

بررسی فرآیندهای اولیه و ثانویه در کانسار منگنز نصیرآباد، جنوب نیریز، با استفاده از کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ایزوتوپ‌های سرب

علیرضا زراسوندی*، محسن رضایی، هوشنگ پورکاسب، عادل ساکی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۵/۵، پذیرش: ۱۳۹۱/۱۱/۲۳

چکیده

کانسار منگنز نصیرآباد در استان فارس، در هشت کیلومتری جنوب‌غرب نیریز و در پنج کیلومتری جنوب نصیرآباد قرار دارد. این منطقه از لحاظ ساختاری در بخش جنوب‌شرقی زون زاگرس رانده‌شده واقع شده است. کانه‌زایی منگنز در این منطقه به‌صورت لایه‌های منگن‌دار و نودول‌های منگنز است که به‌صورت بین‌لایه‌ای با نهشته‌های چرتی زون رادیولاریتی پیچکان قرار دارد. در این مطالعه، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی اورانیم، توریم و ایزوتوپ‌های سرب به‌منظور بررسی فرآیندهای اولیه و ثانویه به‌کار گرفته شد. بدین‌منظور، علاوه بر مطالعات پتروگرافی و XRD، برای سنجش اورانیم، توریم و ایزوتوپ‌های سرب، از آنالیز ICP-MS استفاده شد. جدایش شدید فازهای آهن و منگن‌دار و نبود فازهای کانیایی آهن‌دار در مطالعات XRD، حضور بلورهای تودوروکیت به‌صورت هم‌زمان زایش با کوارتز، نسبت‌های بالای U/Th در تعدادی از نمونه‌ها و نمودار توریم در مقابل اورانیم، نشان‌دهنده ورود سیالات گرمایی منگن‌دار به حوضه رسوبی کانسار منگنز نصیرآباد است. وجود پیرولولزیت به‌صورت جان‌شینی در پوسته رادیولاریت‌ها، پرکننده حفرات سنگ میزبان، احاطه‌کننده باطله و پرکننده شکستگیها در تعدادی از نمونه‌ها، اثبات‌کننده تأثیرگذاری فرآیندهای برون‌زاد ثانویه بر کانه‌زایی اولیه گرمایی است. وجود مقادیر غیریکنواخت $^{206}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ ، $^{207}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ و $^{208}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ نشان‌دهنده نبود فرآیندهای یکنواخت گرمایی در حوضه رسوبی است و حاکی از مخلوط‌شدگی ایزوتوپ‌های سرب سیال گرمایی با ایزوتوپ‌های سرب از منشأ ثانویه می‌باشد. وجود ضرایب همبستگی قوی میان مقادیر مطلق ایزوتوپ‌های رادیوژنیک سرب و عناصر نامحلول با میدان پایداری بالا (HFSE) مانند ^{207}Pb در مقابل ^{207}Pb ، $(r=0/81)$ Nb در مقابل ^{207}Pb ، $(r=0/93)$ TiO₂ در مقابل ^{207}Pb ، $(r=0/79)$ Th در مقابل ^{207}Pb و همچنین همبستگی قوی این عناصر با پاره‌ای از اجزای مافیک مانند ^{208}Pb در مقابل Fe_2O_3 $(r=0/94)$ و Th در مقابل MgO $(r=0/86)$ نشان‌دهنده ورود سرب رادیوژنیک همراه با مواد آواری مافیک به حوضه رسوبی است. وجود روند خطی مشابه میان نسبت‌های $^{206}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ در مقابل $^{208}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ و $^{207}\text{Pb}/\text{Pb}^{204}$ در نودول‌ها و لایه‌های منگن‌دار، بیانگر وجود شرایط زمین‌شیمیایی یکسان در شکل‌گیری نودول‌ها و لایه‌های منگن‌دار است و نشان می‌دهد فرآیندهای شست‌وشو و نهشت دوباره منگنز، تأثیری در تغییر نسبت‌های ایزوتوپی نداشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: منگنز، نصیرآباد، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی ایزوتوپ سرب.

مقدمه

آب دریا به‌کار برده می‌شوند [۱]. در این میان رسوبات آهن- منگن‌دار و نودول‌های منگنز به‌عنوان مهمترین هدف برای مطالعات دیرینه اقیانوس‌شناسی قلمداد می‌شوند [۲]. ایزوتوپ‌های سرب دارای زمان اقامت کم (۵۰ تا ۲۰۰ سال) در آب اقیانوس می‌باشند [۳] لذا این ایزوتوپ‌ها به‌عنوان شناساگری حساس در تعیین خصوصیات زمین‌شیمیایی محیط عمیق بستر اقیانوس به‌کار برده می‌شوند [۱]. فرآیندهای عمده کانه‌زایی منگنز در محیط عمیق بستر

منطقه مورد مطالعه در استان فارس، در ۸ کیلومتری جنوب نیریز و در ۵ کیلومتری جنوب نصیرآباد قرار دارد. کانه‌زایی در این منطقه به‌صورت نودول‌ها و لایه‌های منگن‌دار می‌باشد که به‌صورت بین‌لایه‌ای با رسوبات چرتی رادیولاریتی معرف رخساره‌های عمیق نئوتیتیس قرار دارند. امروزه ردیاب‌های ایزوتوپی رادیوژنیک ثبت شده در رسوبات به‌عنوان ابزاری قدرتمند در دیرینه اقیانوس‌شناسی و تعیین چرخه عناصر در

آهک انیدریتی سازند تارپور به سن کامپانین- ماسترشین به سمت جنوب دریاچه بختگان به‌طور ناپیوسته این رادیولاریت‌ها را می‌پوشاند [۱۲]. واحدهای رسوبی ابرتوالی ماسترشین پایانی تا ائوسن پایانی زاگرس شامل مارن‌های ژپس‌دار، آهک، ماسه سنگ و گنگلومرای سازند ساچون و نیز آهک‌های آلئولین‌دار سازند جهرم به‌طور ناپیوسته سازند تارپور را می‌پوشاند [۱۲].

روش مطالعه

نمونه‌برداری از رخنمون لایه‌های منگن‌دار، نودول‌های منگنز و سنگ میزبان برداشت شد. به‌منظور حصول بهترین نتایج تعداد ۸ نمونه انتخاب و برای انجام آنالیز ایزوتوپ‌های سرب آماده‌سازی شد. کلیه نمونه‌ها توسط آسیاب کاربید تنگستن پودر شدند و در نهایت میزان ۱۰۰ گرم از هر نمونه به‌منظور انجام آنالیز طیف سنج پلاسمای جفت‌شده القایی ICP-MS به آزمایشگاه ACME در کشور کانادا ارسال شد. در این آزمایشگاه برای سنجش ایزوتوپ‌های سرب ^{204}Pb ، ^{206}Pb ، ^{207}Pb و ^{208}Pb میزان ۱۵ تا ۳۰ گرم از هر نمونه پس از انحلال در محلول تیزاب Aqua Riga، در معرض طیف‌سنج پلاسمای قرار می‌گیرد. حد تشخیص ایزوتوپ‌های سرب ppm ۰/۰۱ است. مقادیر ایزوتوپ‌های سرب در جدول ۱ نشان داده شده است. مطالعات کانی‌شناسی بر روی تعداد زیادی از مقاطع نازک و صیقلی انجام گرفت. همچنین به‌منظور انجام مطالعات پراش اشعه ایکس XRD تعداد ۱۲ نمونه به شرکت کانسار بینالود در تهران ارسال شد. نتایج مربوط به آنالیز XRD در جدول ۲ نشان داده شده است.

کانه‌زایی و کانی‌شناسی

در قسمتهای جنوبی دریاچه بختگان، چرت‌های رادیولاریتی قرمز رنگ به‌صورت قطعاتی از بیگانه سنگ در رسوبات آبرفتی عهد حاضر قرار دارند (شکل ۱). در محدوده کانسار مورد مطالعه لایه‌های کانه‌دار و نودول‌های منگن‌دار به‌صورت بین‌لایه‌ای با چرت‌های رادیولاریتی قرمز رنگ حضور دارند. سنگ میزبان و لایه‌های کانه‌دار به‌شدت شکسته و چین‌خورده می‌باشند. در مقیاس نمونه دستی، نمونه‌ها اشکال لایه‌ای و توده‌ای دارند. کلیه نمونه‌های کانه‌دار دارای رنگ بنفش تا تیره می‌باشند (شکل ۲).

اقیانوس شامل فرآیندهای گرمایی، آزاد و دیانژنز می‌باشند [۴]. فرآیندهای گرمایی و آزادداری ترکیب ایزوتوپی سرب مجزا می‌باشند [۵] لذا از ایزوتوپ‌های سرب می‌توان به‌عنوان کلیدی در جهت بازسازی فرآیندهای اولیه دخیل در کان‌زایی استفاده کرد. هدف از این مقاله بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ایزوتوپ‌های سرب به‌منظور بررسی فرآیندهای اولیه و بررسی نقش فرآیندهای ثانویه برون‌زاد دخیل در کان‌زایی می‌باشد.

زمین‌شناسی

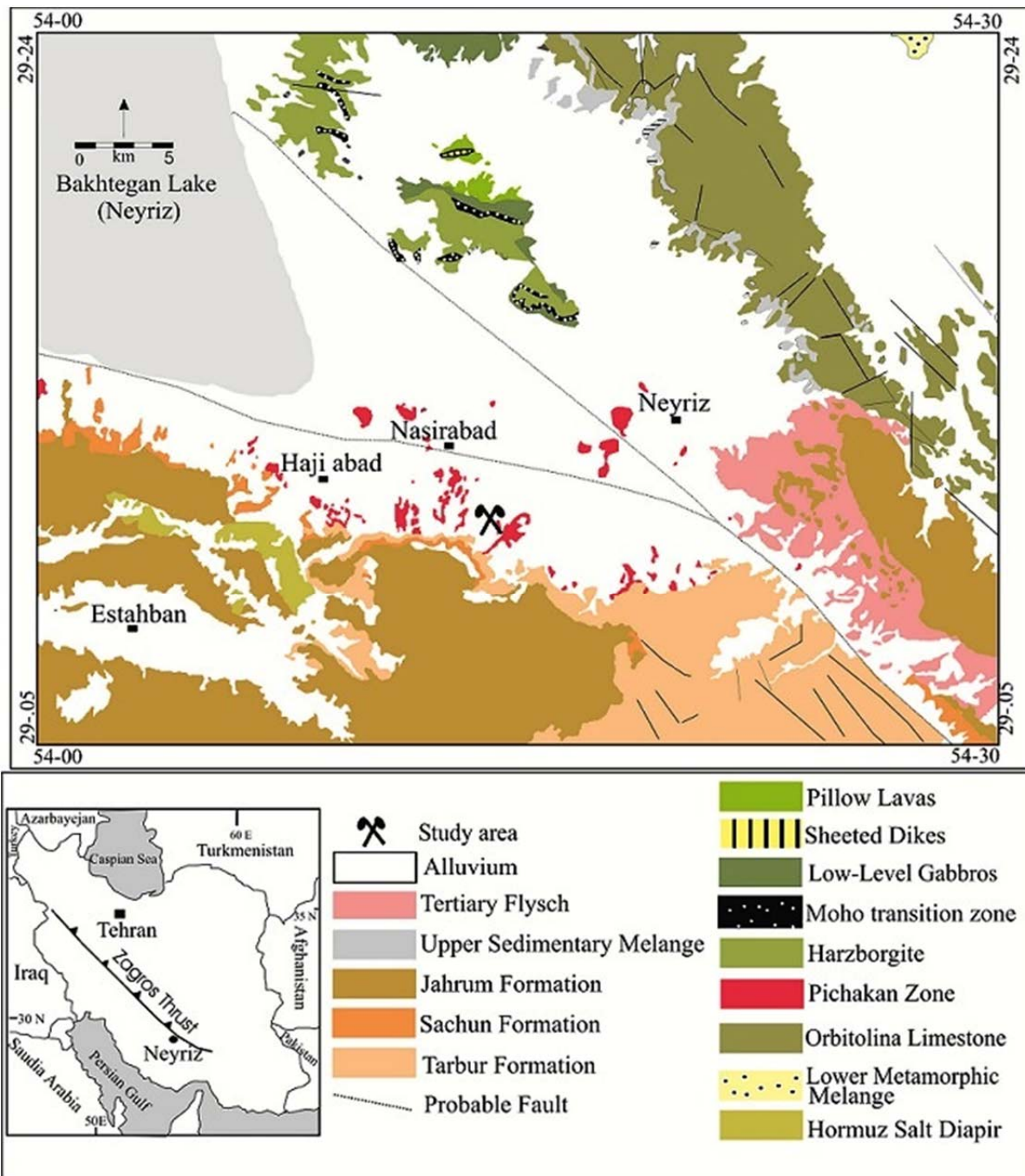
منطقه مورد مطالعه در حاشیه جنوب شرقی زون زاگرس رانده و در نزدیکی زون دگرگونی سنندج- سیرجان قرار دارد. کانسار مورد مطالعه در ۸ کیلومتری جنوبی غربی شهر نیریز و در مسیر اصلی استهبان به سمت نیریز واقع شده است. دسترسی به این کانسار از طریق مسیر فرعی خاکی به طول ۶۰۰ متر میسر است.

بازرترین جلوه زمین‌شناسی منطقه نیریز حضور افیولیت نیریز است. این افیولیت احتمالاً از بزرگترین و بهترین قطعات حفظ‌شده نئوتتیس در ایران به شمار می‌رود [۶]. این افیولیت شامل بخشهای دگرشکل شده گوشته‌ای، منطقه انتقالی موهو (MTZ) و بخشهای مافیکی شامل گابرو، دایکهای صفحه‌ای، بازالت‌های بالشی و چرت‌های رادیولاریتی در بالاترین قسمت می‌باشد [۷] (شکل ۱). مطالعات اخیر صورت گرفته بر روی سنگهای آذرین منطقه نیریز نشان‌دهنده تشکیل این سنگها در محیط جزایر قوسی درون اقیانوسی در بازه زمانی تریاس پایانی تا کرتاسه پایانی است [۸]. افیولیت نیریز در طول سری رادیولاریتی پیچکان رانده شده است [۹].

رخداد کان‌زایی در منطقه مورد مطالعه به‌صورت بین‌لایه‌ای با زون رادیولاریتی پیچکان می‌باشد. زون رادیولاریت پیچکان معرف رخساره‌های عمیق اقیانوسی اواخر تریاس تا کرتاسه نئوتتیس است [۱۰]. این زون در بخش پایینی به‌تدریج و با الگوی متناوب به لایه‌های چرت رادیولاریتی نازک لایه (کمتر از ۵ سانتی‌متر) و سپس به لایه‌های متوسط تا ضخیمی از جنس آهک آواری، شیل‌های سیلیسی سبزرنگ و در نهایت به یک توالی ضخیم ۵۰۰ متری از رادیولاریت ختم می‌شود. این رادیولاریت‌ها از نظر سنی حداقل جوانتر از ژوراسیک میانی هستند [۱۱].

کروی تا بیضوی شکل رادیولاریتی به وفور در سنگ میزبان و سکانس‌های کانه‌دار مشاهده می‌شوند. عمده‌ترین فاز باطله کوارتز است که به صورت اولیه یا ثانویه و با شکلهایی همچون بلورهای بی‌شکل تا شکل‌دار و یا به صورت فاز پرکننده درز و شکافها حضور دارد.

نتایج مطالعات XRD و مشاهدات میکروسکوپی نشان‌دهنده وجود پارائنز کانیاپی یکنواخت در کلیه نمونه‌ها است (جدول ۲) پیرولولزیت (MnO_2) به صورت عمده‌ترین فاز کانیاپی در کلیه نمونه‌ها مشاهده شد، همچنین تودوروکیت ($(NaMn_6O_{12}, 3H_2O)$) و پسیلوملان [$(Ba, H_2O)_2Mn_5O_{10}$] به صورت فاز فرعی از همراهان پیرولولزیت می‌باشند. پوسته‌های



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، با تغییرات از [۶] و [۹].

جدول ۱. داده‌های ایزوتوپی سرب (ppm) در نودول‌ها و لایه‌های منگن‌دار نصیرآباد

Sample	La1	La2	La4	La8	La10	N1	N2	N3	Lz	Lz2	Lz5
²⁰⁴ Pb	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	-	-	-
²⁰⁶ Pb	۱/۱۸	۱/۲۳	۰/۴۸	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۲۳	-	-	-
²⁰⁷ Pb	۰/۹۹	۱/۰۳	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۲	-	-	-
²⁰⁸ Pb	۲/۴۴	۲/۵۹	۱/۰۴	۰/۸	۰/۸۱	۰/۶۳	۰/۷	۰/۵۱	-	-	-
²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	۱۶/۸۵	۲۰/۵	۱۶	۱۹	۱۹/۵	۱۶	۱۸/۵	۲۳	-	-	-
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	۱۴/۱۴	۱۷/۱۶	۱۴	۱۶	۱۶/۵	۱۲	۱۴/۵	۲۰	-	-	-
²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	۳۴/۸۵	۴۳/۱۶	۳۴/۶۶	۴۰	۴۰/۵	۳۱/۵	۳۵	۵۱	-	-	-
²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb	۲/۰۶	۲/۱	۲/۱۶	۲/۱	۲/۰۷	۱/۹۶	۱/۸۹	۲/۲۱	-	-	-
²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	۰/۸۳۸	۰/۸۳۷	۰/۸۷۵	۰/۸۴۲	۰/۸۴۶	۰/۷۵	۰/۷۸۳	۰/۸۶۹	-	-	-
Major Oxides (wt%)											
TiO ₂	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۸
Fe ₂ O ₃	۱/۱۱	۱/۲۶	۰/۶۵	۰/۱۷	۰/۵۸	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۹	۱/۶۴	۰/۹۵	۱
MgO	۰/۵۲	۰/۷۴	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۷۱	۰/۴۸	۰/۲
Trace elements (ppm)											
Nb	۲/۱	۱/۹	۲	۱	۱/۲	۰/۸	۰/۷	۰/۸	۳/۲	۲	۲/۵
U	۱/۱	۴/۲	۱	۱/۲	۱/۵	۴/۱	۴/۷	۴/۴	۱/۴	۱/۷	۱/۵
Th	۱/۲	۱/۷	۱/۶	۰/۳	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱/۶	۱/۹	۰/۶
U/Th	۰/۹۱	۲/۴۷	۰/۶۲	۴	۵	۴۱	۴۷	۴۴	۰/۸۷۵	۰/۸۹	۲/۵

جدول ۲. نتایج مربوط به آنالیز XRD برای نودول‌ها و لایه‌های منگن‌دار

نمونه	نوع نمونه	فاز اصلی	فاز فرعی	فاز کمیاب
LA1	لایه منگن‌دار	کوارتز	تودورکیت	-
LA2	لایه منگن‌دار	پیرولولوزیت، کوارتز	تودورکیت	کلسیت
LA4	لایه منگن‌دار	پیرولولوزیت، کوارتز	-	-
LA8	لایه منگن‌دار	پیرولولوزیت، کوارتز	تودورکیت	-
LA10	لایه منگن‌دار	کوارتز	پیرولولوزیت، تودورکیت	-
LZ	لایه منگن‌دار	کوارتز	پیرولولوزیت، تودورکیت	-
LZ2	لایه منگن‌دار	کوارتز	پیرولولوزیت، تودورکیت	-
LZ5	لایه منگن‌دار	کوارتز، پیرولولوزیت	تودورکیت	کلسیت
N1	نودول منگن‌دار	کوارتز، پیرولولوزیت	-	-
N2	نودول منگن‌دار	کوارتز	پیرولولوزیت	-
N3	نودول منگن‌دار	کوارتز	پیرولولوزیت	-

با ضخامت متفاوت و به‌صورت فاز پراکنده درزه و شکستگیها حضور دارد (شکل ۳f). این کانی همچنین به‌صورت فازهای حلقوی احاطه‌کننده دانه‌های کوارتز (شکل ۳c)، به‌صورت جانشینی در پوسته رادیولاریت‌ها حضور دارد (شکل ۳e). علاوه بر این بلورهای پیرولولوزیت به‌صورت بلورهای دانه‌ریز و

پیرولولوزیت: این کانی با آنیزوتروپی شدید، رخ نامنظم تا منظم و رنگ زرد تا قهوه‌ای به‌آسانی در نمونه‌ها قابل مشاهده است. نیز به‌صورت فازهای احاطه‌کننده باطله (شکل ۳d) و نیز به‌صورت پراکنده فضاهای خالی باطله (شکل ۳a) قابل مشاهده است. پیرولولوزیت همچنین به‌صورت رگه و رگه‌چه‌های

تودورکیت به‌طور گسترده در ذخایر منگنز منشأ گرفته از بروندهای گرمابی گزارش شده است [۱۳]. در نمونه‌های مطالعه‌شده این کانی به‌صورت بلورهای بسیار دانه‌ریز و با سیمای همزمان زایش با بلورهای کوارتز مشاهده شد (شکل ۳i). بنابر گفته [۱۴] تودورکیت همچنین می‌تواند از هوازگی سایر اکسیدهای منگنز تشکیل شود. این کانی در کلیه نمونه‌های دارای سیمای ثانویه، توسط آنالیز XRD تشخیص داده شد که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر فرآیند هوازگی ناچیز در خلال فرآیندهای ثانویه باشد.

تیغه‌ای کوچک و همچنین بلورهای توسعه‌یافته و با رخ مشخص به‌صورت همزمان زایش با کوارتز (شکل ۳g) قابل مشاهده می‌باشند. این کانی به‌صورت بلورهای تیغه‌ای کوچک و نیز بلورهای سوزنی به‌صورت ادخال در میان باطله مشاهده شد (شکل ۳h). مشاهدات میکروسکوپی نشان‌دهنده سیمای همزمان زایش (به‌صورت دانه‌ریز و دانه‌درشت) با کوارتز و نیز سیمای ثانویه برای پیرولولزیت می‌باشد. تودورکیت: این کانی به‌صورت فاز فرعی در اکثر نمونه‌ها، عمدتاً توسط آنالیز XRD تشخیص داده شد. حضور



شکل ۲. کانه‌زایی منگنز نصیرآباد (a) نودول‌های منگنزدار، (b) و (c) لایه‌های منگنزدار

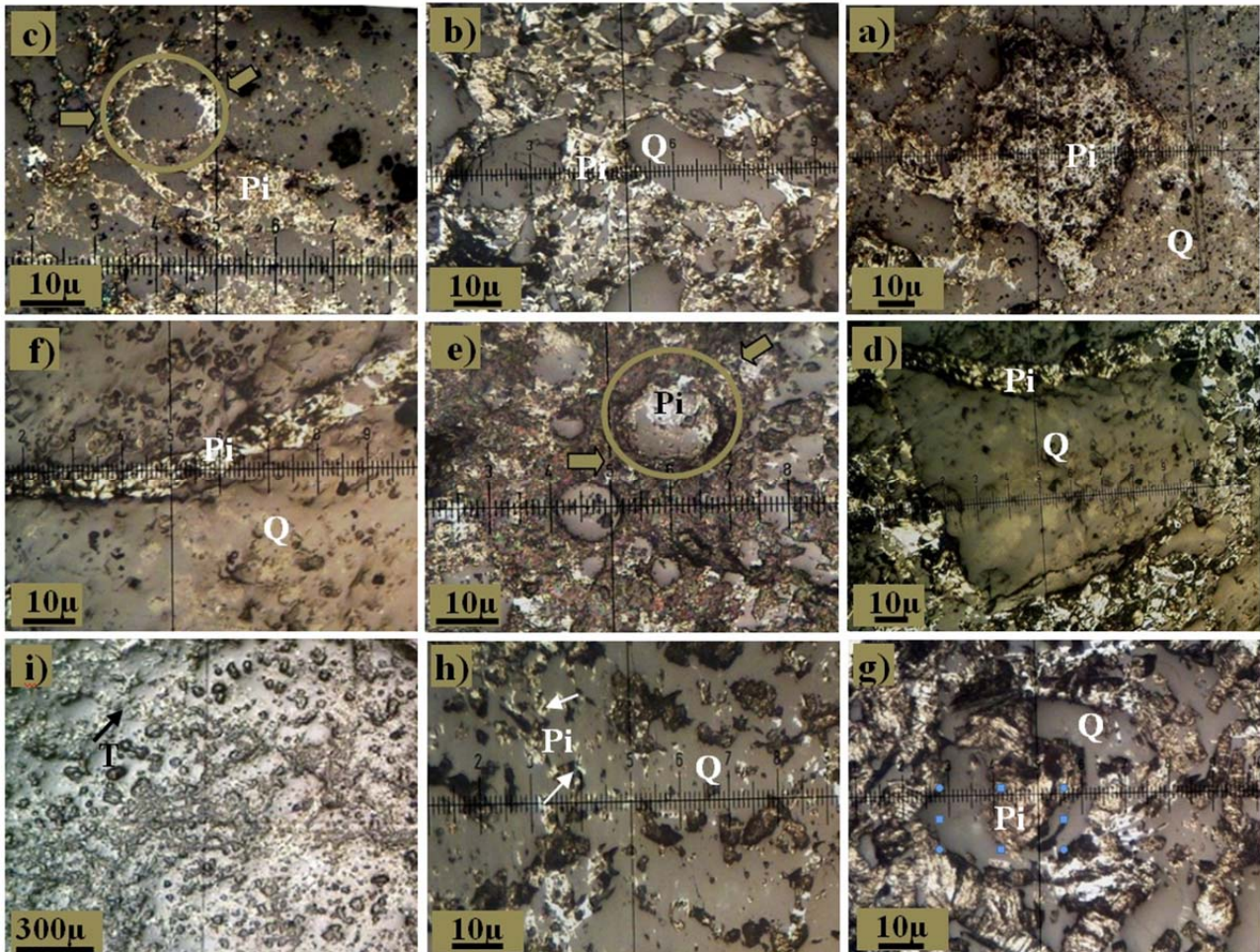
زمین‌شیمی

تغییرات ایزوتوپ سرب برای نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنزدار منطقه نصیرآباد بسیار گسترده است (جدول ۱). این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده عدم‌سوب منگنز به‌طور مستقیم از آب دریا و تحت تأثیر فرآیندهای مطلقاً آزاد در کانسار مورد مطالعه باشد [۱۷]. یکی از موارد استفاده ایزوتوپ‌های سرب، ردیابی فرآیندهای گرمابی دخیل در تمرکز فلزات است، زیرا دامنه تغییرات ایزوتوپی این نوع ذخایر مشابه بازالت‌های منشأ سیال گرمابی می‌باشد [۱۹] به عنوان مثال مطالعه سنگهای بازالتی در Easter Microplate نشان‌دهنده مقادیر $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۱۸/۴۸۴-۱۸/۲۹۶)، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۱۵/۴۶۷-۱۵/۵۴۵)، $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۳۸/۰۱۱-۳۷/۷۰۷) است [۲۰] که دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های سرب ناچیز و مشابه با رسوبات گرمابی این منطقه می‌باشد [۲۰]. شکل ۴ نشان‌دهنده نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در مقابل $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از [۲۱] است. در این نمودار محدوده رسوبات پلاژیوک، نودول‌های آزاد منگنز، رسوبات گرمابی TAG در اقیانوس اطلس و بازالت مورب در اقیانوس اطلس شمالی نشان داده شده است. علی‌رغم دامنه گسترده داده‌ها، میانگین و برآیند داده‌های ایزوتوپی نمونه‌های

مقادیر مطلق ایزوتوپ‌های ^{206}Pb ، ^{207}Pb ، ^{208}Pb و همچنین نسبت‌های ایزوتوپی $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق نظر Frank [۱۵] و Meynadier [۵] منشأ احتمالی سرب در ذخایر منگنز موجود در بستر اقیانوسها می‌تواند ناشی از فرسایش و حمل مواد (به‌صورت محلول و یا سوسپانسیون) از منشأ قاره‌ای، ذرات گردوغبار راه‌یافته به حوضه اقیانوسی توسط باد، از منشأ جبه‌ای و بر اثر ورود سیالات گرمابی بستر اقیانوس در محل پشته‌های اقیانوسی و یا بر اثر فرسایش مواد جزایر قوسی اقیانوسی باشد. علاوه بر این سرب می‌تواند در خلال چرخش توده‌های آب اقیانوسی در ذخایر منگنز حضور پیدا کند [۱۶]. ذخایر آزاد منگنز و به‌ویژه نودول‌های منگنز منعکس‌کننده ترکیب ایزوتوپی آب دریا می‌باشند [۱۷]. این میزان برای $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۱۹/۰۹-۱۸/۶۸)، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۱۵/۶۰-۱۵/۷۱)، $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (۳۹/۲۵-۳۸/۵۱) است [۱۸]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان تغییرات ایزوتوپ سرب برای آب دریا معتدل و ناچیز است. در نتیجه ذخایر منگنز به‌وجود آمده از فرآیندهای آزاد نیز دارای همین دامنه تغییرات می‌باشند.

احتمالی ایزوتوپ‌های سرب از منشأ آذرین می‌باشد.

لايه‌ای و نودول‌های منگنز در محدوده بازالت‌ها قرار می‌گیرند. این موضوع احتمالاً نشان‌دهنده منشأگیری و یا تأثیرپذیری



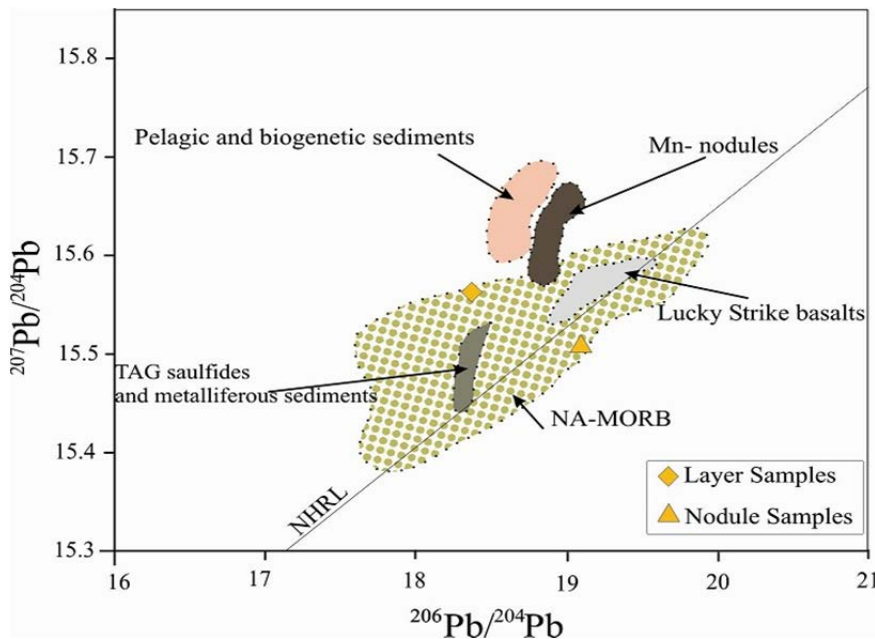
شکل ۳. (a) پیرولوژیت (Pi) به صورت پرکننده فضای خالی باطله (b) به صورت پرکننده درز و شکستگیهای سنگ میزبان (c) پیرولوژیت‌های حلقوی احاطه‌کننده دانه‌های کوارتز (Q) (d) پیرولوژیت به صورت احاطه‌کننده باطله (e) جانشینی پیرولوژیت در پوسته رادیولاریت (f) رگه و رگه‌چه‌های پیرولوژیت (g) بلورهای توسعه‌یافته و با رخ مشخص پیرولوژیت به صورت همزمان زایش با کوارتز (h) بلورهای دانه‌ریز و تیغه‌ای پیرولوژیت به صورت ادخال در کوارتز (i) بلورهای ریز تودوروکیت (T) پراکنده در میان کوارتز

تشخیص فرآیندهای نهشته شدن سریع طی فرآیندهای گرمایی و یا فرآیندهای حاصل از ورود مواد آواری به درون حوضه رسوبی استفاده کنند. نسبت‌های U/Th بالاتر از یک نشان‌دهنده نهشته شدن سریع در حضور سیالات گرمایی و تأثیر کمتر مواد آواری است. جدول ۱ نشان‌دهنده میزان U/Th برای کلیه نمونه‌ها می‌باشد. نمونه‌های مطالعه شده دارای طیف گسترده‌ای از مقادیر کمتر از یک تا بسیار بزرگتر از یک می‌باشند که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده تأثیر همزمان فرآیندهای گرمایی همراه با ورود مواد آواری به درون

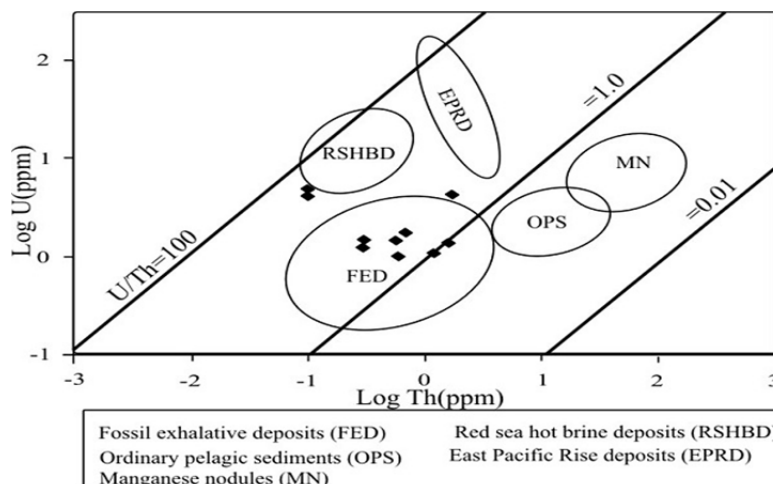
از Th به‌عنوان عنصری با میدان پایداری بالا (HFSE) نام برده می‌شود، این عنصر تحت تأثیر فرآیندهای رایج تفریق زمین‌شیمیایی در محیط اقیانوسی قرار نمی‌گیرد و حضور این عنصر در ذخایر منگنز به مواد آواری نسبت داده می‌شود [۲۲]، از طرف دیگر تحرک و انحلال‌پذیری عنصر U در محیط‌های زمین‌شیمیایی اثبات شده و طبق نظر [۲۱] فعالیت دودکشهای گرمایی می‌تواند باعث ارتقای غلظت اورانیوم در رسوبات شود. مجموعه این عوامل باعث شده تا محققانی همچون [۲۳] از نسبت‌های U و Th به عنوان شاخصی برای

نسبت به عناصر HREE، نسبتهای La_N/Nd_N (میانگین ۴/۵) و مقادیر Dy_N/Yb_N (میانگین ۱/۲)، نمودار سه متغیره و نمودار $(Cu+Ni+Co)*10-Fe-Mn$ و نمودار دوتایی Si-Al برای تفکیک ذخایر منگنز رسوبی و گرمابی، همگی نشان‌دهنده نقش آفرینی سیال گرمابی کانه‌دار در منطقه مورد مطالعه می‌باشند [۲۵].

حوضه اقیانوسی نئوتتیس در محل شکل‌گیری کانسار باشد. شکل ۵ نشان‌دهنده نمودار دوتایی U-Th از [۲۴] است. در این نمودار نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنزدار در محدوده نهشته‌های برون‌دمی قدیمی قرار می‌گیرند. البته شواهد دیگری مانند نسبت‌های بالای آهن به منگنز (۸۷/۵۴ - ۴/۵)، محتوای باریم بالا (میانگین ۲۸۸۳۰ ppm)، غلظت‌های پایین سرب (میانگین ۲ ppm)، غنی‌شدگی LREE



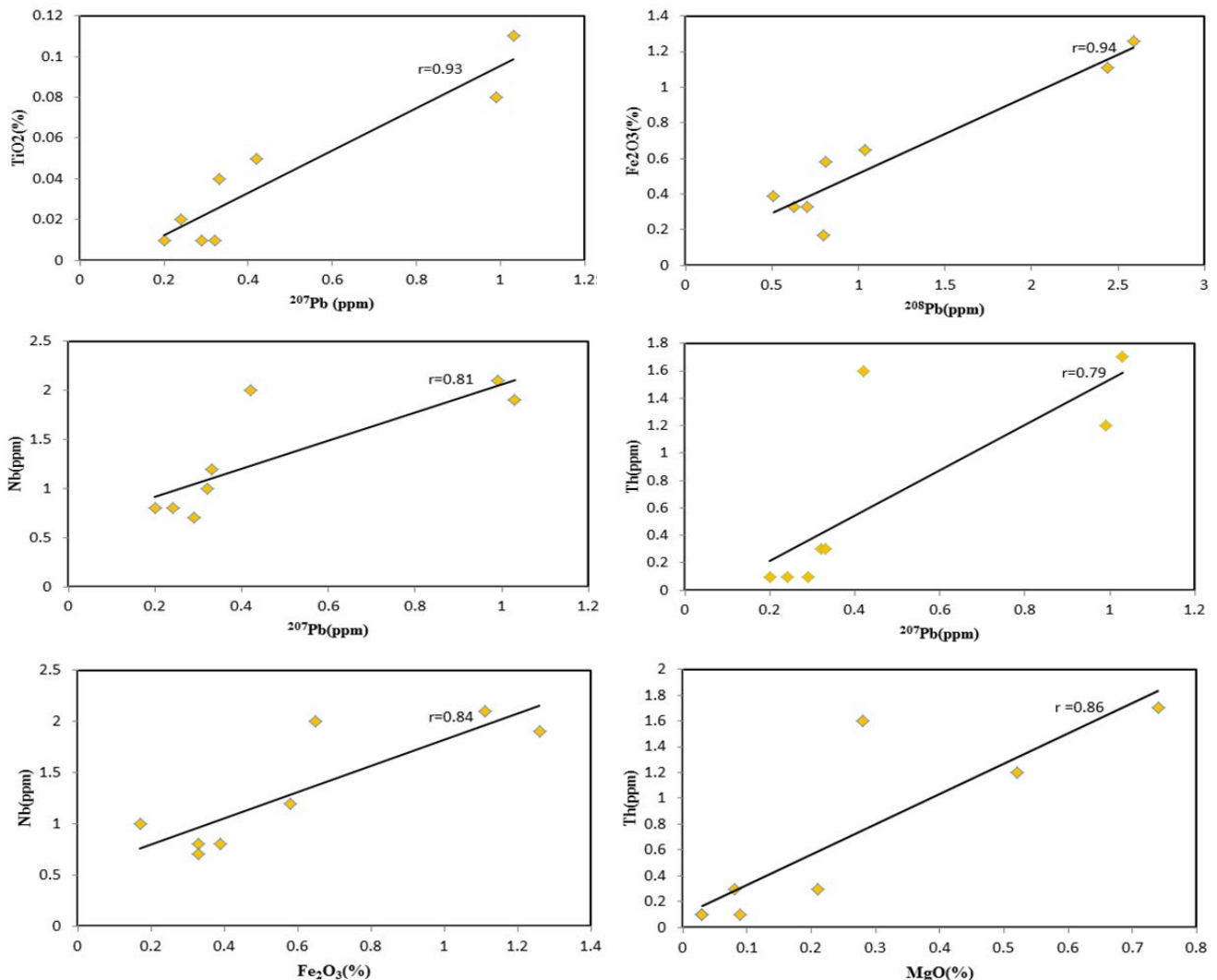
شکل ۴. نمودار $^{207}Pb/Pb^{204}$ در مقابل $^{206}Pb/Pb^{204}$ از [۲۱]، نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنزدار در محدوده North Atlantic -MORB (NA-MORB) قرار می‌گیرند.



شکل ۵. نمودار U در مقابل Th [۲۴]

اجزای مافیک نظیر Fe_2O_3 و MgO نیز همبستگی قوی دارند. همبستگی قوی میان عناصر شناساگر مواد آواری (Al_2O_3 , TiO_2 , Nb, Th) با تعدادی از اجزای مافیک سازنده سنگها نظیر Fe_2O_3 و MgO نشان می‌دهد مواد آواری ورودی به حوضه رسوبی از جنس مافیک می‌باشند. از طرفی میان فراوانی مطلق ایزوتوپ‌های رادیوژنیک ^{206}Pb ، ^{207}Pb و ^{208}Pb و مواد آواری مافیک همبستگی قوی وجود دارد (شکل ۶). این موضوع نشان‌دهنده مخلوط‌شدن ایزوتوپ‌های سرب از منشأ آواری با ایزوتوپ‌های سرب اولیه سیال گرمایی است.

مطالعات ضرایب همبستگی میان کلیه نمونه‌ها اعم از نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنز نشان‌دهنده وجود همبستگی قوی میان فراوانی مطلق ایزوتوپ‌های رادیوژنیک ^{206}Pb ، ^{207}Pb ، ^{208}Pb و عناصری همچون TiO_2 و Al_2O_3 است (شکل ۶). حضور عناصری همچون تیتانیوم و آلومینیوم در رسوبات دریایی نشان‌دهنده ورود مواد آواری به درون حوضه رسوبی است [۲۲]. از طرف دیگر ایزوتوپ‌های رادیوژنیک سرب با عناصر (HFSE) نظیر Th و Nb که نمی‌توانند به‌صورت محلول همراه با سیال گرمایی حرکت کنند همبستگی قوی دارند. علاوه‌بر این Th و Nb با پاره‌ای از

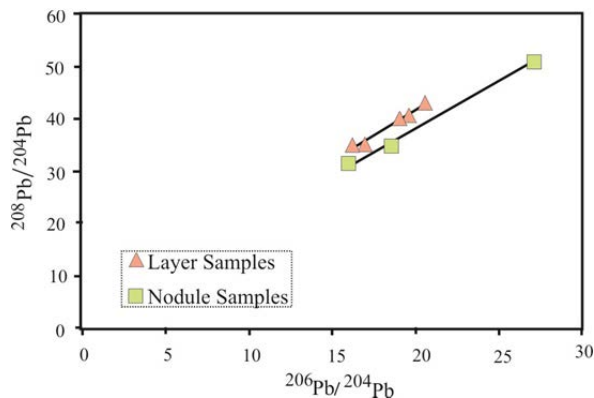


شکل ۶. ضریب همبستگی قوی میان مقادیر مطلق ایزوتوپ‌های سرب و اجزای آواری نظیر MgO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 ، TiO_2 و Nb و Th

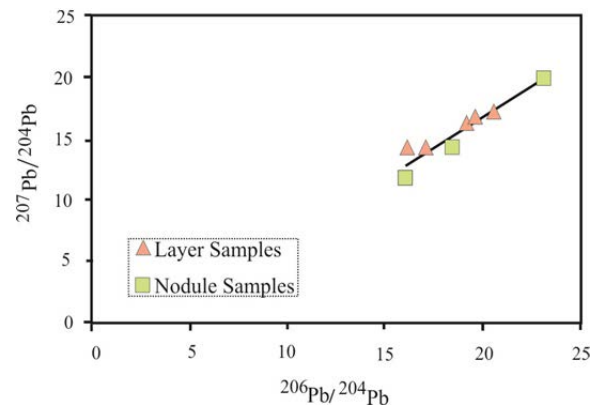
علی‌رغم گستردگی و دامنه وسیع، نسبت‌های ایزوتوپی سرب نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنز دارای روند خطی مشابه

نسبت‌های ایزوتوپ رادیوژنیک $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در مقابل $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ و $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند.

ایزوتوپ سرب به صورت سیستم بسته باقی مانده‌اند و از نسبت‌های ایزوتوپی سرب اولیه یکسانی برخوردار بوده‌اند [۲۷].



می‌باشند. این موضوع نشان‌دهنده وجود شرایط زمین‌شیمیایی یکسان در شکل‌گیری نودول‌ها و لایه‌های منگنزدار می‌باشد [۲۶] این موضوع همچنین نشان می‌دهد که نمونه‌ها نسبت به



شکل ۷. نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در مقابل $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ برای نمونه‌های لایه‌ای و نودول‌های منگنز نصیرآباد

نیز می‌تواند از علل پراکندگی نسبت‌های ایزوتوپی سرب قلمداد شود [۲۰]. در محیط‌های زمین‌شیمیایی عنصر اورانیوم نسبت به توریوم از انحلال‌پذیری و تحرک بیشتری برخوردار است [۲۸] علی‌رغم وجود مقادیر غیریکنواخت در نسبت‌های ایزوتوپی رادیوژنیک، شکل ۷ نشان‌دهنده روند خطی میان نسبت‌های سرب رادیوژنیک در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در مقابل $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ است. نمونه‌های نودولی و لایه‌ای نشان‌دهنده روند خطی تقریباً مشابه، در این نمودار می‌باشند. این موضوع اولاً نشان‌دهنده وجود شرایط زمین‌شیمیایی تقریباً یکسان برای شکل‌گیری نودول‌ها و لایه‌های منگنزدار است [۲۶]، ثانیاً سیستم زمین‌شیمیایی بسته برای ایزوتوپ‌های سرب را نشان می‌دهد. با توجه به انحلال‌پذیری و تحرک اورانیوم در محیط‌های زمین‌شیمیایی، وجود رابطه خطی قوی میان نسبت‌های ایزوتوپی رادیوژنیک $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در مقابل $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ نشان‌دهنده توسعه نیافتگی دگرسانی و فرایندهای شست‌وشو و نهشت دوباره منگنز در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

همان‌طور که پیشتر ذکر شد شواهدی همچون عدم وجود فازهای کانیاپی آهن‌دار در مطالعات پتروگرافی و XRD و نیز نسبت‌های بالای منگنز به آهن ($\text{Mn}/\text{Fe} = ۸۷/۵۴$) نشان‌دهنده جدایش کامل آهن از منگنز در خلال فاصله‌گیری سیال گرمایی از محل دودکش منشأ آن می‌باشد. در نتیجه سیال

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات پتروگرافی نشان‌دهنده حضور غالب فازهای منگنزدار (پیرولوژیت و تودوروکیت) است. هیچ نوع فاز آهن‌داری در نتایج آنالیز XRD و مطالعات پتروگرافی مشاهده نشد. این موضوع نشان‌دهنده تفریق و جدایش شدید آهن نسبت به منگنز است. جدایش آهن از منگنز و همچنین وجود تودوروکیت‌های اولیه نشان‌دهنده بر وجود کانه‌زایی متأثر از سیال گرمایی می‌باشد [۱۴]. قرارگیری نمونه‌ها در محدوده بروند‌های قدیمی در نمودار دوتایی U در مقابل Th [۲۴] نیز نشان‌دهنده منشأگیری کانه‌زایی از فرآیندهای گرمایی است. علاوه بر این رخداد محلی و عدم گسترش جانبی کانسار مورد مطالعه می‌تواند از نشانه‌های ورود سیالات گرمایی منگنزدار به درون حوضه رسوبی باشد [۱۴].

مقادیر غیریکنواخت نسبت‌های ایزوتوپی $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ، $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (جدول ۱) نشان‌دهنده عدم وجود فرآیندهای یکنواخت گرمایی برای کانه‌زایی منگنز در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. از طرفی حضور بافت‌های ثانویه متأثر از فرآیندهای برون‌زاد (شکل $f\cdot e\cdot d\cdot c\cdot b\cdot a^3$) و نیز حضور کانیه‌های فرعی تودوروکیت حاصل از دگرسانی پیرولوژیت در تعدادی از نمونه‌ها را می‌توان از علل پراکندگی و ناهمگنی در نسبت‌های ایزوتوپی سرب قلمداد کرد [۲۶]. علاوه بر این منشأگیری سیال گرمایی از شست‌وشوی سنگ‌های غیر همگن

- Hofmann A.W., "Geographic control on Pb isotope distribution and sources in Indian Ocean Fe-Mn deposits", *Geochim. Cosmochim. Acta* 65 (2001) 4303-4319.
- [2] Ling H., Burton K.W., O'Nions R. K., Kamber B. S., Von Blanckenburg F., Gibb A. J., Hein J. R., "Evolution of Nd and Pb isotopes in central Pacific seawater from ferromanganese crusts", *Earth Planet. Sci. Lett* 146, (1999) 1-12.
- [3] Cochran J. K., McKibbin-Vaughan T., Dornblaser M.M., Hirschberg D., Livingston H.D., Buesseler K.O., "²¹⁰Pb scavenging in the North Atlantic and North Pacific Oceans", *Earth Planet. Sci. Lett* 97 (1990) 332-352.
- [4] Oksuz N., "Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit", *Journal of Rare Earth* 29 (2011) 287-288.
- [5] Meynadier L., Allègre C., O'Nions R. K., "Plate tectonics, radiogenic isotopic tracers and paleoceanography The case of the manganese crusts in the Pacific", *Earth and Planetary Science Letters* 272 (2008) 513-522.
- [6] Sarkarinejad K., "Structures and microstructures related to steady-state mantle flow in the Neyriz ophiolite, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 25 (2005) 859-881.
- [7] Sarkarinejad K., Godin L., Faghieh A., "Kinematic vorticity flow analysis and 40Ar/39Ar geochronology related to inclined extrusion of the HP-LT metamorphic rocks along the Zagros accretionary prism, Iran", *Journal of Structural Geology* 31 (2009) 691-706.
- [8] Shahabpour J., "Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz", *J. Asian. Earth. Sci* 24 (2005) 405-417.
- [9] Babaie H. A., Ghazi M. A., Babaie A., La Tour T. E., Hassanipak A. A., "Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 19 (2001) 61-76.
- [10] Ghasemi A., Talbot C. J., "A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)", *Journal of Asian Earth Sciences* 26 (2006) 683-693.
- [11] Tangestani M., Jaffari L., Vincent R., Maruthi Sridhar, B. B., "Spectral characterization and ASTER-based lithological mapping of an ophiolite complex: A case study from Neyriz ophiolite, SW Iran", *Remote Sensing of Environment* 115 (2011) 2243-2254.

گرمایی، تا محل نهشت کانسار، فاصله زیادی را به صورت محلول طی نموده است. از شواهد دیگر فاصله‌گیری سیال گرمایی، عدم وجود واحدهای آذرین در محدوده منطقه مورد مطالعه است [۲۹]. اگرچه وجود تحرک پذیری برای اورانیوم در ذخایر منگنز نشان داده شده است [۲۶] اما از Th، Nb و TiO₂ به عنوان عناصری با میدان پایداری بالا (HFSE) یاد می‌شود [۲۲]، این عناصر توانایی انتقال به صورت فاز محلول در سیالات گرمایی موجود در محیط اقیانوسی را ندارند [۲۲]. شکل ۶ نشان‌دهنده وجود ضریب همبستگی قوی میان فراوانی مطلق گونه‌های رادیوژنیک سرب ²⁰⁶Pb، ²⁰⁷Pb، ²⁰⁸Pb با شناساگرهای مواد آواری نظیر Th، Nb و TiO₂ می‌باشد که به نوعی دلالت بر تأثیرپذیری شدید ایزوتوپ‌های سرب از ورود مواد آواری دارد. از طرف دیگر همبستگی قوی عناصر ذکر شده با اجزای مافیک مانند Mg و Fe نشان می‌دهد، پس از جدایش کامل آهن از منگنز در خلال فاصله‌گیری سیال گرمایی از دودکش منشأ، آهن و منیزیم جداگانه و از منشأ آواری مافیک وارد حوضه کانه‌زایی گرمایی شده‌اند. در نتیجه مخلوط شدن مقادیر ایزوتوپی سرب از دو منشأ گرمایی و مواد آواری سبب ناهمگونی در مقادیر ایزوتوپ‌های سرب شده است. مطالعات اخیر بر روی سنگهای آذرین افیولیت نیریز نشان‌دهنده شکل‌گیری این سنگها در محیط جزیره قوسی درون اقیانوسی است [۶]. نیریز از اواخر تریاس تا اواخر کرتاسه دارای موقعیت جزیره قوسی بوده [۸]. رخداد منگنز در جنوب نصیرآباد به صورت لایه‌ها و نودول‌های منگنز می‌باشد که به صورت بین‌لایه‌ای با رسوبات چرت رادیولاریتی قرار گرفته‌اند. این رادیولاریت‌ها از لحاظ سنی جوانتر از ژوراسیک میانی‌اند [۱۱]. توالیهای رسوبی در محدوده کانسار منگنز نصیرآباد فاقد واحدهای آذرین می‌باشند که این موضوع نشان‌دهنده ورود سیال گرمایی منگنزدار دور از منشأ [۲۹] به درون حوضه رسوبی کانسار نصیرآباد در نئوتتیس است که این محیط به شدت متأثر از ورود مواد آواری مافیک به حوضه عمیق اقیانوسی در بازه زمانی ژوراسیک-کرتاسه می‌باشد. احتمال ورود مواد آواری مافیک از فورانه‌های جزیره قوسی نیریز به درون حوضه رسوبی کانسار منگنز نصیرآباد چندان دور از ذهن نیست.

مراجع

[1] Vlastélic I., Abouchami W., Galer S. J. G.,

- Stummeyer J., "Mineralogical and geochemical evidence for hydrothermal activity at the west wall of 50° 12N core complex (Mid-Atlantic ridge): A new ultramafic-hosted seafloor hydrothermal deposit?", *Marine Geology* 288 (2011) 90-102.
- [22] Maynard J., "The Chemistry Of Manganese Ores through Time: A Signal Of Increasing Diversity of Earth-Surface Environments", *Economic Geology* 105 (2010) 535-552.
- [23] Heshmatbehzadi K., Shahabpour j., "Metallogeny of Manganese and Ferromanganese Ores in Baft Ophiolitic Mélange, Kerman, Iran" *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4 (2010) 302-313.
- [24] Rona, P., Bostrom K., Laubier L., Smith K., "Hydrothermal processes at Sea floor spreading centers", Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division (1983) 796.
- [25] Zarasvandi A., Lentz D., Rezaei M., Pourkaseb H., "Genesis of the Nasirabad Manganese Deposit, Fars province, Iran: Mineralogical-Geochemical Evidences", *Chemie der Erde/Geochemistry* (Under review).
- [26] Ehrlich S., Harlavan Y., Bar-Matthews M., Halicz L., "Lead and uranium isotopic behavior in diagenetic and epigenetic manganese nodules, Timna Basin, Israel, determined by MC-ICP-MS", *Applied Geochemistry* 19 (2004) 1927-1936.
- [27] Faure G., "Principles of Isotope Geology", Wiley, New York (1986) 589.
- [28] Bar-Matthews M., "Mineralization of Uranium and other metals in Timna Formation, Timna Valley", Ph.D. Thesis, Hebrew University Jerusalem (1986).
- [29] Mucke A., Adjimah K., Annor A., "Mineralogy, Petrography, geochemistry and genesis of the Paleoproterozoic Birimian Manganese-formation of Nsuta/Ghana". *Mineralium Deposita* 34 (1999) 297-311.
- [12] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution", *American Journal of Science* 304 (2004) 1-20.
- [13] Usui A., Someya M., "Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific", *Geological Society Special* 19 (1997) 177-198.
- [14] Jach R., Dudek T., "Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krizna unit, Tatra Mountains, Poland", *Chemical Geology* 224 (2006) 136-152.
- [15] Frank M., "Radiogenic isotopes: tracers of past ocean circulation and erosional input", *Rev. Geophys* 40 (2002) 1001-1019.
- [16] Tomczak M., Godfrey, J. S., "Regional Oceanography", An Introduction. 2^{ème} ed (2003) Daya, New-Dehli (India).
- [17] Terakado Y., Walker R. j., "Nd, Sr and Pb isotopic and REE geochemical study of some Miocene submarine hydrothermal deposits (Kuroko deposits) in Japan", *Contrib Mineral Petro* 149 (2005) 388-399.
- [18] Abouchami W., Goldstein S. L., "A lead isotopic study of circum-Antarctic manganese nodules", *Geochim. Cosmochim. Acta* 59 (1995) 1809-1820.
- [19] Booiij E., Bettison-Varga L., Farthing D., Staudigel H., "Pb-isotope systematics of a fossil hydrothermal system from the Troodos ophiolite, Cyprus: Evidence for a polyphased alteration history", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64 (2000) 3559-3569.
- [20] Verati C., Lancelot J., He´kinian R., "Pb isotope study of black-smokers and basalts from Pito Seamount site _Easter microplate", *Chemical Geology* 155 (1999) 45-63.
- [21] Delkov V., Boycheva T., Hålenius U., Billström K., Kamenov G. D., Shanks W. C.,