

سنگ نگاری و دگرسانی کانسار مس چهل کوره، شمال باختر زاهدان: موازنه جرم و رفتار عناصر نادر کمیاب

نوشته: محمد معانی جو*، ایرج رسا*، دیوید لنتز** و سعید علیرضایی*

* گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران. ** گروه زمین شناسی، دانشگاه نیو برونزویک، کانادا.

Petrography and Alteration of Chehelkureh Copper Deposit: Mass Balance of Elements and Behavior of REE

By: M. Maanijou*, I. Rasa*, D. Lentz** & S. Alirezaei*

*Dept. of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**Dept. of Geology, University of New Brunswick, Canada.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۲/۰۹

چکیده

کانسار مس چهل کوره، در منطقه کوه لونکا، در ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر زاهدان (جنوب خاور ایران) قرار دارد. سنگهای میزبان کانی سازی، توربیدیت‌های ائوسن (فلیش)، شامل گری وک، سیلتستون و شیل است که در منطقه مورد مطالعه، یک تاقدیس با روند N-S را تشکیل داده‌اند. پهلوی خاوری این چین دارای ریزچینه‌های متعددی است. چندین استوک و دایک گرانودیوریتی، کوارتز مونوزودیوریتی و گرانیتی در نهشته‌های توربیدیتی نفوذ کرده‌اند و به طور محلی هورنفلس ایجاد شده است. این توده‌های نفوذی به موازات گسل‌های اصلی با جهت NW-SE قرار دارند. توده معدنی در چهل کوره، به صورت عدسیه‌ها و رگه‌های متعدد با شکل نامنظم است. محدوده ذخیره مس دارای امتداد کلی $N 23^{\circ} W$ با طول ۱۵۰۰ متر است و توسط گسل‌های خاوری-باختری جابه‌جا شده است. کانی سازی در مناطق شکستگی و گسلی صورت گرفته و شامل کوارتز، دولومیت، آنکریت، سیدریت و کلسیت، همراه با پیروتیت، ارسنوپیریت، پیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، گالن غنی از Se، مارکازیت، مولیدنیت، ایلمنیت و روتیل است. به رغم مقادیر بالای میانگین عیار فلزهای پایه شامل ۱/۴٪ مس، ۱/۷۷٪ روی، ۰/۸۵٪ سرب (۴/۱٪ Cu+Zn+Pb)، با توجه به داده‌های حاصل از ۳۵ گمانه، مقدار میانگین نقره ۲۲ ppm و طلا ۰/۱۴ ppm (در ۴۵ نمونه) است. یک نمونه مرکب از سنگهای میزبان چهل کوره، شامل ماسه سنگ و شیل، به عنوان نمونه‌ای با کمترین دگرسانی برای مقایسه با نمونه‌های کانی سازی شده به کار رفته است. محاسبات موازنه جرم (Mass balance) برای تعیین کمی تغییرات شیمیایی مراحل مختلف دگرسانی انجام شده است. با توجه به تحرک بسیار کم و تغییرات پایین Al_2O_3 در سنگهای میزبان رسوبی نسبتاً دگرسان شده، این عنصر به عنوان جزء نامتحرک، برای محاسبه موازنه جرم به کار برده شده است. در دگرسانی کلریتی، یک افزایش جرم در $Fe_2O_3^T$ و MgO و یک کاهش جرم در CaO ، Na_2O ، SiO_2 و K_2O وجود دارد. دگرسانی کربناتی با افزایش $Fe_2O_3^T$ و MgO و کاهش SiO_2 همراه بوده است که دلالت بر چیرگی آنکریت، سیدریت و دولومیت از میان کانیهای کربناتی دارد. SiO_2 در نمونه‌های سیلیسی شده، غنی و در دیگر انواع دگرسانی، تهی شده است. همراه با کائولینیتی شدن، تغییری در Pb ، Cu و Zn دیده نمی‌شود، اما این عناصر در سایر دگرسانیها غنی شده‌اند. Hg در تمامی دگرسانیها به استثنای دگرسانی کائولینیتی غنی شده است و حتی در بعضی نمونه‌ها تهی شدگی جزئی نشان می‌دهد. نمونه‌های گوسان، با دگرسانی سیلیسی، یک افزایش در Hg ، Pb ، Cu ، $Fe_2O_3^T$ ، SiO_2 و Zn و یک کاهش در CaO ، MgO ، Na_2O و K_2O نشان می‌دهند. تغییرات بالای مقادیر بعضی از عناصر کمیاب و اصلی در دگرسانیهای مختلف، پیچیده تر از آن هستند که تفسیر شوند، مانند Ni ، MnO ، P_2O_5 ، Rb و Co . در نمونه مرکب چهل کوره، غنی شدگی از LREE در مقایسه با HREE صورت گرفته است و یک تهی شدگی نسبی در مقدار Eu و Ho مشاهده می‌شود. به طور کلی، نمونه‌های همراه با دگرسانی کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی به طور توأم، دارای غنی شدگی از REE هستند، ولی در دیگر دگرسانیهای سنگهای دیواره مانند دگرسانیهای

دولومیتی، کلریتی، کائولینیتی، سیلیسی و سربسیتی از لحاظ REE تهی شدگی وجود دارد. بر اساس مطالعات انجام شده با دستگاه SEM-EDS، علت غنی شدگی REE در دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی را می توان حضور فسفاتهای حامل REE و Th، نظیر مونازیت دانست.

کلید واژه ها: مس، توربیدیت، توده نفوذی، موازنه جرمی، کانسار چهل کوره، ایران

Abstract

Chehelkureh copper deposit is located in Kuh-e-Lunka area, 120 km NW of Zahedan (SE of Iran). The host rocks of mineralization are intercalated Eocene turbiditic greywackes, siltstones, and shales (flysch). They are folded with N-S trend and the eastern limb of this fold has been drag folded. Several stocks and dykes of granodiorite to quartz monzodiorite and granite compositions intruded the turbidites, converting them locally to hornfels. These intrusions are oriented parallel to the major NW-SE fault set. The Chehelkureh ore field comprises numerous irregular lenses and veins. The ore field extends for 1500m in N23°W direction, and is displaced by late brittle faults striking roughly E-W. The fault and fracture filling ores include quartz, dolomite, ankerite, siderite, calcite, and lesser amounts of pyrrhotite, arsenopyrite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, Se-rich galena, marcasite, molybdenite, ilmenite, and rutile. Assay data from 39 drill holes show high contents of base metals, with an average of 1.48% Cu, 1.77% Zn, 0.85% Pb (4.1% Cu+Zn+Pb), and silver (average 22 ppm in 45 samples). The ores are not so enriched in gold (0.14 ppm on average in 45 samples). A composite sample of least-altered greywackes and shales (host rocks) is used for comparison with mineralized samples. Mass-balance calculations were carried out to quantify chemical changes resulting from different alteration episodes. With the low solubility and low variance of Al (Al₂O₃) in moderately altered sedimentary country rocks compared with many other immobile trace components, Al₂O₃ is used as an immobile component for mass-balance calculations. There is a net mass increase in Fe₂O₃T, and MgO and a net mass decrease in Na₂O, CaO, K₂O, and SiO₂ with chloritization. Carbonatization shows Fe₂O₃T, and MgO enrichment and SiO₂ and Na₂O depletion, implying that ankerite, siderite and dolomite are predominant phases. SiO₂ is enriched in silicified samples and depleted in other alteration types. There is no mass change in Cu, Pb and Zn with kaolinization, but these elements are enriched in other alteration types. Hg is enriched in all alteration types except kaolinization, which may even show a slight depletion. Samples from gossan with silicification showed an increase in SiO₂, Fe₂O₃T, Cu, Pb, Hg, and Zn and a decrease in MgO, Na₂O, CaO, and K₂O. Some trace and major elements have high variance in different alterations and are more complicated to interpret, such as P₂O₅, MnO, Ni, Co, and Rb. The REE contents of the composite host rock sample are enriched in the LREE relative to the HREE and moderately depleted in Eu and Ho. As a whole, samples with kaolinization and carbonatization (ankerite and siderite) have been enriched in REE contents and other wallrock alteration, including chloritization, dolomitization, kaolinization, minor sericitization, and silicification, are depleted in REE. SEM-EDS evidence indicates that enrichment of REE-bearing phosphates, such as monazite, occurred with carbonatization and kaolinization assemblages.

Keywords: Copper, Turbidite, Stocks, Mass Balance, Chehelkureh Ore Deposit, Iran

مقدمه

آباد گراغه ۳۵ کیلومتر و از روستای اسلام آباد گراغه تا معدن چهل کوره ۳۵ کیلومتر طول دارد.

آب و هوا در این منطقه، خشک و بیابانی و میانگین بارش سالانه آن ۱۰۰ میلی متر است. این معدن دارای آثار فراوان معدنکاری قدیمی (کارهای شدادی) می باشد. با استفاده از سن سنجی کربن ۱۴ (¹⁴C) بر روی بقایای زغال چوب موجود در سرباره های معدن، سن معدن کاری در چهل کوره به سالهای ۶۶۰ تا ۸۸۰ پس از میلاد مسیح، یعنی حدوداً ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ سال

معدن مس- روی- سرب چهل کوره در استان سیستان و بلوچستان، یکی از معادن باستانی ایران است. این معدن در ۱۲۰ کیلومتری شمال باختر زاهدان، در طول جغرافیایی E ۲۸/۸' ۰۷° ۶۰ و عرض جغرافیایی N ۱۴' ۹/۳° ۳۰ قرار دارد. ارتفاع بلندترین نقطه در محدوده معدن ۱۷۰۵ m و پست ترین نقطه ۱۵۹۵ m است. دسترسی به کانسار از طریق جاده آسفالت زاهدان- نصرت آباد، به طول ۵۰ کیلومتر و سپس جاده خاکی به طول ۷۰ کیلومتر است. این راه از آغاز جاده خاکی (تل سیاه) تا روستای اسلام

پیش برمی گردد (Movahhed Aval, 1974).

کانسار چهل کوره اهمیت اقتصادی فراوانی دارد و از لحاظ زمین شناسی اقتصادی نیز در ایران منحصر به فرد است، زیرا که یک کانسار فلزهای پایه با سنگ میزبان توریدیتی است. دگرسانی سنگ دیواره، پدیده‌ای متداول در کانسارهای گرمابی است. کانسارهای فلزهای پایه با سنگ میزبان توریدیتی، مانند چهل کوره، جلوه‌های مختلفی از دگرسانی را به نمایش می‌گذارند. دگرسانی هیپوژن در چهل کوره شامل دگرسانیهای کلریتی، کربناتی (آنکریت، سیدریت و دولومیت)، کائولینیتی، سیلیسی، سیرستی (به مقدار کم) و سولفیدی است. در این مقاله ضمن بررسی سنگ‌شناسی، بر روی تغییرات عناصر اصلی و فرعی، در دگرسانیهای موجود، در کانسار چهل کوره، با استفاده از روش موازنه جرم (Mass balance techniques) بحث می‌شود. علاوه بر این، رفتار REE در دگرسانیهای مختلف کانسار چهل کوره بررسی می‌شود.

۲- زمین شناسی منطقه ای

کانسار چهل کوره در رشته کوه لونکا واقع است که خود در ناحیه مرزی بین بلوک لوت و ناحیه فلیش (توریدیت) خاور ایران قرار دارد. سنگهای موجود در منطقه از سه بخش افیولیت، رسوبی و آذرین تشکیل یافته‌اند. در بخش رسوبی، بجز رسوبهای کواترنر، نهشته‌ای جوان‌تر از ائوسن وجود ندارد (سعیدی، ۱۳۶۵) (شکل ۱). رشته کوه لونکا-ملوسان، با راستای شمالی-جنوبی، بلندترین رشته کوه در منطقه است که دارای دو قله کوه لونکا، شامل نهشته‌های توریدیتی و قله ملوسان از گابرو است. بخش جنوبی، بیشتر از آمیزه افیولیتی و بخش شمالی از رسوبهای توریدیتی و نیز مقدار کمی سنگهای آمیزه افیولیت تشکیل شده‌اند (سعیدی، ۱۳۶۵).

سنگهای آذرین نفوذی در باخترگسل چهل کوره و بیشتر در رشته کوه لونکا - ملوسان نمایان است (واله و سعیدی، ۱۳۶۷). این توده‌ها شامل گرانودیوریت، مونزودیوریت و گرانیت هستند که به صورت توده‌های کوچک و بزرگ درون نهشته‌های توریدیتی به سن ائوسن نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). توده‌های نفوذی اطراف چهل کوره بیشتر از جنس مونزودیوریت و کوارتز مونزودیوریت و در اطراف کانسار پورچنگی (شمال چهل کوره) از جنس گرانودیوریت و در جنوب منطقه از جنس گرانیت هستند (Maanijou et al., 2006a). این توده‌های نفوذی به موازات امتداد گسلهای اصلی منطقه یعنی NW-SE پراکنده‌اند.

بررسیهای زمین شناسی بر روی توده‌های گرانیت کوه درنگو و اطراف روستای اسلام آباد گراغه نشان داده که آنها هم در سنگهای توریدیتی

ائوسن نفوذ نموده و آنها را قطع کرده و اثر دگرگونی روی آنها گذاشته و در همبری خود هورنفلس تشکیل داده‌اند. تعیین سن بیوتیت دو نمونه از این توده‌های گرانیت به روش پتاسیم-آرگون، سن 41.2 ± 1.5 و 40.9 ± 1.1 میلیون سال را به دست داده است که معادل ائوسن بالایی تا اولیگوسن است (Delaloye & Desmons, 1980).

سنگهای میزبان کانسار چهل کوره از جنس گری وک، سیلتستون، شیل و ماسه‌سنگ آهکی (همراه با مقدار کمی اجزای آتشفشانی) است که رخساره فلیشی (توریدیتی) دارند (شکل ۱) (واله و سعیدی، ۱۳۶۷). کانی سازی در چهل کوره، در واقع در امتداد کلی گسلهای منطقه صورت گرفته است و نواحی کانی سازی را می‌توان از روی گسلها و شکستگیها و همچنین گوسانهای آهنی به رنگ سرخ، پی‌گیری کرد. امتداد کلی توده‌های کانسنگ $W 23^{\circ}N$ است که توسط گسلهایی با امتداد تقریباً E-W جابه‌جا شده‌اند (Movahhed Aval, 1974; Maanijou et al., 2006b).

دگرسانیهای سیلیسی، کربناتی و برشی شدن همراه با کانی سازی در نزدیکی کارهای شدادی به خوبی قابل تشخیص است. کانسار چهل کوره دارای شکل پیچیده‌ای بوده و متشکل از رگه‌ها، عدسیها و اشکال نامنظم است (Movahhed Aval, 1974). کانی سازی شامل کوارتز، دولومیت، آنکریت، سیدریت و کلسیت، همراه با پیروتیت، ارسنوپیریت، پیریت، کلکوپیریت، اسفالریت، گالن، گالن غنی از Se، مارکازیت، مولیبدنیت، ایلمنیت و روتیل است. از میان آنها کلکوپیریت، اسفالریت و گالن از کانیهای دارای ارزش اقتصادی هستند که به صورت ریز تا متوسط دانه‌اند. به رغم مقادیر بالای میانگین عیار فلزهای پایه شامل ۱/۴٪ مس، ۱/۷۷٪ روی، ۰/۸۵٪ سرب (Cu+Zn+Pb ۴/۱٪) با توجه به داده‌های حاصل از ۳۵ گمانه (Movahhed Aval, 1974) و نقره (۲۲ ppm)، مقدار طلای موجود در آنها (با میانگین ۰/۱۴ ppm در ۴۵ نمونه) پایین است (Maanijou et al., 2006a,b).

۳- سنگ نگاری

مهم‌ترین سنگهای میزبان ماده معدنی به ترتیب اهمیت عبارتند از ماسه‌سنگ گری وکی، سیلتستون و شیل. رخنمونهایی از توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتز مونزودیوریت و گرانودیوریت در نزدیکی محدوده کانسار چهل کوره وجود دارد. در خارج از محدوده کانسار چهل کوره و در باختر آن یک توده نفوذی با ترکیب لوکوتونالیت نمونه (CH100) وجود دارد. علاوه بر این در بعضی گمانه‌ها، دایکهای لامپروفیری سنگهای رسوبی را قطع می‌کنند. ویژگیهای سنگ نگاری این سنگها به شرح زیر است:

۳-۱- ماسه سنگ

کدر و اسفن هستند (شکل ۲-د). دگرسانی در این سنگها اتفاق افتاده است و کانیهای دگرسانی مشتمل بر کلریت، کلسیت، سریسیت و کانی رسی می باشد. هورنبلند به کلسیت و کلریت تبدیل شده است. پلاژیوکلاز به سریسیت و کانی رسی تبدیل شده است.

دست کم ۱۵٪ سنگ را خمیره (Matrix) تشکیل می دهد. دانه های موجود در سنگ بین ۰/۱ تا ۰/۳ میلی متر قطر داشته و معرف ماسه بسیار دانه ریز تا دانه متوسط است. دانه های ماسه، زاویه دار تا نیمه زاویه دار و بیشتر از جنس کوارتز هستند، اما قطعات سنگی (سیلستون، شیل، چرت و به مقدار کمتر قطعات آتشفشانی)، فلدسپار و پروکسن نیز وجود دارند و از این رو سنگها از لیتیک گری وک (Lithic greywacke) تا فلدسپاتیک گری وک (Feldspathic greywacke) در تغییر هستند (شکلهای ۲-الف و ب). جنس خمیره بیشتر از رس تشکیل شده که توسط اکسید آهن رنگ آمیزی شده است. علاوه بر این، مقداری سیلیس نهان بلورین، کلریت و رس کربناتی نیز در خمیره وجود دارد. رس کربناتی هم باعث خوردگی بعضی دانه های کوارتز شده است. برخی کانیهای سنگین مانند تورمالین و اسفن نیز در آنها وجود دارند. نمونه ها فاقد تخلخل یا دارای تخلخل کمی هستند. مقداری سیمان کلسیتی هم وجود دارد.

۴- ژئوشیمی و روشهای تجزیه

در این مطالعه از انواع دگرسانیهای موجود در کانسار نمونه برداری شد که شامل نمونه برداری سطحی و نمونه برداری از چاههای حفاری است. سپس از نمونه های برداشته شده، تعدادی، با تأکید بیشتر بر نمونه های زیرزمینی برای تجزیه شیمیایی، انتخاب شد. همه نمونه های ژئوشیمیایی توسط شرکت ALS Chemex در کشور کانادا تجزیه شیمیایی شده اند. عناصر اصلی در نمونه ها، توسط روش XRF و با استفاده از ذوب لیتیم بورات اصلی (Lithium Borate Fusion) اندازه گیری شدند. عناصر جزئی و REE شامل ۳۸ عنصر نیز توسط ذوب لیتیم بورات و به روش ICP-MS اندازه گیری شدند. برای آزمون درستی اندازه گیریها، از دو استاندارد GM و GBW07106 استفاده شد و نشان دادند که میزان درستی (Accuracy) برای بیشتر عناصر جزئی، بخصوص HFSE کمتر از ۱۰٪ است، البته به استثنای عناصری که فراوانی آنها به حدود تشخیص دستگاه (Detection limits) نزدیک است.

۳-۲- سیلستون

اندازه دانه ها ۰/۰۴ میلی متر و زاویه دار تا نیمه زاویه دار است. جنس دانه ها به طور عمده کوارتز می باشد و دارای بیش از ۱۵ درصد خمیره از جنس کانیهای رسی و اکسید آهن است. این سنگ تقریباً بدون تخلخل است. در واقع بیشتر سنگهایی که در نمونه دستی شیل به نظر می رسند در زیر میکروسکوپ سیلستون هستند.

۵- ترکیب شیمیایی و موازنه جرم (Mass-balance) در دگرسانیهای

مختلف

ترکیب شیمیایی سنگهای میزبان رسوبی و معادل دگرسان شده آنها از گمانه ها تعیین شده اند (جدول ۱). محاسبات موازنه جرم، برای کمی کردن تغییرات شیمیایی حاصل از دگرسانیهای مختلف مانند دگرسانیهای کربناتی، سیلیسی، کلریتی و کائولینیتی سنگهای رسوبی و مناطق کانساری صورت پذیرفت (جدول ۲). نمونه مرکب (Composite sample) که در واقع، مخلوطی از ۵ نمونه گری وک و شیل، با کمترین دگرسانی از محدوده کانسار است، به عنوان مقایسه مورد استفاده قرار گرفته است. ترکیب شیمیایی دگرسانیهای کربناتی، سیلیسی، کلریتی و کائولینیتی در مقایسه با این نمونه ترکیبی، تشریح شده اند. روشهای موازنه جرم، برای تعیین گسترش دگرسانی و تحرک نسبی عناصر در مناطق به شدت دگرسان، و در یافتن روندهای شیمیایی در مناطق کانی سازی به کار گرفته شده اند. انتشار Ti و Zr در سنگهای رسوبی فرودیواره و فرادیواره بیانگر یک سنگ مادر ناهمگن است. فراوانی این گونه عناصر، احتمالاً توسط مقادیر نسبی اجزای

۳-۳- توده های نفوذی در محدوده چهل کوره

توده های نفوذی در محدوده چهل کوره از نوع کوارتزومونودیوریت تا گرانودیوریت هستند که به صورت توده های کوچکی در حاشیه محدوده کانسار رخمون دارند.

کوارتزومونودیوریت: بافت این سنگها نیمه وجه دار دانه ای است. کانیهای اصلی شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول (هورنبلند) و فلدسپار قلیایی (آلیت) است (شکل ۲-ج). کانیهای فرعی شامل کانیهای کدر و اسفن هستند. بلورهای پلاژیوکلاز دارای زون بندی بوده و معمولاً از مرکز بلور به سمت حاشیه سدیمی تر می شوند. هورنبلند به کلریت، اپیدوت و اکسید آهن تبدیل شده است. پلاژیوکلاز به سریسیت، رس و اپیدوت دگرسان شده است.

گرانودیوریت: بافت این سنگ نیمه وجه دار دانه ای است که به علت حضور درشت بلورهای پلاژیوکلاز حالت پورفیروید دارد. کانیهای اصلی آنها پلاژیوکلاز، کوارتز، فلدسپار قلیایی و آمفیبول بوده و کانیهای فرعی آنها

تهی شدگی دارد (شکل ۴-ب).
 به طور کلی در دگرسانی کلریتی افزایش $Fe_2O_3^T$ و MgO و کاهش K_2O و SiO_2 دیده می‌شود. با توجه به بررسیهای XRD کلریت دگرسانی، معلوم شده است که کلریت موجود در چهل کوره از نوع غنی از منیزیم یعنی کلینوکلر (Clinochlore) است. بنابراین طبیعی است که میزان MgO در دگرسانی کلریتی افزودگی نشان دهد. علاوه بر این، بیشتر کربناتهای مشاهده شده در دگرسانی کربناتی از نوع غنی از آهن (آنکریت و سیدریت) است. از این رو، در نمودار MgO ، تنها تعداد کمی از نمونه‌های کربناتی شده دارای افزودگی هستند. CaO نیز در انواع مختلف دگرسانها کاهش نشان می‌دهد و تنها در دگرسانهای کربناتی که کربنات آن دارای Ca باشد، افزایش نشان می‌دهد (شکل ۴-ج). معمولاً $Fe_2O_3^T$ در دگرسانهای مختلف، به دلیل حضور سولفیدهای دارای Fe (بویزه پیریت) و تا اندازه‌ای به خاطر کلریت و یا کربناتهای حاوی Fe (آنکریت و سیدریت) افزایش می‌یابد و در دگرسانهای سیلیسی و کائولینیتی کاهش می‌یابد (شکل ۴-د).
 Na_2O در انواع مختلف دگرسانی کاهش نشان می‌دهد که بیانگر تحرک Na در انواع مختلف دگرسانهای موجود در کانسار چهل کوره است (شکل ۴-ه). دگرسانی سریسیتی در کانسار چهل کوره گسترش بسیار محدودی دارد و بیشتر به صورت دگرسانی فرعی در بعضی نمونه‌ها دیده شده است. از این رو در این نمونه‌ها، یک افزودگی در میزان K_2O قابل مشاهده است و در سایر دگرسانها، یعنی کلریتی، کربناتی (سیدریت و آنکریت)، دولومیتی و کائولینیتی کاهش می‌یابد. Cu در تمامی انواع دگرسانها، به استثنای دگرسانی کائولینیتی، غنی شدگی دارد (شکل ۴-و). اگر چه در یک نمونه که از یک رخنمون سطحی سیلیسی شده گرفته شد، افزودگی در مقدار Cu مشاهده نشد که احتمالاً Cu از سطح شسته شده و به اعماق فرو رفته است. نکته قابل توجه اینکه نمونه‌های دارای دگرسانی کائولینیتی به هیچ وجه از خود تغییری در ارتباط با مقدار Cu نشان نمی‌دهند (شکل ۴-و).

Hg در انواع نمونه‌ها و دگرسانها غنی شدگی دارد، به استثنای دگرسانی کائولینیتی، که گاه، تهی شدگی هم نشان می‌دهد (شکل ۴-ز). افزودگی عمومی Hg در انواع دگرسانها نشان دهنده مفید بودن این عنصر به عنوان ابزاری در اکتشافات است. همچنان که پیش‌تر از این عنصر در اکتشافات لیتوژئوشیمیایی بسیاری از کانسارها استفاده شده است مانند کانسارهای فلزهای پایه (Fedikow and Amor, 1990; Lentz, 2005).

در مقدار عنصر Zn نیز همانند Cu هیچ‌گونه تغییری همراه با دگرسانی کائولینیتی دیده نمی‌شود. اما مقدار Zn در سایر دگرسانها دارای افزودگی است (شکل ۴-ح). در دگرسانی کربناتی، LOI (Loss On Ignition)، به

دانه ریز رسوبات کنترل می‌شود. آلومینیم معمولاً در دماهای پایین تا متوسط، شرایط گرمایی و دگرگونی درجه شیب سبز نامتحرک در نظر گرفته می‌شود. در مجموعه میکروکلین، مسکوویت و کوارتز، انحلال Al در آب را اندازه‌گیری کرده‌اند (Walther & Woodland, 1993; Walther, 1997) که از $10^{-3} \times 1/4$ مولال در 500 درجه سانتی‌گراد تا $10^{-4} \times 4/1$ مولال در 600 درجه سانتی‌گراد و 2 کیلو بار فشار تغییر می‌کند. با توجه به انحلال کم و تغییرات پایین Al (Al_2O_3) در سنگهای میزبان رسوبی نسبتاً دگرسان شده، در مقایسه با بسیاری اجزای کمیاب نامتحرک، Al_2O_3 به عنوان جزو نامتحرک، برای محاسبه موازنه جرمی به کار برده شده است.

نسبت غنی شدگی یا تهی شدگی عناصر توسط تصحیح تغییرات جرم و سپس محاسبه کردن تغییرات ترکیبی توسط مقایسه با سنگ مادر با کمترین دگرسانی تعیین شده است (cf. Gresens, 1967; Grant, 1986; Leitch & Lentz, 1994; Cail & Cline, 2001; Mori et al., 2003; Grant, 2005)، که در اینجا همان نمونه مرکب است. Al_2O_3 سنگ با کمترین دگرسانی ($C^O_{Al_2O_3}$) در مقایسه با معادل دگرسان شده ($C^A_{Al_2O_3}$) مقایسه می‌شود و برای تغییر در وزن مخصوص سنگ دگرسان (ρ^A) و سنگ با کمترین دگرسانی (ρ^O) تصحیح می‌شود تا ضریب حجمی (eq. 1) (f_v) محاسبه شود. ضریب حجمی عبارت است از:

$$f_v = C^O_{Al_2O_3} / C^A_{Al_2O_3} * (\rho^O / \rho^A) \quad (1)$$

در محاسبه نسبت واقعی موازنه جرمی ($\Delta Ci / C^O_i$) برای سنگ (Grant, 1986, 2005; eq. 6) داریم:

$$(\Delta Ci / C^O_i) = [(f_v)(\rho^O / \rho^A)(C^A_i / C^O_i) - 1] \quad (2)$$

با جایگزینی معادله (1) در معادله (2)، معادله (3) را خواهیم داشت:

$$(\Delta Ci / C^O_i) = (C^O_{Al_2O_3} / C^A_{Al_2O_3})(C^A_i / C^O_i) - 1 \quad (3)$$

۵-۱- رفتار عناصر اصلی و فرعی در دگرسانهای مختلف

مقاطع ترکیبی موازنه جرمی عناصر اصلی و فرعی در دگرسانهای مختلف سنگهای دیواره کانسار چهل کوره که در آنها نمونه‌ها، نسبت به نمونه مرکب با کمترین دگرسانی بهنجار شده‌اند، در شکل ۴ قابل مشاهده است. SiO_2 معمولاً در انواع مختلف دگرسانها، مانند دگرسانهای کائولینیتی، کلریتی و کربناتی کاسته شده، اما در نمونه‌های سیلیسی شده غنی شدگی دارند (شکل ۴-الف). در یک نمونه کائولینیتی، به طور استثنای افزودگی در میزان SiO_2 وجود دارد که دلیل آن حضور مقداری کوارتز همراه با کائولینیت می‌باشد. MgO در نمونه‌هایی با دگرسانهای کلریتی و کربناتی (از نوع غنی از Mg)، غنی شدگی دارد، اما در دگرسانهای سیلیسی و کائولینیتی

(Bierlien et al., 1999).

شکل ۵ الگوهای REE نمونه های دگرسان شده چهل کوره را در مقایسه با نمونه مرکب (Composite sample) نشان می دهد که نسبت به کندریت بهنجار شده اند. این الگوها در مورد دگرسانی سوپرژن (اکسایش) و سیلیسی (شکل ۵-الف) نسبت به نمونه مرکب نادگرسان، نشان دهنده الگوی مشابه اما با مقادیر کمتری از REE هستند. علاوه بر تهي شدگی REE در نمونه های دگرسان شده، بی هنجاری منفی نسبتاً بزرگی از Eu در یک نمونه قابل رؤیت است. الگوهای بهنجار شده REE نسبت به کندریت برای نمونه هایی با دگرسانی کربناتی (به طور عمده دولومیت) در مقایسه با نمونه مرکب چهل کوره نشان دهنده محتوی پایین تر REE است (شکل ۵-ب). الگوهای REE در نمونه های کلریتی شده در چهل کوره نسبت به نمونه دگرسان نشده مرکب دارای تهي شدگی است (شکل ۵-ج). یک تهي شدگی عمومی در محتوی REE همراه نمونه های دارای دگرسانی کائولینیتی در چهل کوره دیده می شود (شکل ۵-د).

نمونه های دارای دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی سنگهای دیواره، در مقایسه با نمونه مرکب کانسار چهل کوره، دارای غنی شدگی هستند (شکل ۵-ه). نمونه های دارای این گونه دگرسانی توسط دستگاه SEM-EDS بررسی شدند و در آنها حضور فسفاتهای حامل REE و Th به اثبات رسید. شکل ۶ کانیهای موناژیت را نشان می دهد که در میان گالن غنی از سلنیم قرار دارند. این نمونه دارای دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی می باشد که مقداری کانی سازی سرب و REE هم در آنها صورت پذیرفته است. بنابراین می توان علت غنی شدگی REE در دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی را در حضور فسفات حاوی REE و Th مانند موناژیت دانست، که همراه با دگرسانی و کانی سازی به وجود آمده اند. نمونه ای از تجزیه SEM-EDS این کانی در جدول ۳ آمده است. در این تجزیه، به علت ریز بودن موناژیت و قرار داشتن آن در میان کربنات، مقدار اکسیدهای آهن و منیزیم و کلسیم بیشتر اندازه گیری شده است. تجزیه ژئوشیمیایی کلی نمونه ها، مطالعات SEM-EDS، شواهد بافتی، و عدم غنی شدگی REE در سایر دگرسانیها بیانگر آن است که این موضوع نمی تواند حاصل موناژیت آواری باشد. بلکه حاصل دگرسانی و کانی سازی و تشکیل موناژیت گرمایی است. پس به طور کلی نمونه های همراه با دگرسانی کربناتی (آنکریت و سیدریت) و کائولینیتی به طور توأم، در محتوی REE غنی شدگی یافته اند، ولی در سایر دگرسانیهای سنگ دیواره، همچون دگرسانی دولومیتی، کلریتی، کائولینیتی، سیلیسی و سریستی از لحاظ REE تهي شدگی نشان می دهند.

خاطر مقدار بالای کربنات (دولومیت، آنکریت و سیدریت) زیاد است و در نمونه های بسیار سیلیسی شده کاهش می یابد. Pb تنها در بعضی دگرسانیها مانند دگرسانی کلریتی و سیلیسی افزایش می یابد. تعدادی از عناصر و اکسیدهای اصلی و فرعی دارای تغییرات زیادی در انواع مختلف دگرسانیها هستند و تفسیر آنها پیچیده است مانند Rb، Ni، MnO، P₂O₅، TiO₂، Co. در ماسه سنگهای منطقه چهل کوره، فسفر به صورت آپاتیت و موناژیت در مقاطع نازک و همچنین توسط روش SEM-EDS تشخیص داده شده است. تغییر جرمی P₂O₅ نامنظم است و می تواند بیانگر تحرک فسفر و یا توزیع نامتجانس آن در سنگهای اولیه دگرسان شده باشد (جدول ۲).

۶- محتوی REE گری وک و شیل در چهل کوره

یک نمونه مرکب (Composite sample) از ۵ نمونه گری وک و شیل منطقه چهل کوره (سنگهای میزبان) با کمترین دگرسانی، برای مقایسه به کار رفته است. الگوی REE در گری وک و شیل منطقه چهل کوره (شکل ۴) شبیه شیل آمریکای شمالی (Haskin et al., 1968; Gromet et al., 1984) (North American Shale Composite) NASC است که نسبت به کندریت، بهنجار شده اند (Watika, 1971; Henderson, 1984). با این تفاوت که نمودار، اندکی به سمت پایین قرار گرفته و دارای محتوی پایین تری از REE است. برای مقایسه بهتر الگوی REE مربوط به میانگین شیل پس از آرکئن (Post Archean Average Shale (PAAS)) نیز در شکل ۴ نشان داده شده است. در نمونه مرکب چهل کوره، غنی شدگی از LREE در مقایسه با HREE صورت گرفته است و یک تهي شدگی نسبی در مقدار Eu و Ho دیده می شود.

۷- رفتار REE و HFSE در حین دگرسانی گرمایی در کانسار چهل کوره

همانگونه که توسط Alderton et al. (1980) توصیف شده است، افزودگی و کاهیدگی (Gains and losses) تا دو برابر در حین دگرسانی، به طور عمده توسط عوامل زیر کنترل می شوند: ۱) تمرکز REE در کانیهای فعال در واکنش ۲) پایداری نسبی این کانیها در سیال ۳) مکانهای قابل دسترس در کانیهای ثانویه برای انطباق REE آزاد شده در هنگام دگرسانی ۴) تمرکز REE در سیال وارد شونده و ۵) توانایی سیال جهت زدودن REE از سیستم. در نتیجه انتظار می رود که یک انطباق بین سنگ اولیه، تجمعات دگرسانی، خصوصیات فیزیکی شیمیایی محلول تشکیل دهنده کانسنگ، نسبتهای سیال به سنگ (fluid/rock) و الگوی REE حاصل وجود داشته باشد

این روش برای موناژیت، به سن بیشتر از ۱۰۰ میلیون سال مناسب است (Montel et al., 1996; Hall, pers. com).

۸- نتیجه گیری

کانسار چهل کوره از نظر زمین‌شناسی اقتصادی در ایران منحصر به فرد است چرا که یک کانسار فلزهای پایه با سنگ میزبان توریدیتی و منشأ آن در ارتباط با فعالیت آذرین است. سنگهای میزبان کانسار چهل کوره گری وک، سیلستون و شیل با رخساره فلیشی (توریدیتی) است. کانی سازی در چهل کوره، در امتداد کلی گسلهای منطقه صورت گرفته و امتداد کلی کانی سازی $N23^{\circ}W$ است. این کانی سازی توسط گسلهایی با امتداد تقریبی E-W جابه‌جا شده است.

دگرسانیهای کلریتی، دولومیتی، کربناتی (آنکریت، دولومیت، سیدریت)، کائولینیتی، سیلیسی، سریسیتی (به مقدار کم) و سولفیدی در چهل کوره وجود دارند. روشهای موازنه جرم، برای تعیین گسترش دگرسانی و تحرک نسبی عناصر در مناطق دگرسان کانسار چهل کوره به کار گرفته شده اند و نتایج خوبی از این مطالعات به دست آمده است. با توجه به انحلال کم و تغییرات پایین Al (Al_2O_3) در سنگهای میزبان رسوبی نسبتاً دگرسان شده، در مقایسه با بسیاری اجزای کیمیا نامتحرک، Al_2O_3 به عنوان جزء نامتحرک، برای محاسبه موازنه جرم به کار برده شده است.

نمونه مرکب که در واقع نمونه ای ترکیبی از گری و کها و شیلهای با کمترین دگرسانی از محدوده کانسار است، به عنوان نمونه ای با کمترین دگرسانی سنگهای دیواره در نظر گرفته شده، تا به عنوان مقایسه با سایر نمونه های دگرسان شده از آنها استفاده شود. با توجه به نتایج به دست آمده SiO_2 معمولاً در انواع مختلف دگرسانیها کاسته شده، اما در نمونه های سیلیسی شده غنی شدگی دارد. به طور کلی در دگرسانی کلریتی، افزایش $Fe_2O_3^T$ و MgO و کاهش K_2O و SiO_2 دیده می شود. با توجه به بررسیهای به عمل آمده از کلریت دگرسانی، معلوم شده است که کلریت موجود در چهل کوره از نوع غنی از منیزیم، یعنی کلینوکلراست. بنابراین طبیعی است که میزان MgO در دگرسانی کلریتی از خود افزودگی نشان دهد. به طور معمول $Fe_2O_3^T$ در دگرسانیهای مختلف، به دلیل حضور سولفیدهای دارای Fe (بویژه پیریت) و تا اندازه ای به خاطر کلریت و یا کربناتهای حاوی Fe (آنکریت و سیدریت) افزایش می یابد و در دگرسانیهای سیلیسی و کائولینیتی کاهش می یابد. Na_2O در انواع مختلف دگرسانی کاهش نشان می دهد که بیانگر تحرک Na در انواع مختلف دگرسانیهای موجود در کانسار چهل کوره است. CaO نیز در انواع مختلف دگرسانیها کاهش نشان می دهد و تنها در دگرسانی کربناتی افزایش یافتگی نشان می دهد. Cu در تمامی

بیشتر نهشته های REE دست کم دارای اجزایی گرمابی هستند و بسیاری از آنها کاملاً یا عمدتاً توسط فرایندهای گرمابی تشکیل شده اند (Wood, 2004; Samson & Wood, 2004). دانش ما در مورد پایداری فسفاتها در محلولهای آبی در محدوده ای وسیع از دما و فشار، محدود است و باید رفتار در سیالهای موجود در پوسته بیشتر مطالعه شود (Cetiner et al., 2005; Wood, 2006). تحقیقات اخیر در مورد سامانه زمین گرمایی قاره ای مربوط به نیوزیلند و باختر آمریکا (Wood, 2003, 2006) نشان داده است که غلظت REE در آبهای نزدیک خنثی تا همراه کمی بیکربنات، عموماً پایین است (10^{-3} تا 10^{-7} بار کندریت، یعنی به میزان کمتر از چند ppb تا کمتر از چند ppt). این مطالعات نشان داده است که در pH پایین تر، غلظت لیگاندهای کمپلکسی قوی بالاتر خواهد بود، یا دمای بالاتر از دماهای معمول سامانه زمین گرمایی مورد نیاز است تا توانایی سیالهای گرمابی را برای حمل مقادیر کافی REE فراهم سازد و قادر باشد غنی شدگی دیده شده در تعدادی از ذخایر گرمابی را توضیح دهد (Wood, 2003, 2006). در چهل کوره محلولهای گرمابی دارای دماهای بالا ($450^{\circ}C$) (Maanijou et al., 2006a)، و لیگاندهای کربنات، کلرید، و فسفات هستند که می توانند با REE کمپلکس تشکیل داده و در نتیجه قادر به حمل مقادیر کافی REE می باشند. لیگاندهایی که می توانند با REE کمپلکس تشکیل دهند و بنابر این انحلال پذیری آنها را افزایش دهند شامل کربنات، کلرید، فلورید، هیدروکسید، فسفات و سولفات هستند. متأسفانه ثابتهای پایداری در دماهای بالا، به طور تجربی فقط برای کمپلکسهای کلرید و هیدروکسید اندازه گیری شده است. این اندازه گیریها نیز به دمای تا ۳۰۰ درجه و کمتر محدود است و بیشتر داده های موجود مربوط به یک عنصر REE مانند Nd است (Wood, 2004, 2006). ولی از داده های موجود می توان نتیجه گیری نمود که در دماهای بالا در چهل کوره و حضور لیگاندهای کربنات، کلرید، و فسفات (با توجه به شواهد کانی شناسی) شرایط برای کانی سازی گرمابی REE فراهم بوده است.

موناژیت و زنونایم برای زمین گاهشماری (ژئوکرونولوژی) U-Th-Pb در محیطهای آذرین، دگرگونی، رسوبی و گرمابی بسیار مورد توجه هستند (Vielreicher et al., 2003; Cetiner et al., 2005). با اثبات حضور موناژیت گرمابی، در کانی سازی چهل کوره، یکی از روشهای تعیین سن این کانی سازی می تواند تجزیه ریزکاو الکترونی (میکروپروپ) موناژیت و تعیین سن تشکیل آن باشد، و در نظر بود که این کار انجام شود. اما با توجه به اینکه سنگهای توریدیت میزبان، دارای سن ائوسن هستند و سن کانی سازی، به طور قطع پس از ائوسن است، لذا این روش پاسخگو نخواهد بود.

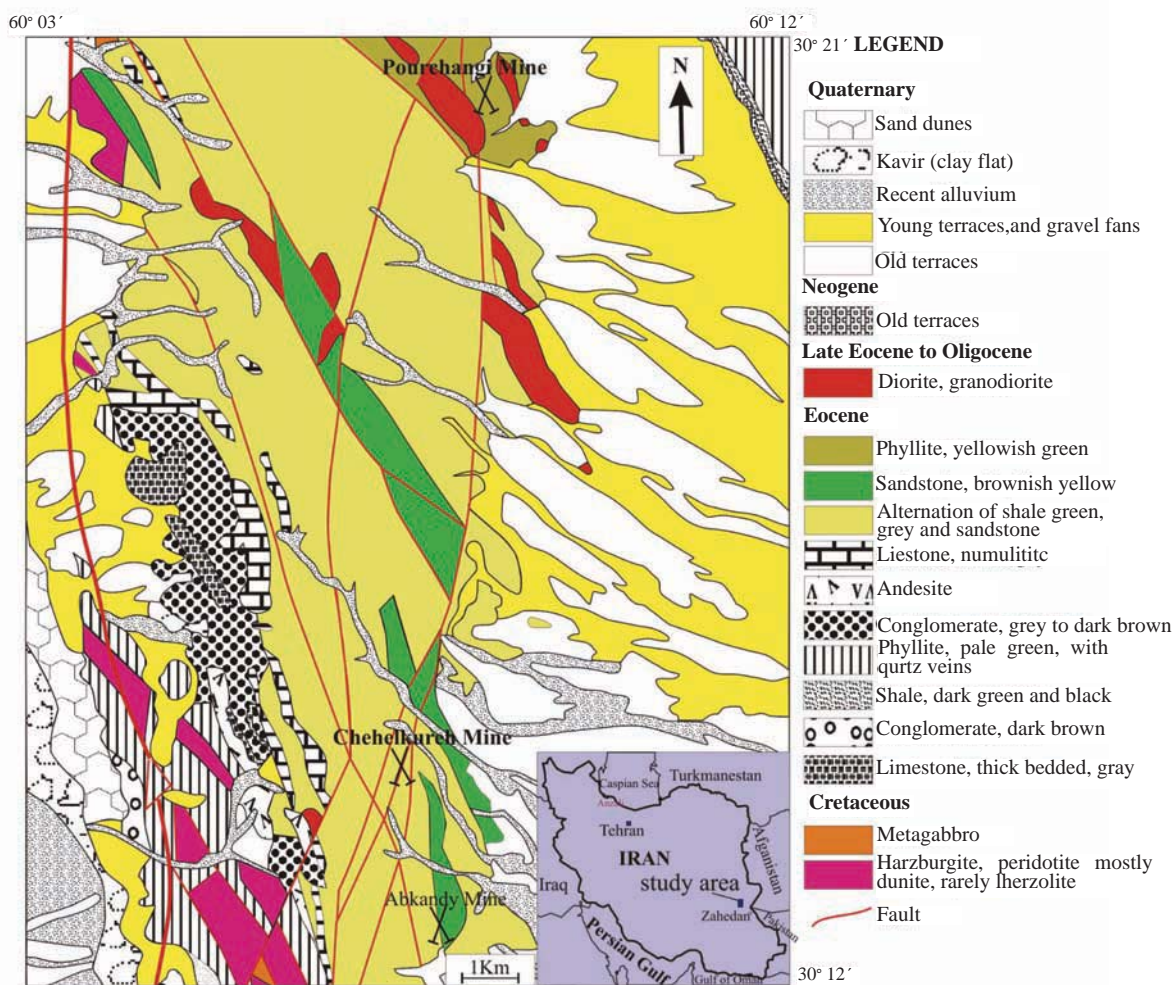
سایر دگرسانها بیانگر آن است، که این موضوع نمی تواند حاصل موناژیتهای آواری باشد، بلکه حاصل دگرسانی و کانی سازی و تشکیل موناژیتهای گرمابی است. در چهل کوره محلولهای گرمابی دارای دمای بالا (۴۵۰°C)، و لیگاندهای کربنات، کلرید، و فسفات هستند که می توانند با REE کمپلکس تشکیل داده و در نتیجه قادر به حمل مقادیر کافی REE هستند. از این رو شرایط برای کانی سازی گرمابی REE فراهم بوده است و موناژیتهای گرمابی تشکیل شده اند.

۹- سپاسگزاری

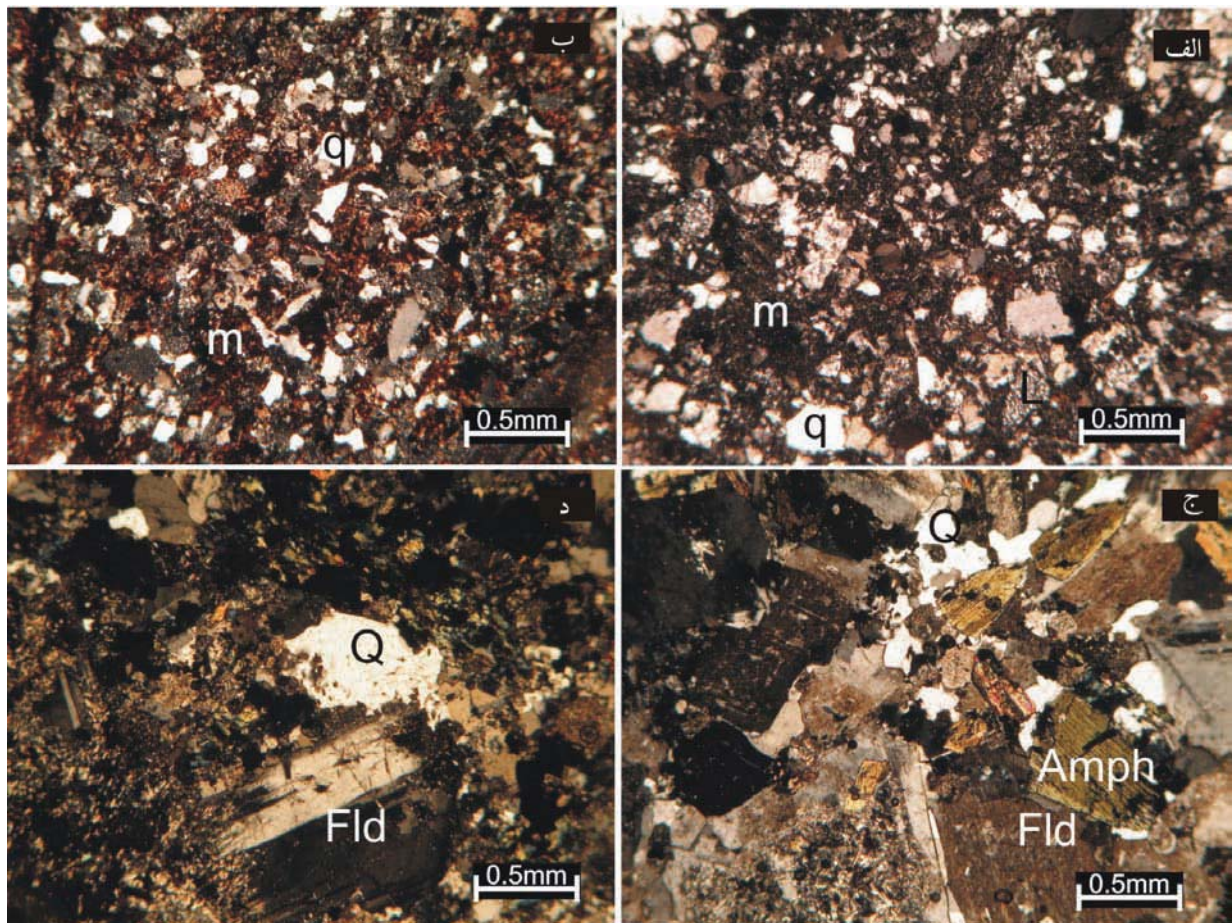
از شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر توجه و کمکهای مالی، صمیمانه سپاسگزاری می شود. از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی هم تشکر می شود که از این پژوهش، در قالب طرح پژوهشی شماره ۶۰۰/۳۲۳۸ حمایت مالی کرد. از دانشگاه نیوبرانزویک کانادا هم جهت اجازه استفاده از امکانات سپاسگزاری به عمل می آید.

انواع دگرسانها، به استثنای کائولینیتی شدن، غنی شدگی دارد. Hg در انواع نمونه ها و دگرسانها غنی شدگی دارد، بجز دگرسانی کائولینیتی که گاهی تهی شدگی هم نشان می دهد. برخی از عناصر اصلی و جزئی، دارای تغییرات زیادی در انواع مختلف دگرسانها هستند و تفسیر آنها پیچیده است مانند Rb, TiO₂, P₂O₅, MnO, Ni, Co.

الگوی REE در سنگهای گری و ک و شیل چهل کوره شبیه سنگهای شیل آمریکای شمالی (NASC) است که نسبت به کندریت، بهنجار شده اند. مقادیر REE دگرسانهای مختلف در مقایسه با نمونه مرکب چهل کوره، نشان دهنده آن است که به طور کلی نمونه های همراه با دگرسانی کربناتی (آنکریت و سیدریت) و کائولینیتی به طور توأم، در محتوی REE غنی شدگی یافته اند. ولی در سایر دگرسانهای سنگ دیواره، همچون دولومیتی، کلریتی، کائولینیتی، سیلیسی و سرسیتی تهی شدگی نشان می دهند. تجزیه ژئوشیمیایی کلی نمونه ها، مطالعات SEM-EDS، شواهد بافتی، و عدم غنی شدگی REE در



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه چهل کوره (با تغییر از واله و سعیدی، ۱۳۶۷).



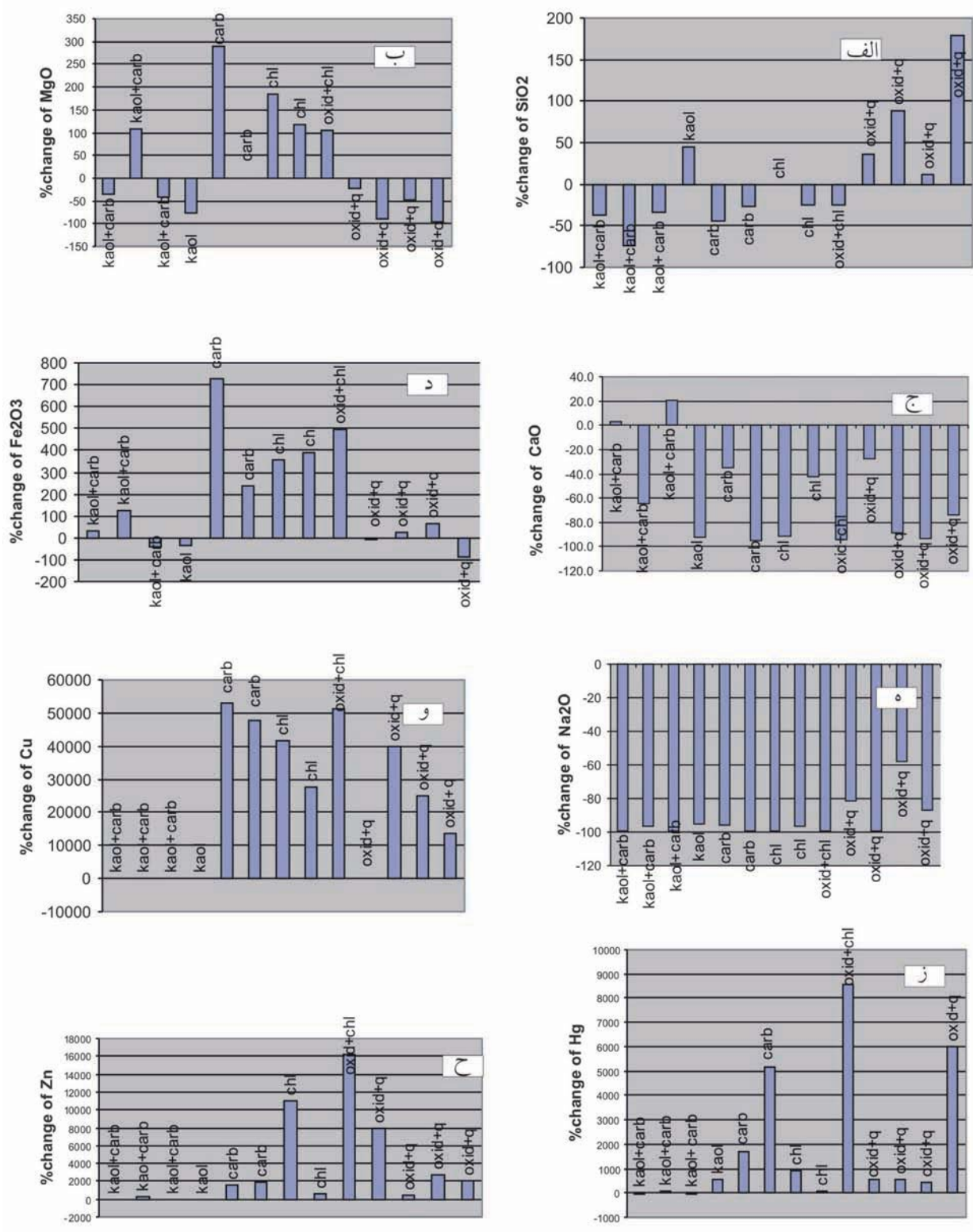
شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های موجود در منطقه چهل کوره، در نور XPL الف) ماسه سنگ لیتیک گری و کی در کانسار چهل کوره، دانه های ماسه و قطعات سنگی در زمینه ای از رس و اکسید آهن قرار دارند. ب) گری و ک در کانسار چهل کوره، ذرات در زمینه ای از رس و اکسید آهن قرار دارند. ج) کوارتز مونزودیوریت در کانسار چهل کوره، کانیهای پلاژیو کلاز، آمفیبول (هورنبلند) و کوارتز قابل مشاهده است د) گرانودیوریت در کانسار چهل کوره، کانیهای پلاژیو کلاز و کوارتز قابل رؤیت می باشند. Q=Quartz; m=matrix; L=lithic sand; Amph=amphibole; Fld=Felspar.

جدول ۱ - نتیجه تجزیه شیمیایی سنگهای میزبان کانسار مس چهل کوره، نتایج برای اکسیدهای اصلی بر حسب درصد و برای عناصر کمیاب و جزئی بر حسب ppm بیان شده است.

SAMPLE	COM	A3-110	A3-146	A3-171	A3-185	A6-16	A6-101	A6-141	A6-143	A6-179	CH-62	CH-109	CH-112	CH-123
SiO2	60.87	37.61	50.21	19.72	76.18	54.82	35.84	46.03	22.31	41.79	67.28	77.5	65.56	85.85
Al2O3	12.54	10.53	16.39	7.27	10.79	17.01	9.75	9.47	17.55	11.61	10.2	8.51	12.06	6.35
Fe2O3	5.76	16.27	9.9	27.55	3.23	4.48	26.59	19.74	18.19	26.23	4.24	4.96	9.27	0.31
CaO	4.5	3.89	2.11	3.14	0.31	3.95	0.18	0.28	3.61	0.23	2.64	0.35	0.31	0.6
MgO	3.36	2.82	2.83	7.6	0.67	2.7	5.38	7.23	9.84	6.74	2.09	0.25	1.72	0.09
Na2O	2.15	0.01	0.09	0.01	0.09	0.12	0.01	<0.01	0.1	<0.01	0.33	<0.01	0.87	0.14
K2O	2.25	7.8	1.89	0.06	0.16	4.47	0.16	0.07	0.02	0.12	5.81	1.93	4.26	4.48
Cr2O3	0.05	<0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.06	<0.01
TiO2	0.66	0.5	0.74	0.39	0.55	0.81	0.46	0.46	0.76	0.57	0.5	0.53	0.64	0.4
MnO	0.11	0.11	0.24	0.25	0.07	0.11	0.19	0.37	0.39	0.34	0.16	0.03	0.09	<0.01
P2O5	0.11	0.11	0.12	0.07	0.09	0.17	0.05	0.11	0.06	0.12	0.1	0.08	0.14	0.04
SrO	0.03	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
BaO	0.05	0.17	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.03	0.01	<0.01	<0.01	0.11	0.05	0.06	0.03
LOI	6.99	13.15	14.85	2.5	7.17	10.85	17.55	13.1	27.1	10.4	5.82	4.29	4.57	1.77
Total	99.42	92.98	99.43	91.06	99.33	99.53	96.22	96.89	99.97	98.15	99.31	98.51	99.61	100.1
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4	1	<1	<1	<1	<1	4	1
Ba	482	1350	103.5	13.5	44.6	195	295	126	16.8	27.7	998	407	467	274
Ce	41.8	25.2	54.3	14.9	33.5	54.3	29.1	35	73.6	38.4	30.4	26.9	41.8	26.3
Co	14.9	11.3	21.4	10.1	13	23.7	71.7	62.3	12.6	72.9	6.3	39.1	7.5	0.7
Cr	170	100	160	90	110	110	60	120	120	110	110	100	150	30
Cs	2.2	1	1.6	0.4	0.4	7.4	2.7	0.1	0.1	0.3	1	0.9	1	1
Cu	25	>10000	59	7710	22	76	>10000	7850	9	6460	56	6750	6030	1745
Dy	3.3	2	4.7	1.4	3.1	4.2	2.3	2.9	4.5	2.8	2.9	2.1	3.2	1.4
Er	2	1.3	2.7	0.8	1.9	2.6	1.5	1.8	2.8	1.8	1.7	1.3	1.9	0.8
Eu	1	1	1.1	0.5	0.5	1	0.2	0.6	0.6	0.5	0.9	0.9	1	0.4
Ga	13	6	17	10	12	19	12	12	20	17	8	12	11	4
Gd	3.7	2.1	4.9	1.6	3.1	4.8	2.6	3.1	5.5	3.2	2.9	2.4	4.2	2.2
Hf	5	3	4	4	4	3	3	3	6	4	4	4	2	2
Ho	0.6	0.4	1	0.3	0.7	0.9	0.5	0.6	0.9	0.6	0.6	0.4	0.6	0.3
La	21	15.8	27.6	7	16.9	26.3	13.5	18.8	43.4	21.1	17.1	14.2	19.8	11
Lu	0.3	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.5	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1
Mo	<2	2	2	7	2	2	3	<2	<2	<2	2	2	<2	<2
Nb	8	5	10	5	7	10	6	6	15	7	6	5	8	4
Nd	18.4	10.7	23.6	7	15.5	24.8	13.6	15.6	30.8	16.6	14	12	19.1	12.8
Ni	75	102	161	38	63	95	43	67	49	136	49	34	86	5
Pb	24	17	12	16	16	44	350	28	12	16	29	27	592	3150
Pr	4.9	2.9	6.2	1.8	4.1	6.5	3.5	4.1	8.5	4.4	3.6	3.2	4.9	3.1
Rb	70.7	112	69.9	1.4	4.1	165	4.7	2	0.4	2.6	106.5	55.8	91	90.1
Sm	3.6	2.1	4.8	1.6	3.2	5.1	2.8	3.3	5.7	3.5	3	2.3	3.9	2.5
Sn	3	70	8	21	7	2	18	22	18	25	3	22	7	10
Sr	206	139.5	88.7	53.3	9.4	71.8	254	15	68.2	4.9	102	33.9	121	114
Ta	0.6	<0.5	0.8	<0.5	0.5	0.7	<0.5	<0.5	1.2	0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5
Tb	0.6	0.3	0.8	0.2	0.5	0.7	0.4	0.4	0.8	0.5	0.3	0.3	0.6	0.3
Th	8	5	11	5	7	11	6	6	15	8	6	5	8	4
Tl	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	0.6	0.6
Tm	0.3	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
U	1.7	1.2	6.9	1	1.5	1.9	2.1	1.5	3.2	1.7	1.6	1.7	1.7	2.3
V	112	45	144	49	54	136	65	87	133	99	82	80	102	20
W	3	6	3	3	3	2	5	7	7	23	3	3	3	3
Y	19.4	12.6	28	8.5	19.2	24.6	14.6	17.4	26.4	16.6	18.2	12.4	17	7.7
Yb	1.9	1.3	2.6	0.9	1.8	2.5	1.4	1.6	2.8	1.7	1.6	1.3	1.8	0.8
Zn	75	1240	74	715	49	79	9480	6310	315	518	4860	261	2050	798
Zr	159	100.5	120	64.8	147	133	97.1	107.5	185	114.5	136.5	127.5	92.3	51
Hg	0.02	0.88	0.02	0.21	0.11	0.02	1.35	0.15	0.05	0.03	0.11	0.09	0.1	0.62

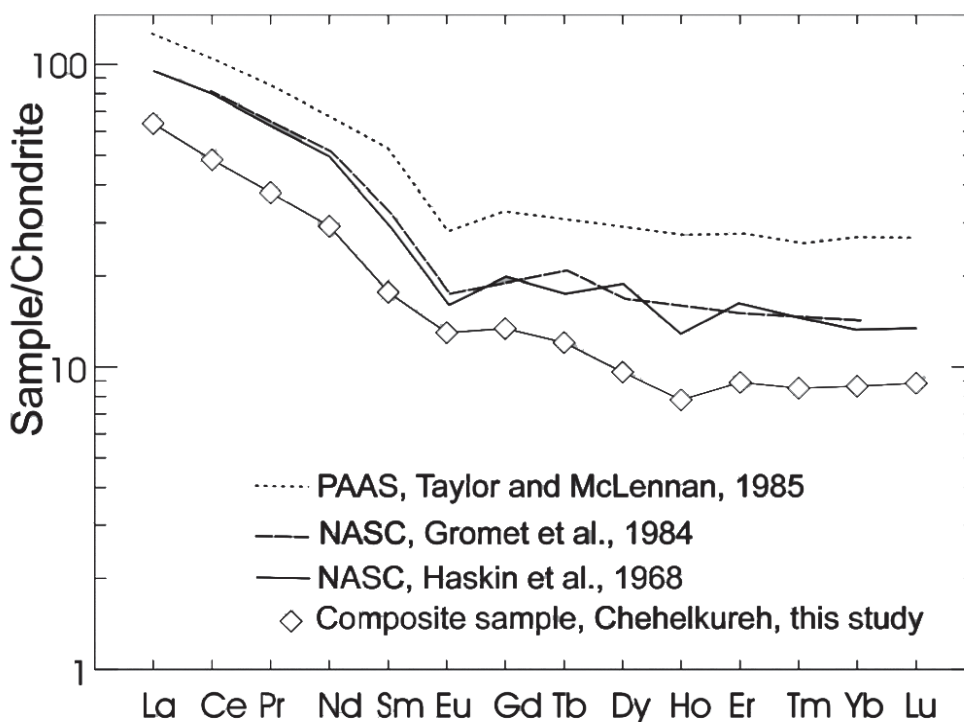
جدول ۲- داده‌های تغییر جرم (Mass change data) مربوط به نمونه‌های کانسار مس چهل کوره بر حسب درصد با فرض نامتحرک بودن Al.

SAMPLE	A3-110	A3-146	A3-171	A3-185	A6-16	A6-101	A6-141	A6-143	A6-179	CH-62	CH-109	CH-112	CH-123
SiO2	-26	-37	-44	45	-34	-24	0.1	-74	-26	36	88	12	179
Al2O3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe2O3	236	32	725	-35	-43	494	354	126	392	-10	27	67	-89
CaO	2.9	-64	20	-92	-35	-95	-92	-43	-94	-28	-89	-93	-74
MgO	0	-36	290	-77	-41	106	185	109	117	-24	-89	-47	-95
Na2O	-99	-97	-99	-95	-96	-99	-99	-97	-99	-81	-99	-58	-87
K2O	313	-36	-95	-92	46	-91	-96	-99	-94	217	26	97	293
Cr2O3	-76	-69	-66	-77	-85	-74	-74	-71	-78	-75	-71	25	-61
TiO2	-10	-14	1.9	-3	-9.5	-10.4	-7.7	-18	-6.7	-6.9	18	0.8	20
MnO	19	67	292	-26	-26	122	345	153	234	79	-60	-15	-82
P2O5	19	-17	9.8	-5	14	-42	32	-61	18	12	7.2	32	-28
SrO	-60	-74	-43	-61	-75	-14	-56	-76	-64	-59	-51	-65	32
BaO	305	-69	-66	-77	-71	-23	-74	-86	-78	170	47	25	18
LOI	124	63	517	19	14	223	148	177	61	2.4	-10	-32	-50
Total	11	-23	58	16	-26	24	29	-28	6.6	23	46	4.2	99
Ag	19	-23	72	16	-26	414	32	-29	8.0	23	47	316	97
Ba	234	-84	-95	-89	-70	-21	-65	-98	-94	155	24	0.7	12
Ce	-28	-0.6	-39	-7	-4.2	-10	11	26	-0.8	-11	-5.2	4.0	24
Co	803	10	1069	1	17	519	454	-40	428	-48	287	-48	-91
Cr	-30	-28	-8.7	-25	-52	-55	-6.5	-50	-30	-20	-13	-8.3	-65
Cs	-46	-44	-69	-79	148	58	-94	-97	-85	-44	-40	-53	-10
Cu	47535	81	53096	2	124	51346	41479	-74	27810	175	39686	24980	13684
Dy	-28	9.0	-27	9	-6.2	-10	16	-3	-8.4	8.0	-6.2	0.8	-16
Er	-23	3.3	-31	10	-4.2	-3.5	19	0	-2.8	4.5	-4.2	-1.2	-21
Eu	19	-16	-14	-42	-26	-74	-21	-57	-46	11	33	4.0	-21
Ga	-45	0.1	33	7	7.7	19	22	10	41	-24	36	-12	-39
Gd	-32	1.3	-25	-3	-4.4	-10	11	6	-6.6	-3.6	-4.4	18	17
Hf	-29	-39	-31	-7	-41	-23	-21	-14	-14	-1.6	18	-38	-21
Ho	-21	28	-14	36	11	7.2	32	7	8.0	23	-1.8	4.0	-1.3
La	-10	0.6	-43	-6	-7.7	-17	19	48	8.5	0.1	-0.4	-2.0	3.4
Lu	-21	2.0	-43	16	-1.7	-14	32	19	8.0	23	-1.8	-31	-34
Mo	19	-23	504	16	-26	93	32	-29	8.0	23	47	4.0	97
Nb	-26	-4.4	7.8	2	-7.8	-3.5	-0.7	34	-5.5	-7.8	-7.9	4.0	-1.3
Nd	-31	-1.9	-34	-2	-0.6	-4.9	12	20	-2.6	-6.5	-3.9	7.9	37
Ni	62	64	-13	-2	-6.6	-26	18	-53	96	-20	-33	19	-87
Pb	-16	-62	15	-23	35	1776	54	-64	-28	49	66	2465	25819
Pr	-30	-3.2	-37	-3	-2.2	-8	11	24	-3.0	-10	-3.8	4.0	25
Rb	89	-24	-97	-93	72	-91	-96	-100	-96	85	16	34	152
Sm	-31	2.0	-23	3	4.4	0.03	21	13	5.0	5.9	-5.9	13	37
Sn	2679	104	1107	171	-51	672	871	329	800	23	981	143	558
Sr	-19	-67	-55	-95	-74	59	-90	-76	-97	-39	-76	-39	9.3
Ta	-0.8	2.0	44	-3	-14	7	10	43	-10	2.5	23	-13	65
Tb	-40	2.0	-43	-3	-14	-14	10	-5	-10	2.5	-26	4.0	-1.3
Th	-26	5.2	7.8	2	1.4	-3.5	-0.7	34	8.0	-7.8	-7.9	4.0	-1.3
Tl	19	-23	72	16	-26	29	32	-29	8.0	23	47	25	137
Tm	-21	2.0	-43	16	-1.7	-14	32	-5	8.0	23	-1.8	-31	-34
U	-16	211	1.5	3	-18	59	17	34	8.0	16	47	4.0	167
V	-52	-1.6	-25	-44	-10	-25	2.9	-15	-4.5	-10	5.3	-5.3	-65
W	138	-23	72	16	-51	114	209	67	728	23	47	4.0	97
Y	-23	10	-24	15	-6.5	-3.2	19	-3	-7.6	15	-5.8	-8.9	-22
Yb	-19	4.7	-18	10	-3.0	-5.2	12	5	-3.4	3.5	0.8	-1.5	-17
Zn	1869	-25	1544	-24	-22	16157	11041	200	646	7867	413	2742	2001
Zr	-25	-42	-30	7	-38	-21	-10	-17	-22	5.5	18	-40	-37
Hg	5140	-23	1711	539	-26	8582	893	79	62	576	563	420	6022



شکل ۳ - نمودارهای افزودگی و کاهشگی (Gain and loss) اکسیدهای اصلی و عناصر مختلف در نمونه سنگهای دگرسان شده کانسار مس

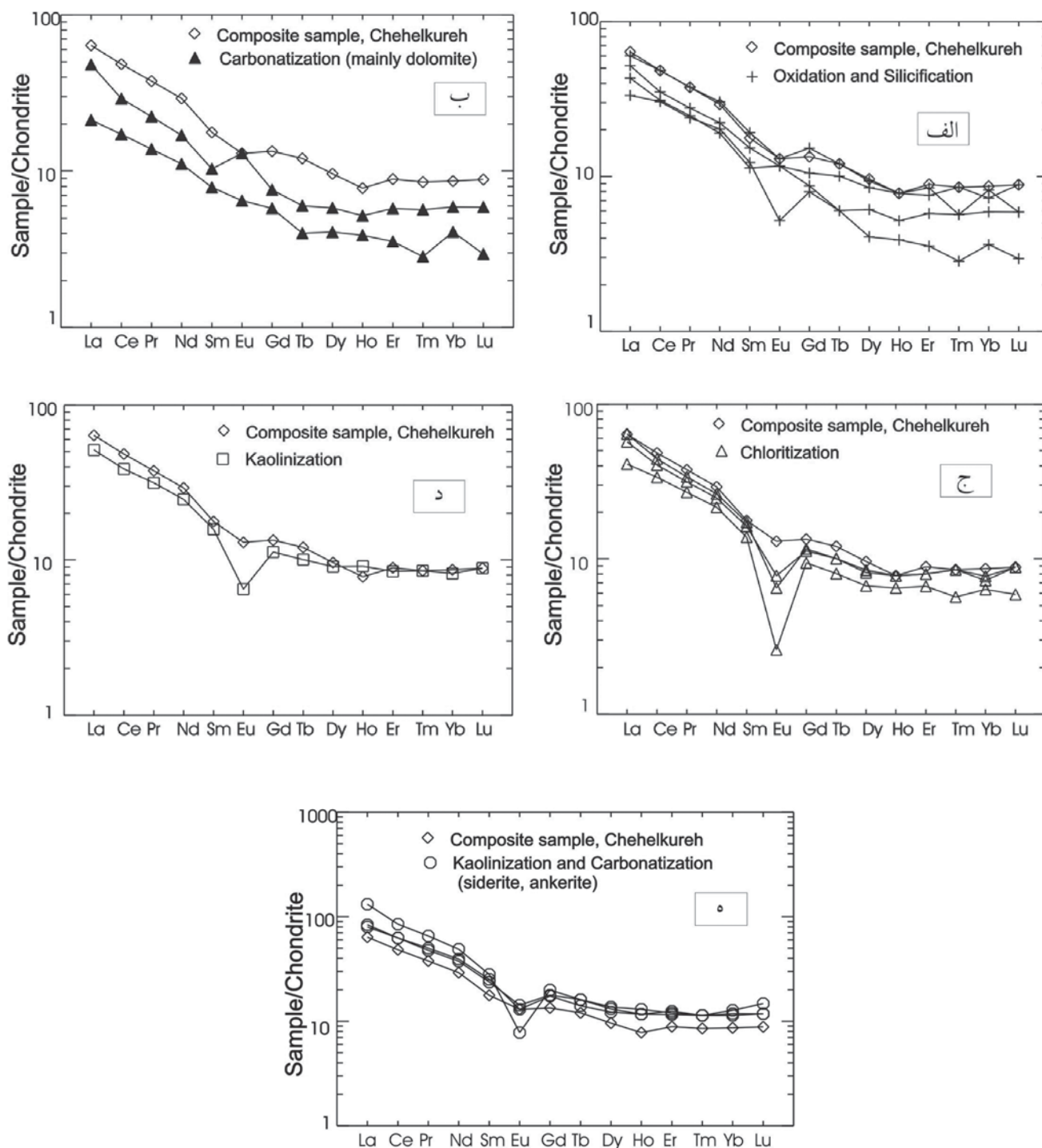
چهل کوره. kaol= Kaolinitization; carb= Carbonatization (siderite, ankerite and dolomite); chl=Chloritization
oxid= Oxidation; oxid+q= Oxidation+silicification (Silicified gossan);



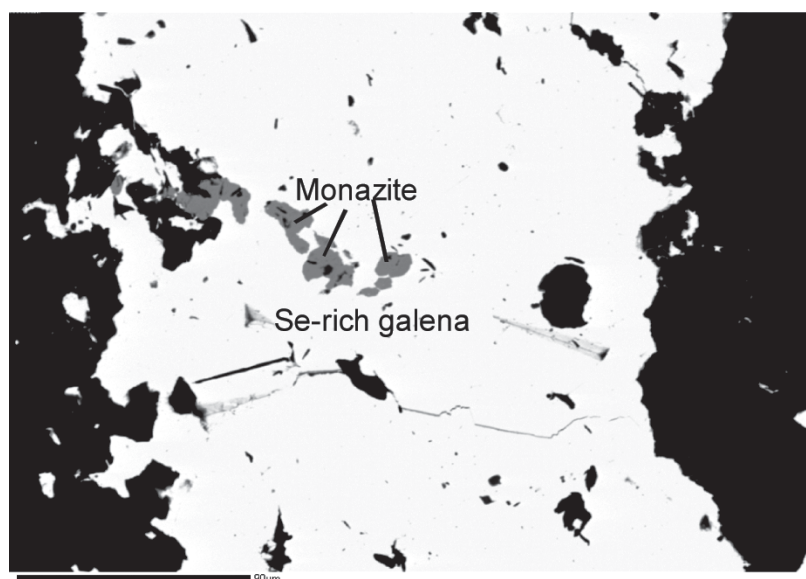
شکل ۴- الگوی REE در نمونه مرکب چهل کوره که نسبت به کنسدریت بهنجار شده اند و مقایسه آن با NASC (North American Shale Composite) و PAAS (Post-Archean Average Shale).

جدول ۳- نتیجه تجزیه SEM-EDS یک نمونه موناژیت در دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکریت) و کائولینیتی، در کانسار چهل کوره، بر حسب درصد وزنی و اتمی.

Filename	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	PbO	ThO ₂
146g8.spc	8.29	1.67	2.28	20.31	1.17	26.68
Weight	UO ₂	CaO	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	FeO	total
%	3.66	11.93	3.44	1.53	19.01	100.06
Filename	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	PbO	ThO ₂
146g8.spc	20.25	1.61	3.74	14.09	0.52	9.95
Atomic	UO ₂	CaO	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	FeO	total
%	1.34	20.96	1.03	0.45	26.06	100



شکل ۵- الگوهای REE بهنجار شده نسبت به کندریت با استفاده از داده های Sun (1982) برای نمونه های سنگی با دگرسانیهای (الف) اکسایش و سیلیسی شدن (گوسن)، (ب) دولومیتی، (ج) کلریتی، (د) کائولینیتی، (ه) کائولینیتی و کربناتی به طور توأم، در مقایسه با نمونه مرکب نادگرسان از گری وک و شیل در چهل کوره.



شکل ۶- تصویر الکترونی SEM-Backscattered از نمونه ای با دگرسانی توأم کربناتی (سیدریت و آنکرت) و کائولینیتی، که حاوی مقداری کانی سازی است. دانه های مونازیت در داخل گالن غنی از سلنیم (با رنگ روشن تر) کاملاً مشخص است.

کتابنگاری

سعیدی، ا.، ۱۳۶۵- گزارش زمین شناسی و سنگ شناسی منطقه چهل کوره (شمال باختر زاهدان)، سازمان زمین شناسی کشور، ۵۱ صفحه.
واله، ن. و سعیدی، ا.، ۱۳۶۷- نقشه زمین شناسی چهل کوره، سازمان زمین شناسی کشور، برگه ۸۰۵۰.

References

- Alderton, D.H.M., Pearce, J.A. and Potts, P.J., 1980- Rare earth element mobility during granite alteration: Evidence from south-east England, *Earth Planet Sci. Lett.*, 49: 149-165.
- Bierlien, F.B., Waldron, H.M. and Anne, D.C., 1999- Behaviour of rare earth and high field strength elements during hydrothermal alteration of meta-turbidites associated with mesothermal gold mineralization in central Victoria, Australia, *J. Geochemical Exploration*, 67: 109-125.
- Cail, T.L., and Cline, J.S., 2001- Alteration associated with gold deposition at the Getchell Carlin-type gold deposit, North-central Nevada, *Economic Geology*, 96: 1343-1359.
- Cetiner, Z.C., Wood, S. and Gammons, C.H., 2005- The aqueous geochemistry of the rare earth elements. Part XIV. The solubility of rare earth element phosphates from 23 to 150°C, *Chemical Geology*, 217: 147-169.
- Delaloye, M. and Desmons, J., 1980- Ophiolites and melange terranes in Iran: a geochronological study and its paleotectonic implications. *Tectonophysics*, 68: 83-111.
- Fedikow, M.A.F. and Amor, S.D., 1990- Evaluation of a mercury-vapour detection system in base- and precious-metal exploration, northern Manitoba, *Journal of Geochemical Exploration*, 38: 351-374.
- Grant, J. A., 2005- Isocon analysis: A brief review of the method and applications, *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 997-1004.
- Grant, J. A., 1986- The isocon diagram- a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration, *Economic Geology*, 81: 1976-1982.
- Gresens, R. L., 1967- Composition-volume relationships of metasomatism, *Chemical Geology*, 2: 47-65.
- Henderson, P., 1984- Rare earth element geochemistry, Elsevier Science Publishers, 510 p.

- Haskin, L.A., Haskin, M.A., Frey, F.A. and Wildeman, T.R., 1968- Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earths. In: L.H. Ahrens (Editor), *Origin and Distribution of the Elements*, Pergamon, Oxford, p. 889-912.
- Lentz, D.R., 2005- Mercury as a lithogeochemical exploration vectoring technique: a review of methodologies and applications, with selected VMS case histories, *The Gangue*, 85: 1-11.
- Leitch, C.H.B. and Lentz, D.R., 1994- The Gresens approach to mass balance constraints of alteration systems: Methods, pitfalls, examples. In *Alteration processes associated with ore-forming systems*, Edited by D. R. Lentz, Geological Association of Canada, Short Course Notes, 11: 161-192.
- Montel, J.-M., Foret, S., Veschambre, M., Nicollete, C. and Provost, A., 1996- Electron microprobe dating of monazite, *Chem. Geo.*, 131: 37-53.
- Mori, Y., Nishiyama, T., and Yanagi, T. 2003- Mass transfer paths in alteration zones around carbonate veins in the Nishisonogi Metamorphic Rocks, southwest Japan, *American Mineralogist*, 88: 611-623.
- Movahhed Aval, M., 1974- Report on exploration of copper-lead-zinc deposits of Chehel-Kureh and Nasagh-e-Pourchangy Kuh-e-Lunka area, GSI report, 80 p.
- Sun, S.S., 1982- Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 179-192.
- Samson, I.M. and Wood, S.A., 2004- The rare earth elements: Behavior in hydrothermal fluids and concentration in hydrothermal mineral deposits, exclusive of alkaline settings, in Linnen, R.L. and Samson, I.M., eds., *Rare-Element Geochemistry and Ore Deposits*. Geological Association of Canada, Short Course Notes.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford, 312 p.
- Vielreicher, N.M., Groves, D.I., Fletcher, I.R., McNaughton, N.J., and Rasmussen, B., 2003- Hydrothermal monazite and xenotime geochronology: a new direction for precise dating of orogenic gold mineralization. *Soc. Econ. Geol. Newsl.* 53: 1-15.
- Walther, J. V., 1997- Experimental determination and interpretation of solubility of corundum in H₂O between 350 and 600 from 0.5 to 2.2 kbar, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61: 4955-4964.
- Walther, J. V. and Woodland, A. B., 1993- Experimental determination and interpretation of the solubility of the assemblage microcline, muscovite and quartz in supercritical H₂O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 2431-2438.
- Watika, H., Rey, P. and Schmitt, R.A., 1971- Abundances of other rare elements in Apollo 12 samples: five igneous and one breccia rocks and four soils. *Proc. 2nd Lunar Sci. Conf.*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Suppl. 2, 2: 1319-1329.
- Wood, S.A., 2003- The geochemistry of rare earth elements and yttrium in geothermal waters, in Simmons, S.F., and Graham, I., eds., *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth*. Society of Economic Geologists, Special Publication 10: 133-158.
- Wood, S.A., 2004- The hydrothermal geochemistry of the Rare Earth Elements, *The Gangue*, 8: 1-7.
- Wood, S.A., 2006- Rare Earth Element systematics of acidic geothermal waters from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand, *Journal of Geochemical Exploration*, 89: 424-427.