی، ا.، ۱۳۹۰. گزارش اکتشافات مرحله اول محدوده مس آناختون، سازمان صنایع و معادن استان آذربایجان شرقی، ص ۴۱.

- رجب پور، ش. ع.، علیپور، ص. و ذاکری، ل.، ۱۳۹۲. بررسی کانی‌شناسی و منشا مس چینه سان در منطقه چشمه کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱، جلد ۵، ص ۴۹-۶۳.

منشا این عناصر را می‌توان در ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های موجود در منطقه جستجو کرد.

- مقایسه میان ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده با فازهای سولفیدی غالب و ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده با فازهای اکسیدی غالب نشان می‌دهد که آن‌ها به طور شاخص از نظر مقادیر REE و الگوی پراکندگی و آنومالی‌ها از یکدیگر متفاوت می‌باشند. در طول مراحل اولیه دیاژنز (شرایط احیا) عناصر نادر خاکی توسط کلوئیدهای آلی حمل و در مراحل بعدی (شرایط اکسیدان) در اثر واپاشی کلوئیدها رها می‌شود. بنابراین اکسیداسیون ماسه‌سنگ‌ها در ناحیه مورد مطالعه یک فرآیند ثانویه است و مقادیر نسبتاً بالا در REE موجود در ماسه‌سنگ‌های به شدت اکسیدان در مقایسه با ماسه‌سنگ‌هایی که کمتر تحت تاثیر فرایندهای اکسیداسیون قرار گرفته‌اند احتمالاً ناشی از تجزیه کلوئیدهای آلی REE دار است.

- آنومالی Eu نرمالیز توده‌های مس دار در کانسار نهند - ایوند قانونمند است. آنومالی Eu^*/Eu از کمتر از ۱ (نمونه‌های مینرالیزه) به سمت ۱ (نمونه‌های اکسیدان) متغیر است که نشان دهنده این است که توده معدنی تغییراتی را شرایط احیا به اکسیدان تجربه کرده است.

منابع

- آقازاده، م. و بدر زاده، ز. ۱۳۸۹. معرفی افق‌های کانه زایی مس رسوبی در ایران، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۱ ص.

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۷۲ ص.

- اسدیان، ع.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تبریز، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کانسار مس رسوبی مارکشه در شمال غرب راور، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷ص.

-نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.

-نقی زاده، ر.، شیوا، ع. و دری، م.، ۱۳۸۸. گزارش اکتشاف مقدماتی مس رسوبی در آذربایجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز تبریز، ۳۷ص.

-نقی زاده، ر.، شیوا، ع. و دری، م.، ۱۳۸۶. بررسی صحرایی کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه تسوج، استان آذربایجان شرقی، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷ص.

-یزدی، م.، ۱۳۸۱. روش‌های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۱۵ص.

-صالحی، ط.، قادری، م. و رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۸۹. کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در کانسار روی-مس-سرب (نقره) گمیش تپه، جنوب غرب زنجان، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۲، ص ۲۳۵-۲۵۴.

-عنایتی، س.، ۱۳۹۱. ژنز و کانی‌شناسی کانی‌زایی مس رسوبی شمال تبریز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۱ص.

-قربانی، م.، ۱۳۸۱. دیباچه ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، ۶۵۹ص.

-مهدوی، ا.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس مارکشه، شمال غرب راور استان کرمان، رساله کارشناسی ارشد دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۸ص.

-مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۸۶. کانی‌شناسی و ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار

-Allen, M., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates: *Tectonics*, v. 23, p. 1-16.

-Bechtel, A., Ghazi, A.M., Elliot, W.C. and Oszczepalski, S., 2001. The occurrence of the rare-earth elements and the platinum group elements in relation to base metal zoning in the vicinity of Rote Fäule in the Kupferschiefer of Poland: *Applied Geochemistry*, v. 16, p. 375-386.

-Byrne, R.H. and Kim, K.H., 1990. Rare earth element scavenging in seawater: *Geochimica et*

Cosmochimica Acta, v. 54, p. 2645-2656.

-Davoudzadeh, M., Lammerer, B. and Weber-Diefenbach, K., 1997. *Paleogeography, Stratigraphy, and tectonics of the Tertiary of Iran. Neues Jahrbuch Geologie Paläontologie Abhandlungen*, v. 205, p. 33-67.

-Greenwood, P.F., Brocks, J.J., Grice, K., Schwark, L., Jaraula, C.M.B., Dick, J.M. and Evans, K.A., 2013. Organic geochemistry and mineralogy. I. Characterisation of organic matter associated with metal deposits: *Ore Geology Reviews*, v. 50, p. 1-27.

- Gromet, L.P., Dymek, R.F., Haskin, L.A. and Korotev, R.L., 1984. The "North American shale composite": its compilation, major and trace element characteristics: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 48, p. 2469–2482.
- Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: Geochemical and geodynamic implications: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 30, p. 433–447.
- Karimzadeh Somarin, A., 2004. Marano volcanic rocks and associated Fe mineralisation, East Azarbaijan Province, Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 24, p. 11–23.
- Kikawada Y., Ossaka, T., Oi, T. and Honda, T., 2001. Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water: *Chemical Geology*, v. 176, p. 137–149.
- Laux, J, Lindenmayer, Z.G., Teixeira, J.B.G. and Neto, A.B., 2005. Ore genesis at the Camaqua copper mine, a neoproterozoic sediment-hosted deposit in Southern Brazil: *Ore Geology Reviews*, v. 26, p. 71 – 89.
- MacRae, N.D., Nesbitt, H.W. and Kronberg, B.I., 1992. Development of a positive Eu anomaly during diagenesis: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 109, p. 585–591.
- Ma, J.L., Wei, G.J., Xu, Y.G., Long, W.G. and Sun, W.D., 2007. Mobilization and re-distribution of major and trace elements during extreme weathering of basalt in Hainan Island, South China: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 71 (13), p. 3223–3237.
- Reichenbacher, B., Alimohammadian, H., Sabouri, J., Haghfarshi, E., Faridi, M., Abbasi, S., Matzke-Karasz, R., Fellin, M., Carnevale, G., Schiller, W., Vasilyan, D. and Scharrer, S., 2011. Late Miocene stratigraphy, palaeoecology and palaeogeography of the Tabriz Basin (NW Iran, Eastern Paratethys): *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 311, p. 1–18.
- Sadati, N., Yazdi, M., Behzad, M., Adabi, M.H. and Mokhtari, A.A., 2014. Linking TOC and trace elements characteristics for identifying paleoredox conditions in sedimentary copper deposit at Nahand-Ivand area, north of Tabriz, NW Iran: *Goldschmidt Conference Abstracts*, p. 2157.
- Sadati, N., Yazdi, M., Behzadi, M., Adabi M.H. and Mokhtari, A.A., 2013. Identification of structural factors for exploring of stratiform copper deposits using ETM+ data in the North of Tabriz, NW IRAN: *International Geoinformatics Research and Development Journal*, v. 4(1), p. 53-64.
- Sadati, N., Yazdi, M., Behzadi, M., Adabi, M.H. and Mokhtari, A.A., 2013. The role of organic matter in genesis of sedimentary-hosted stratiform copper deposits in Nahand-Ivand area, NW Iran: *Goldschmidt Conference Abstracts*, p. 211.
- Sadati, N., Yazdi, M., Behzadi, M., Adabi, M.H. and Mokhtari, A.A., 2012. Mineralogy, geochemistry and

genesis of the Anna Khatoon Cu deposit north of Tabriz (East Azarbaijan province): XIXth Meeting of the Petrology Group, of the Mineralogical Society of Poland, Mineralogia- special papers, v. 40, p. 120.

-Sawlowicz, Z., 2013. REE and their relevance to the development of the Kupferschiefer copper deposit in Poland: Ore Geology Reviews, v. 55, p. 176–186.

-Sen, S. and Purabrishemi, Z., 2010. First porcupine fossils (Mammalia, Rodentia) from the late Miocene of NW Iran, with notes on late Miocene–Pliocene dispersal of porcupines: Paläontologische Zeitschrift, v. 84, p. 239–248.

-Stöcklin, J., 1977. Stratigraphic lexicon of Iran. Geological Survey of Iran, Report No. 18., Ministry of Industry and Mines, Tehran. 376 p.

-Sutton, S.J., Almon, W.R., Dawson, W.C., Ethridge, F.G. and Maynard, J.B., 2004. Shale characteristics controlling fluid flow: application to Konkola North, Zambian Copperbelt: Geoscience Africa Conference, Johannesburg.

-Yang, X., Liu, J., Zhai, D., Han, S., Wang, H., Yang, L. and Huo, D., 2012. Geochemistry of the Yangla volcanic rocks and its relationship to Cu mineralization in the Yangla copper deposit, western Yunnan, China: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 243-244, p. 38–44.

-Yang, Y.G., Liu, C.Q., Yuan, K.N. and He, Z.L., 2000. Laterite formation process in southern China and its rare earth element (REE) geochemistry: Quaternary Sciences, v. 20 (5), p. 469–480.

-Zhang, Z.W., Yang, X.Y., Li, S. and Zhang, Z.S., 2010. Geochemical characteristics of the Xuanwei Formation in West Guizhou: Significance of sedimentary environment and mineralization: Chinese Journal of Geochemistry, v. 29 (4), p. 355–364.

-Zhou, L., Zhang, Z., Li, Y., You, F., Wu, C. and Zheng, C., 2013. Geological and geochemical characteristics in the paleo-weathering crust sedimentary type REE deposits, western Guizhou, China: Journal of Asian Earth Sciences, v. 73, p. 184–198.