Mineralogy and geochemistry of carbonate host rocks of the Nakhlak lead-zinc ore deposit, central Iran zone

Parastoo Golizadeh [1], Ali Abedini [1*], Farhang Aliyari[2]

[1]Geology Department, Faculty of Sciences, Urmia University, Urmia, Iran

[2] Department of Mining Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran

**Corresponding author, Tel: (044)33878039, Fax (044)32776707, E-mail: abedini2020@yahoo.com*

Abstract

The Nakhlak lead-zinc deposit is located ~55 km northeast of Anark city, Isfahan province, Central Iran Zone. This ore deposit is hosted by Upper Cretaceous carbonate rocks. Mineralogical studies show that calcite and dolomite in these carbonate rocks are accompanied by minerals such as quartz, plagioclase, kaolinite, smectite, illite and hematite. Based on the values of CaO/MgO ratio (1.51-18.29), the studied carbonate rocks are composed of dolomitic limestone and calcitic dolomite. The contents of rare earth elements (REE) in the carbonate rocks ranged from 8.67 to 21.30 ppm, which is more than the range of marine carbonates (0.4-14 ppm). The distribution pattern of REE normalized to Post-Archean Australian Shale (PAAS) show depletion of LREE compared to HREE and occurrence of negative Ce anomaly (Ce/Ce* = 0.72-0.89) and negative to positive Eu anomaly (Eu/Eu*= 0.96-1.68) in the studied samples. The detrital origin of lanthanides in the studied carbonate rocks in Nakhlak can be inferred from positive correlations between LREE with Th, Y and Nb (r = 0.76-0.86) and positive correlations between HREE with SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, Ga, Th, Y, Nb, V , and Cu (r = 0.60-0.95) along with negative correlations between CaO with LREE (r = -0.32) and HREE (r = -0.77). Changes in geochemical ratios such as Y/Ho (23.16-47.14) and Er/Nd (0.11-0.28) support this interpretation. Mineralogical evidence and geochemical studies show that the changes of Ce anomaly and the occurrence of positive Eu anomaly are related to the amounts of detrital materials and the presence of plagioclase in the studied carbonate rocks, respectively. The correlation coefficients between REE with P_2O_5 and Ce/Ce*, Eu/Eu* with Ce/Ce*, Nb, Th, Y, and Zr, also Mn with Sr indicate the lack of influence of post-depositional processes in changing the amounts of lanthanides in the studied carbonate rocks.

Key words: Mineralogy, Geochemistry, Carbonate host rocks, Lead-zinc deposit, Nakhlak, Central Iran.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

کانی‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های میزبان کربناتی کانسار سرب - روی نخلک، پهنه ایران مرکزی

پرستو قلی‌زاده[1]، علی عابدینی[1*]، فرهنگ علی‌یاری[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران

**نویسنده مسئول، تلفن: ۳۳۸۷۸۰۳۹(۰۴۴)، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷ (۰۴۴)، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com*

تاریخ تنظیم مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

چکیده

کانسار سرب - روی نخلک در فاصله ۵۵ کیلومتری شمال‌شرق شهر انارک، استان اصفهان، پهنه ایران مرکزی واقع می‌باشد. این کانسار توسط سنگ‌های کربناتی کرتاسه فوقانی میزبانی می‌شود. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهند که کلسیت و دولومیت در این سنگ‌های کربناتی توسط کانی‌هایی نظیر کوارتز، پلاژیوکلاز، کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت و هماتیت همراهی می‌شود. بر اساس مقادیر نسبت CaO/MgO (۱/۵۱-۱۸/۲۹)، سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از آهک دولومیتی و دولومیت کلسیتی تشکیل شده‌اند. مقادیر عناصر کمیاب خاکی (REE) در این سنگ‌ها در بازه‌ای از ۸/۶۷ الی ۲۱/۳۰ گرم در تن متغیر بوده، جاییکه بیشتر از محدوده کربنات‌های دریایی (۱۴-۰/۴ گرم در تن) است. الگوی توزیع REE به هنجار شده به شیل پس از آرکئن استرالیا (PAAS)، تهی‌شدگی LREE نسبت به HREE و رخداد بی‌هنجاری منفی Ce (۰/۸۹- ۰/۷۲ = Ce/Ce*) و بی‌هنجاری منفی تا مثبت Eu (۱/۶۸- ۰/۹۶ = Eu/Eu*) را در نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند. منشاء آواری لانتانیدها در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه با همبستگی‌های مثبت بین LREE با Th، Yو Nb (۰/۸۶- ۰/۷۶ = r) و مثبت بین HREE با SiO_2، Al_2O_3، TiO_2، Ga، Th، Y، Nb، V و Cu (۰/۹۵- ۰/۶۰ = r) به همراه همبستگی‌های منفی بین CaO با LREE (۰/۳۲- = r) و HREE (۰/۷۷- = r) قابل استنباط می‌باشد. تغییرات در نسبت‌های زمین‌شیمیایی نظیر Y/Ho (۴۷/۱۴ - ۲۳/۱۶) و Er/Nd (۰/۲۸- ۰/۱۱) از این تفسیر حمایت می‌کنند. شواهد کانی‌شناسی و مطالعات زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند که تغییرات بی‌هنجاری Ce و رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu به ترتیب با میزان ورود مواد آواری و حضور پلاژیوکلاز در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه مرتبط می‌باشد. ضرایب همبستگی بین REE با P_2O_5 و Ce/Ce*، Eu/Eu* با Ce/Ce*، Nb، Th، Y و Zr، همچنین Mn با Sr عدم تاثیر فرآیندهای پس از نهشت در تغییر مقادیر لانتانیدها در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه را پیشنهاد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، سنگ‌های میزبان کربناتی، کانسار سرب - روی، نخلک، ایران مرکزی.

مقدمه

کانسار سرب - روی نخلک، در فاصله ۵۵ کیلومتری شمال‌شرق شهر انارک، استان اصفهان واقع می‌باشد. این کانسار به صورت دیرزاد در درون سنگ‌های کربناتی کرتاسه فوقانی توسعه یافته و یکی از مهم‌ترین کانسارهای سرب- روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی در ایران به شمار

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

می‌رود. ماده معدنی این ذخیره توسط شرکت کیمیا گوهران به صورت زیرزمینی در سه افق ۷۵، ۱۲۰ و ۲۰۰ متری مورد استخراج و بهره برداری قرار می‌گیرد. ویژگی‌های زمین‌شناسی این کانسار از دیرباز مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است. خصوصیات کانی‌شناسی، ساختی، بافتی و زمین‌شیمیایی این کانسار توسط جزی و شهاب‌پور [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. افزون بر این، جزی و همکاران [۲] ویژگی‌های بلورشناسی و زمین‌شیمیایی کانه گالن از این کانسار را به تفصیل مطالعه نموده‌اند. ویژگی‌های چینه‌نگاری سنگی و محیط رسوبی سنگ‌های تریاس ناحیه نخلک توسط وزیری [۳] بررسی شده است. سنگ‌های کربناته - آواری کرتاسه فوقانی در محدوده معدنی نخلک اولین بار توسط وزیری و همکاران [۴] تحت عنوان واحد صدر نامگذاری شده‌اند. بر اساس این پژوهش، واحد سنگی صدر از تناوب سنگ‌های کربناتی و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. بررسی رخساره‌ای سنگ‌های کرتاسه فوقانی (واحد صدر) در محدوده نخلک توسط وزیری و همکاران [۵] انجام شده است. تاکنون مطالعات جامعی بر روی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های کربناتی کرتاسه فوقانی (واحد صدر) میزبان کانسار سرب - روی نخلک انجام نشده است. از اینرو، در این پژوهش سعی شده است با تکیه بر بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر اصلی، جزئی و کمیاب خاکی (REE) اطلاعات جامعی از منشاء لانتانیدها، شرایط تشکیل، فاکتورهای کنترل کننده توزیع REE و دلایل رخداد بی‌هنجاری‌های Eu و Ce در سنگ‌های کربناتی میزبان کانسار سرب - روی نخلک ارائه شود.

زمین‌شناسی

بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی ایران [۶]، کانسارسرب- روی نخلک در پهنه ایران مرکزی (شکل ۱) و در بلوک یزد- انارک قرار دارد. واحدهای زمین‌شناسی نخلک شامل افیولیت‌های قبل از تریاس، سنگ‌های رسوبی تریاس (گروه نخلک)، کرتاسه بالایی (واحد صدر)، پالئوسن و رسوبات آبرفتی کواترنری می‌باشند (شکل ۲). سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک قبل از تریاس قدیمی‌ترین برونزدهای منطقه مورد مطالعه می‌باشند که به عنوان بقایای افیولیتی نوع نخلک (سرپانتینیت، پریدوتیت سرپانتینیتی، بازالت و متاگابرو) شناخته می‌شوند [۱۴-۷]. سن مطلق این واحدها بطور دقیق تعیین نشده است، اما با توجه به قرارگیری آنها در زیر سنگ‌های تریاس، سن آنها به قبل از تریاس نسبت داده شده است [۱۵]. گروه نخلک به صورت تراستی بر روی این واحدهای سنگی رانده شده است [۱۱، ۱۴]. گروه نخلک در جنوب معدن نخلک (کوه قلعه بزرگ) با روند شمال‌غرب - جنوب‌شرق توالی مختلطی از سنگ‌های سیلیسی - آواری و کربناته است. این توالی از لحاظ سنگ‌شناسی مشابه توالی آق‌دربند در کپه‌داغ می‌باشد. شباهت‌های سنگ‌شناسی و بیواستراتیگرافی در این دو توالی توسط زمین‌شناسان متعددی مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۷]. این پژوهشگران بر این باورند که ته‌نشینی این دو توالی در یک محیط رسوبی مشابه در حاشیه جنوبی اوراسیا در دوره تریاس روی داده است. این محققین همچنین به این نتیجه رسیده‌اند که جایگاه امروزی گروه نخلک به احتمال قوی تحت تأثیر چرخش خرد قاره ایران مرکزی در جهت خلاف حرکت عقربه-های ساعت قرار گرفته و حرکت جانبی آن از محل حاشیه جنوبی اوراسیا از زمان تریاس انجام شده است [۱۱-۷].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

در این منطقه، واحدهای سنگی ژوراسیک با یک نبود چینه‌ای و فرسایش کامل همراه بوده است. از اینرو، بلافاصله پس از تشکیلات سنگی تریاس، سنگ‌های رسوبی کرتاسه با ضخامت تقریبی ۳۵۰ متر با یک دگرشیبی قابل مشاهده هستند. بخش بالایی گروه نخلک (واحد صدر) توسط آهک‌های کرتاسه با دگرشیبی زاویه‌دار پوشیده شده است [۱۲، ۱۶]. واحد صدر با ضخامتی بالغ بر ۲۵۸ متر از سنگ‌های کربناته و آواری تشکیل شده است. این واحد در مرز زیرین و بالایی خود بین دو ناپیوستگی محدود شده است. واحد صدر به عنوان میزبان کانسار سرب - روی نخلک در مرز زیرین به واسطه یک ناپیوستگی زاویه‌دار بر روی سنگ‌های تریاس گروه نخلک (سازندهای علم، باقرق و عشین) قرار دارد و در مرز بالایی به واسطه یک ناپیوستگی فرسایشی توسط واحدهای پالئوسن (واحد سنگی خالد) پوشیده شده است [۱۷]. البته همبری‌های یاد شده در حال حاضر به صورت گسل‌خوردگی قابل مشاهده است. این گسل‌خوردگی‌ها حکایت از آن دارد که همبری‌های توالی‌های کرتاسه و پالئوسن با توالی‌های زیرین خود، پس از تشکیل دستخوش حرکات و جابه جایی شده است. در نهایت، رسوبات آبرفتی به سن کواترنری جوان‌ترین واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند.

روش مطالعه

در این پژوهش، پس از پیمایش‌های صحرایی، در مجموع تعداد ۳۰ نمونه از سنگ‌های کربناتی از محل برونزدهای واحد صدر برداشت گردید و ویژگی‌های سنگ‌نگاری آنها با تهیه و مطالعه مقاطع نازک توسط میکروسکوپ در گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه بررسی شدند. برای شناسایی فازهای کانیایی نامشخص، تعداد ۱۱ نمونه از بین نمونه‌های برداشت شده انتخاب و با استفاده از دیفراکتومتر D-5000 مدل زیمنس (با تشعشع Cu kα، مونوکروماتورهای گرافیت ثابت شده، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت، جریان ۴۰ میلی آمپر، سرعت اسکن ۲ درجه در هر دقیقه و بازه اسکن ۲ الی ۷۰ درجه) توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تجزیه شدند. هر ۱۱ نمونه انتخابی، در ابتدا برای حذف آلودگی با آب مقطر شسته شده، خشک شدند و سپس آسیاب گردیدند. نمونه‌های آسیاب شده با استفاده از مش ۲۰۰ الک شدند و برای تعیین مقادیر عناصر اصلی، جزئی و کمیاب خاکی به روش‌های فلورسانس پرتو X (XRF) و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) به آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود ارسال و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. در روش تجزیه ICP-MS، جهت تعیین عناصر جزئی و REE، حدود ۰/۲گرم از هر نمونه در ترکیب لیتیم متابورات/تترابورات اضافه شدند و در کوره‌ای در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب گردیدند. سپس مذاب حاصل، سرد شده و در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۴ درصد/ اسید کلریدریک ۲ درصد حل شدند. در نهایت، این محلول‌ها به روش ICP-MS تجزیه گردیدند. مقدار LOI این نمونه‌ها بوسیله کاهش وزن یک گرم نمونه بعد از حرارت دادن در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۹۰ دقیقه اندازه گیری شد. مقادیر حد آشکارسازی برای اکسیدها حدود ۰/۰۱ در صد وزنی، برای عناصر جزئی بین ۰/۰۴ الی۱۰ گرم در تن و برای عناصر کمیاب خاکی بین ۰/۰۱ الی ۰/۵ گرم در تن بوده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

بحث و بررسی

سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی، سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه حاوی بافت‌های تخریبی و بیوکلاستیک- میکریتی می‌باشند. کلسیت و دولومیت کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند. کانی‌های کلسیت به صورت بلورهای ریز و درشت در مقاطع مشاهده می‌شوند. کلسیت‌های ریز بلور به صورت میکریت و سیمان اسپاری بخش اعظم زمینه سنگ را تشکیل می‌دهند. این در حالی است که کلسیت‌های درشت بلور اغلب در درز و شکاف‌های سنگ توسعه یافته‌اند (شکل ۳ الف و ب). کانی‌های دولومیت اغلب به صورت بلورهای رومبوئدر قابل رؤیت هستند (شکل ۳ پ). در اغلب این بلورهای شکل‌دار، منطقه‌بندی واضحی دیده می‌شود. کانی‌های اوپک در این سنگ‌ها در بین بلورهای کلسیت و دولومیت توسعه یافته‌اند (شکل ۳ ت). کوارتز به دو فرم ریز منفرد و تجمعی در زمینه سنگ حضور دارد (شکل ۳ ت). کوارتزهای دانه ریز زاویه‌دار بوده ولی کوارتزهای دانه درشت به شکل نیمه‌زاویه‌دار تا گرد شده با خاموشی موجی قابل رویت می‌باشند.

آنالیزهای XRD نشان می‌دهند که سنگ‌های کربناتی میزبان کانسار سرب و روی نخلک از کانی‌شناسی به نسبت ساده‌ای برخوردار هستند. بر اساس نتایج به دست آمده، کلسیت و دولومیت دو فازهای کانیایی اصلی در این سنگ‌ها می‌باشند. کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز، کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت و هماتیت از دیگر فازهای کانیایی حاضر در سنگ‌های کربناتی هستند که در مقادیر فرعی حضور دارند. کوارتز تنها کانی در این سنگ‌ها می‌باشد که در تعدادی از نمونه‌ها فاز کانیایی اصلی و در تعدادی دیگر فاز کانیایی فرعی است (شکل ۴، جدول ۱).

زمین‌شیمی

زمین‌شیمی عناصر اصلی

مقادیر عناصر اصلی در سنگ‌های کربناتی میزبان کانسار سرب - روی نخلک در جدول ۲ لیست شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، CaO، SiO_2 و MgO نسبت به سایر اکسیدهای تشکیل دهنده فراوانی بیشتری دارند. مقدار CaO در نمونه‌های مورد مطالعه بوده در بازه‌ای از ۲۵/۹۶ الی ۵۰/۱۲ درصد وزنی (به طور میانگین ۳۸/۰۴ درصد وزنی) متغیر است. SiO_2 و MgO نیز به ترتیب بازه تغییراتی از ۴/۴۶ الی ۲۹/۹۲ درصد وزنی (به طور میانگین ۱۴/۳۴ درصد وزنی) و ۲/۷۴ الی ۱۷/۱۶ درصد وزنی (به طور میانگین ۷/۰۵ درصد وزنی) را نشان می‌دهد. مقدار Al_2O_3 در سنگ‌های کربناتی در دامنه‌ای از ۰/۶۸ الی ۳/۲۵ درصد وزنی (به طور میانگین ۲/۰۴ درصد وزنی) در نوسان است. Al_2O_3 به عنوان یک پروکسی برای تعیین مقدار رس در سنگ‌های کربناتی استفاده می‌شود [۱۸، ۱۹]. مقدار بالای Al_2O_3 در نمونه‌های مورد مطالعه نسبت به کربنات‌های آلوده شده به شیل (۰/۴۲ درصد وزنی) [۲۰] دلالت بر فراوانی بیشتر رس‌ها در سنگ‌های کربناتی محدوده نخلک دارد. Fe_2O_3 در نمونه‌ها بازه تغییراتی از ۱/۴۴ الی ۴/۳۳ درصد وزنی (به طور میانگین ۲/۶۷ درصد وزنی) را به

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

خود اختصاص داده است. سایر اکسیدها شامل K_2O، Na_2O، MnO، TiO_2 و P_2O_5 دارای فراوانی کمی بوده و در مجموع ۰/۲۲ الی ۱/۲۸ درصد وزنی ترکیب شیمیایی سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. مقدار LOI در نمونه‌ها در بازه‌ای از ۲۷/۵۵ الی ۳۹/۸۵ درصد وزنی در نوسان است.

الگوی توزیع عناصر اصلی به هنجار شده به شیل پس از آرکئن استرالیا (PAAS) [۲۱] تهی‌شدگی اجزایی نظیر Na_2O، K_2O، TiO_2، Al_2O_3، SiO_2، P_2O_5 و غنی‌شدگی CaO، MgO و MnO (در اغلب نمونه‌ها) را نشان می‌دهد (شکل ۵). تهی‌شدگی K_2O و غنی‌شدگی CaO نسبت به سایر اکسیدها شدیدتر می‌باشد (شکل ۵). بر اساس طبقه‌بندی ترکیب شیمیایی سنگ‌های کربناتی [۲۲]، نمونه‌های مورد مطالعه شامل دو بازه تغییرات $CaO/MgO <$ ۹/۰۰ $> CaO/MgO >$ ۵/۰۴ و $CaO/MgO <$ ۳/۵۴ $> CaO/MgO >$ ۱/۵۱ بوده و به ترتیب ترکیبی در حد آهک دولومیتی و دولومیت کلسیتی دارند. وجود همبستگی منفی قوی بین CaO-MgO ($r = -$ ۰/۸۳) (شکل ۶ الف) و منفی ضعیف بین CaO-Na_2O ($r = -$ ۰/۳۶) با فرآیند دولومیتی‌شدن در ارتباط می‌باشد. همبستگی مثبت قوی بین Al_2O_3-Fe_2O_3 ($r =$ ۰/۸۲) پیشنهاد می‌کند که علاوه بر تشکیل هماتیت در نمونه‌های مورد مطالعه، آهن اضافی توسط کانی‌های رسی در سیستم تثبیت شده است [۲۳]. همبستگی مثبت متوسط تا قوی بین TiO_2، Al_2O_3، Na_2O و K_2O با SiO_2 ($r =$ ۰/۶۰ -۰/۷۶) (جدول ۳) نشان می‌دهد که این عناصر به ورود مواد تخریبی به محیط نهشت وابسته بوده و به عنوان ناخالصی به سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه وارد شده‌اند. این استنباط با همبستگی منفی بین CaO و SiO_2 ($r = -$ ۰/۷۹) (شکل ۶ ب) تایید می‌شود.

زمین‌شیمی عناصر جزئی

مقادیر عناصر جزئی در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این یافته‌ها، Sr (۲۰۱ الی ۸۵۰ گرم در تن، به طور میانگین ۴۲۳ گرم در تن)، Ni (۱۲۱ الی ۵۷۸ گرم در تن، به طور میانگین ۳۲۱ گرم در تن)، Cr (۱۱ الی ۹۵ گرم در تن، به طور میانگین ۴۸ گرم در تن) و V (۱۷/۴ الی ۷۵/۹ گرم در تن، به طور میانگین ۴۱/۵ گرم در تن) بیشترین فراوانی را در بین عناصر جزئی دارند. Zn، Ba، Co، Zr، Sc و Y از نظر فراوانی در اولویت بعدی قرار دارند. کمترین میزان تمرکز عناصر جزئی در سنگ‌های کربناتی مربوط به Rb، Nb، U و Th می‌باشد. الگوی توزیع عناصر جزئی به هنجار شده به PAAS [۲۱] دلالت بر غنی‌شدگی Ni و تهی‌شدگی Ba، Rb، Th، U، Nb، Zr، Cr، Cu و Zn دارد. عناصری نظیر Sc، V و Sr رفتار دو گانه کاهشی و افزایشی نشان می‌دهند که می‌تواند با میزان متفاوت ورود مواد آواری به محیط نهشت سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه مرتبط باشد (شکل ۷).

بر اساس نتایج به دست آمده، میانگین غلظت Sr در سنگ‌های آهکی مورد مطالعه کمتر از میانگین کربنات لیتوسفر [۲۴] ($Sr =$ ۶۱۰ گرم در تن) است. مقادیر نسبت Sr/Ba در سنگ آهک‌ها دارای بازه تغییرات ۶/۳۷ الی ۶۷/۴۶ می‌باشد (جدول ۱)، جاییکه یک محیط دریایی ($Sr/Ba >$ ۱) را برای نمونه‌های مورد مطالعه منعکس می‌سازد. همبستگی مثبت و متوسط تا قوی بین Al_2O_3 با Sc، V، Y، Zr، Cu و Zn ($r \geq$ ۰/۷۰) دلالت بر نقش کنترلی کانی‌های رسی در تمرکز این عناصر دارد (جدول ۵) [۲۵، ۲۶]. همبستگی مثبت و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

متوسط بین K_2O-Rb ($r = ۰/۷۰$) و SiO_2-Ni ($r = ۰/۷۰$) به ترتیب به نقش کنترلی ایلیت و کانی‌های سیلیکاتی در تمرکز Rb و Ni اشاره دارد. همبستگی مثبت خیلی ضعیف ($r < ۰/۶$) بین Sr و CaO ($r = ۰/۵۸$) نشان می‌دهد که Sr و CaO از نظر ژنتیکی به احتمال قوی با هم در ارتباط نیستند و توزیع و تمرکز Sr ممکن است تحت تأثیر ورود مواد آواری به محیط ترسیب سنگ آهک‌ها صورت گرفته باشد. بررسی‌ها نشان داده است که همبستگی Mn-Sr برای بررسی تاثیرات فرآیندهای دیاژنتیکی در سنگ‌های آهکی به کار می‌رود [۲۷]. در این مطالعه، ارتباط مثبت خیلی ضعیفی بین Mn و Sr ($r = ۰/۴۴$) وجود دارد. این ارتباط خیلی ضعیف به خوبی نشان می‌دهد که سنگ‌های آهکی مورد مطالعه تغییرات دیاژنتیکی عمده‌ای را تجربه نکرده‌اند. تمرکز پایین U (۰/۱۱ الی ۱/۸۷ گرم در تن، به طور میانگین ۰/۸۷ گرم در تن) دلالت بر تشکیل سنگ‌های کربناتی در یک محیط کم عمق و غنی از اکسیژن دارد [۲۶، ۲۷].

زمین‌شیمی عناصر کمیاب خاکی

منشاء REE و الگوی توزیع

مقادیر لانتانیدها به همراه برخی از پارامترهای زمین‌شیمیایی محاسبه شده مرتبط با آنها در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه در جدول ۶ لیست شده است. بر این اساس، مقادیر REE (La-Lu) در نمونه‌های کربناتی در بازه‌ای از ۸/۶۷ الی ۲۱/۳ گرم در تن (میانگین ۱۵/۰۹ گرم در تن) متغیر است. این بازه کمتر از مقادیر REE شیل بعد از آرکئن استرالیا (PAAS) (۲۱۰ گرم در تن) و بالاتر از محدوده کربنات‌های دریایی (۰/۴ الی ۱۴ گرم در تن) [۲۴] می‌باشد. مقادیر LREE (La-Eu) و HREE (Gd-Lu) در سنگ‌های کربناتی به ترتیب دارای بازه تغییراتی از ۶/۶۲ الی ۱۱/۵۲ گرم در تن و ۱/۵۴ الی ۳/۷۸ گرم در تن هستند (جدول ۶). الگوی توزیع REE به هنجار شده به PAAS [۲۱] نمونه‌های مورد مطالعه تهی‌شدگی REE و رخداد بی‌هنجاری منفی Ce و مثبت Eu را نشان می‌دهد، با این توضیح که تهی‌شدگی LREE نسبت به HREE شدیدتر بوده است (شکل ۸). این الگو کمابیش مشابه با الگوی توزیع لانتانیدها در آب دریا است [۲۸]، با این تفاوت که مقادیر بی‌هنجاری‌های منفی Ce و درجه تفریق LREE نسبت به HREE در نمونه‌های کربناتی مورد مطالعه ضعیف‌تر از آب دریا و مقادیر بی‌هنجاری‌های مثبت Eu در نمونه‌های کربناتی قوی‌تر از آب دریا می‌باشد. این نوع عدم شباهت‌ها در الگوی توزیع REE در سنگ‌های کربناتی با آب دریا می‌تواند به عواملی نظیر، (۱) لیتولوژی و دیاژنز، (۲) مقدار مواد آواری و (۳) فرآیندهای روبش توسط اکسیدهای آهن و منگنز وابسته باشد [۲۹-۳۲]. همبستگی‌های مثبت ناچیز ($r < ۰/۶$) بین REE با Fe_2O_3 ($r = ۰/۲۷$) و عدم همبستگی بین REE با MnO ($r = ۰/۰۱$) احتمال ایجاد آلودگی‌های مهم و قابل توجه توسط هماتیت و اکسیدهای منگنز در سنگ‌های کربناتی محدوده نخلک را منتفی می‌سازد [۳۳]. افزون بر این، همبستگی مثبت ناچیز ($r < ۰/۶$) بین REE با P_2O_5 ($r = ۰/۱۵$) عدم نقش سیالات دیاژنتیک در تامین REE در سنگ‌های کربناتی را نشان می‌دهد [۳۴، ۳۵]. منشاء آواری لانتانیدها در سنگ‌های کربناتی کرتاسه فوقانی در نخلک با همبستگی‌های مثبت متوسط تا قوی بین LREE با Th، Yو Nb ($r = ۰/۷۶$ -۰/۸۶) و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

مثبت متوسط تا قوی بین HREE با SiO_2، Al_2O_3، TiO_2، Th، Y، Nb، V و Cu (r = ۰/۶۰ - ۰/۹۵) و همبستگی‌های منفی بین CaO-LREE (r = - ۰/۳۲) و CaO-HREE (r = -۰/۷۷) قابل استنباط می‌باشد [۲۵، ۲۶].

نسبت‌های Y/Ho و Er/Nd در سنگ کربناتی

نسبت Y/Ho یک شاخص زمین‌شیمیایی بسیار مفید برای تشخیص وجود مواد آواری در سنگ‌های کربناتی می‌باشد. آب دریا و رسوبات شیمیایی دریایی عاری از آلودگی دارای نسبت Y/Ho بین ۴۴ تا ۷۴ هستند. این در حالی است که خاکستر آتشفشانی و مواد آواری دارای نسبت Y/Ho در حدود ۲۸ هستند [۳۳، ۳۶]. بررسی‌ها نشان داده است که با افزایش آلودگی توسط ورود مواد آواری، نسبت Y/Ho آب دریا و رسوبات شیمیایی دریایی کاهش می‌یابد [۳۷]. در این پژوهش، نسبت Y/Ho در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه در بازه‌ای از ۲۳/۱۶ تا ۴۷/۱۴ (میانگین ۳۴/۹۶) متغیر است (جدول ۶). این مقادیر به وضوح نشان می‌دهند که سنگ‌های کربناتی مورد بررسی به احتمال فراوان توسط مواد تخریبی متحمل آلودگی شده‌اند.

مقدار نسبت Er/Nd در آب دریای نرمال حدود ۰/۲۷ می باشد [۳۸]. نسبت‌های Er/Nd در سنگ‌های کربناتی به طور موثری می‌توانند سیماهای زمین‌شیمیایی به ارث رسیده از آب دریا به آهک‌های دریایی را آشکار نمایند. مواد تخریبی می‌توانند بواسطه تمرکز ترجیحی Nd نسبت به Er، این نسبت را به مقادیر کمتر از ۰/۱ کاهش دهند [۲۸، ۳۹]. نسبت‌های Er/Nd در نمونه‌های مورد مطالعه بازه تغییراتی از ۰/۱۱ الی ۰/۲۸ (به طور متوسط ۰/۱۴) را به نمایش می‌گذارند (جدول ۶). این مقادیر دلالت بر نقش موثر و مهم مواد تخریبی در توزیع Er و Nd در سنگهای کربناتی کرتاسه فوقانی محدوده نخلک دارند.

تفسیر بی‌هنجاری Eu در سنگ‌های کربناتی

مقادیر بی‌هنجاری‌های Eu کمک شایانی در درک و فهم شرایط فیزیکوشیمیایی سیستم‌های مختلف زمین‌شیمیایی نظیر محیط تشکیل سنگ‌های کربناتی می‌نماید [۴۰]. در این پژوهش، برای محاسبه مقادیر بی‌هنجاری Eu در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از رابطه زیر استفاده گردید [۲۱].

$$Eu/Eu^* = Eu_N/\sqrt{(Sm_N \times Gd_N)}$$

در این رابطه، حرف N به هنجار شدن مقادیر Eu، Sm و Gd نسبت به PAAS [۲۱] را نشان می‌دهد. مقادیر Eu، Sm و Gd در PAAS به ترتیب ۱/۰۸، ۵/۵۵ و ۴/۶۶ گرم در تن می‌باشند [۲۱]. محاسبات انجام شده حکایت از آن دارد که مقدار Eu/Eu* در نمونه‌های مورد مطالعه در بازه‌ای از ۰/۹۶ الی ۱/۶۸ (به طور میانگین ۱/۳۴) متغیر است (جدول ۶). به طور معمول بی‌هنجاری‌های مثبت Eu (به هنجار شده به PAAS) در سنگ‌های کربناتی ایجاد می‌شوند که تحت تاثیر فرایندهای گرمابی قرار گرفته باشند [۴۱، ۴۲]. افزون بر این، دیاژنز شدید [۲۳، ۴۳]، تغییر در مقدار کانی‌های فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز [۴۳] و ورود توسط باد [۴۴] از جمله فاکتورهایی دیگری هستند که می‌توانند سبب ایجاد بی‌هنجاری‌های مثبت در سنگ‌های کربناتی شوند. همبستگی منفی بین Eu/Eu*-Ba (r = -۰/۱۴) نقش فعالیت‌های گرمابی در رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه را منتفی می‌کند [۴۵] (شکل ۹ الف). تا به حال،

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

مواد بادی از سنگ‌های کربناتی کرتاسه بالایی نخلک گزارش نشده است. نقش فرایندهای دیاژنتیک در رخداد بی‌هنجاری‌های مثبت Eu در سنگ‌های کربناتی می‌تواند از روی همبستگی مثبت بین *Eu/Eu با عناصر کم‌تحرکی چون Zr، Y، Th و Nb مورد ارزیابی قرار گیرد [۴۲]. عدم وجود همبستگی‌های مثبت قوی بین Eu/Eu*-Zr (r = ۰/۱۷) (شکل ۹ ب)، Eu/Eu*-Y (r = ۰/۱۷) (شکل ۹ پ)، Eu/Eu*-Th (r = -۰/۰۵) (شکل ۹ ت) و Eu/Eu*-Nb (r = -۰/۰۴) (شکل ۹ ث)، از عدم نقش فرآیندهای دیاژنتیک در رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه حکایت دارد. افزون بر این، عدم وجود همبستگی مثبت مناسب (r > ۰/۶) بین Eu/Eu*-REE (r = ۰/۰۹) (شکل ۹ ج) فقدان هر گونه تاثیرات فرآیندهای پس از نهشت (دیاژنز) بر روی رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu را آشکار می‌کند [۴۶]. با توجه به وجود پلاژیوکلاز در نمونه‌های مورد مطالعه (آنالیزهای XRD)، به نظر می‌رسد تنها دلیل منطقی برای رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu در نمونه‌ها می‌تواند ورود این کانی تخریبی به سنگ‌های کربناتی در حین نهشت باشد [۲۳].

تفسیر بی‌هنجاری Ce در سنگ‌های کربناتی

در این پژوهش، برای محاسبه مقادیر بی‌هنجاری Ce در نمونه‌های کربناتی مورد مطالعه از رابطه زیر استفاده گردید [۲۱].

$$Ce/Ce^* = 2Ce_N / (La_N + Pr_N)$$

در این رابطه، حرف N به هنجار شدن مقادیر Ce، La و Pr نسبت به PAAS [۲۱] را نشان می‌دهد. مقادیر Ce، La و Pr در PAAS به ترتیب ۷۹/۶، ۳۸/۲ و ۸/۸۳ گرم در تن می‌باشند [۲۱]. محاسبات انجام شده حکایت از آن دارد که مقدار *Ce/Ce در نمونه‌های مورد مطالعه در بازه‌ای از ۰/۷۲ الی ۰/۸۹ (میانگین ۰/۸۰) متغیر است (جدول ۶). در آب‌های اقیانوسی، مقدار *Ce/Ce دارای بازه تغییراتی از ۰/۱> الی ۰/۴ می‌باشد [۴۷]. در شیل‌ها، مقدار متوسط *Ce/Ce در حدود ۱ است [۴۲، ۴۸]. از اینرو، به نظر می‌رسد که مقدار *Ce/Ce در سنگ‌های کربناتی تابعی از نسبت بین ترسیب از آب دریای خالص و آلودگی با مواد آواری باشد [۲۳]. نبود همبستگی‌های مثبت بین Ce/Ce*-U (r = - ۰/۳۳) (شکل ۱۰ الف) و Ce/Ce*-CaO (r = -۰/۱۴) (شکل ۱۰ ب) نشان می‌دهد که تغییرات در مقادیر بی‌هنجاری Ce به شرایط ردوکس محیط تشکیل سنگ‌های کربناتی ارتباطی ندارد [۳۴]. نبود همبستگی مثبت *Ce/Ce با Fe_2O_3 (r= -۰/۰۶) (شکل ۱۰ پ) و MnO (r = -۰/۱۶) (شکل ۱۰ ت) نشان می‌دهند که سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه در یک محیط دریایی کم عمق نهشته شده‌اند. به طور معمول، در این تیپ محیط‌ها نقش فرآیندهای روبش توسط اکسیدهای آهن و منگنز در مقایسه محیط‌های دریایی عمیق بسیار ناچیز می‌باشد [۳۰، ۳۱]. فقدان همبستگی مثبت بین *Ce/Ce-Eu/Eu* (r = -۰/۲۱) (شکل ۱۰ ث) پیشنهاد می‌کند که تغییرات پس از نهشت (دیاژنز) تاثیری بر روی مقادیر بی‌هنجاری Ce در سنگ آهک‌های مورد مطالعه نداشته است [۴۹-۵۱]. مطالعات قبلی نشان داده است که جذب REE در طی تغییرات پس از نهشت همبستگی مثبتی بین بی‌هنجاری Ce و REE ایجاد می‌کند [۳۲، ۵۲]. نبود همبستگی مثبت بین Ce/Ce*-REE (r = -۰/۰۶) (شکل ۱۰ ج) دلالت بر عدم تاثیر فرآیندهای پس از نهشت بر روی تغییرات ایجاد شده در مقادیر بی‌هنجاری Ce دارد. آنچه که از این بحث‌ها می‌توان استنباط نمود این است که مقدار و تغییرات بی‌هنجاری Ce در سنگ‌های کربناتی میزبان کانسار سرب و روی نخلک توسط میزان ورود مواد تخریبی به محیط نهشت کنترل شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

برداشت

مهم‌ترین نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی بر روی سنگ‌های کربناتی کرتاسه فوقانی میزبان کانسار سرب - روی نخلک عبارتند از:

۱- سنگ‌های کربناتی شامل کلسیت، دولومیت، کوارتز، پلاژیوکلاز، کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت، و هماتیت بوده و از آهک دولومیتی و دولومیت کلسیتی تشکیل شده اند.

۲- بر اساس نسبت Sr/Ba و عدم وجود همبستگی مثبت Ce/Ce* با MnO و Fe_2O_3، سنگ‌های کربناتی در یک محیط دریایی کم عمق توسعه و تکامل یافته‌اند.

۳- مقادیر نسبت‌های زمین شیمیایی نظیر Y/Ho و Er/Nd نشان می‌دهند که توزیع REE در سنگ‌های کربناتی توسط میزان ورود مواد تخریبی به محل نهشت کنترل شده است.

۴- همبستگی‌های مثبت لانتانیدها با اجزایی نظیر SiO_2، Al_2O_3، TiO_2، Ga، Th، Y، Nb، V و Cu و همبستگی‌های منفی آنها با CaO آشکار می‌کنند که REE در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه منشاء آواری دارند.

۵- عدم نقش فرآیندهای دیاژنتیک بر روی توزیع و مقدار REE در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه با همبستگی‌های منفی و یا مثبت خیلی ضعیف بین $REE-P_2O_5$، Mn-Sr، REE-Ce/Ce* و Eu/Eu*Ce/Ce* قابل استنباط است.

۶- همبستگی‌های منفی Ce/Ce* با U، CaO، Fe_2O_3، MnO، REE و Eu/Eu* حکایت از آن دارند که سنگ‌های کربناتی در یک محیط کم عمق تشکیل شده و تغییرات مقادیر بی‌هنجاری Ce به شرایط پتانسیل اکسیداسیون - احیای محیط تشکیل ارتباطی ندارد. این مطالعه نشان می‌دهد که فرآیندهای پس از نهشت تاثیری بر روی تغییرات بی‌هنجاری Ce نداشته و تغییرات این بی‌هنجاری به احتمال قوی توسط میزان ورود مواد تخریبی به محیط نهشت کنترل شده است.

۷- این پژوهش نشان می‌دهد که فرآیندهای روبش، فعالیت‌های گرمابی و دیاژنز نقشی در رخداد بی‌هنجاری مثبت Eu نداشته و این بی‌هنجاری مثبت ایجاد شده با ورود پلاژیوکلازهای تخریبی به محیط نهشت سنگ‌های کربناتی در ارتباط می‌باشد.

سپاسگزاری

این پژوهش از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده است، لذا نگارندگان بدینوسیله نهایت سپاس و قدردانی خود را از اکلیه مسئولین مربوطه اعلام می‌دارند. نگارندگان، همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

کتاب‌نگاری

[1] Jazi M. A., Shahabpour J., *"Investigating mineralogical, structural, textural and geochemical characteristics of Nakhlak lead mine, Isfahan"*, Iranian Journal of Economic Geology 2 (2010) 131–151.

[2] Jazi M. A., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Galena crystallography, mineralogy and geochemistry, Nakhlak lead deposit (Isfahan)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (2016) 3–18.

[3] Vaziri S. H., *"Lithostratigraphy, biostratigraphy and sedimentary environments of Triassic rocks of the Nakhlak area in N.E. Anarak (Central Iran) and preparing geological map of the studied area with scale of 1:20.000"*, Islamic Azad University., Science and Research Branch, Tehran, Ph.D. thesis, (1996) 344p.

[5] Vaziri S. H., Senowbari-Daryan B., Kohansal Ghadimvand N., *"Lithofacies and microbiofacies of the Upper Cretaceous rocks (Sadr unit) of Nakhlak area in northeastern Nain, Central Iran"*, Journal of Geosciences 4 (2005) 71–80.

[6] Nabavi M. H., "*An Introduction to the Geology of Iran*", Geological Survey of Iran Publication (1976) 1–105.

[7] Seyed-Emami K., Brants A., Bozorgnia F., *"Stratigraphy of the cretaceous rocks south east of Esfahan"*, Geology Survey of Iran, Rep. No 20 (1971) 5–27.

[8] Davoudzadeh M., Soffel H., Schmidt K., *"On the rotation of Central-East-Iran microplate*", Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen 3 (1981)180–192.

[9] Soffel H. C., Forster H. G., *"Polar wander path of the central Iran microplate including new results, Geodynamic project (Geotraverse) in Iran"*, Geological Survey of Iran (Final Report), Rep. No. 51 (1983) 13–26.

[10] Ruttenr A. W., *"Geology of the Aghdarband area (kopet Dagh, NE-Iran)"*, Geologie Abhandlungen B.A. 38 (1991) 7–79.

[11] Alavi M., Vaziri H., Seyed-Emami K., Lasemi Y., *"The Triassic and associated rocks of the Nakhlak and Aghdarband areas in central and Northeastern Iran as remnants of the Southern Turanian continental margin"*, Geological Society of America Bulletin 109 (1997) 1563–1575.

[12] Balini M., Nicora A., Berra F., Garzanti E., Levera M., Mattei M., Muttoni G., Zahchi A., Bollati I., Larghi C., Zanchetta S., Salamati R., Mossavvari F., *"The Triassic stratigraphic succession of Nakhlak (Central Iran), a record from an active margin. South Caspian to Central Iran Basins"*, Geological Society of London, Specical Publications 312 (2009) 287–321.

[13] Zanchi A., Zanchetta S., Garzanti E., Balini M., Berra F., Mattei M., Muttoni G., *"The Cimmerian evolution of the Nakhlak-Anarak area (Central Iran) and its bearing for the reconstruction of the history of the Eurasian margin, South Caspian to Central Iran Basins"*, Geological Society of London, Specical Publications 312 (2009) 261–286.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

[14] Holzer H. F., Ghassemipour R., *"Geology of the Nakhlak lead mine area (Anarak district, Central Iran)"*, Geological Survey of Iran (1969) 44 p.

[15] Vaziri S. H., *"The Triassic Nakhlak Group, an exotic succession in Central Iran"*, The fourth International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey (2001) 53–68.

[16] Davoudzadeh M., Seyed-Emami K., Amidi S. M., *"Stratigraphy of the Triassic Nakhlak Group, Anarak Region, Central Iran"*, Geological Survey of Iran, Rep. no. 28 (1972) 5–28, Tehran.

[17] Vaziri S. H., Fursich F. T., Kohansalghadimvand N., "*Facies analysis and depositional environments of the Upper Cretaceous Sadr unit in the Nakhlak area, Central Iran*", Revista Mexicanade Ciencias Geológicas 29 (2012) 384–397.

[18] Song C., Herong G., Linhua S., "*Geochemical characteristics of REE in the Late Neo-Proterozoic limestone from northern Anhui Province, China*", Chinese Journal of Geochemistry 33 (2014)187–193.

[19] Nothdurft L. D., Webb G. E., Kamber B. S.,"*Rare earth element geochemistry of Late Devonian reefal carbonates, Canning Basin, Western Australia: Confirmation of a seawater REE proxy in ancient limestones*", Geochimica et Cosmochimica Acta 68 (2004) 263–283.

[20] Veizer J., "*Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates*", In: Reeder, R.J. (Ed.), Carbonates: Mineralogy and Chemistry, Mineralogical Society of America 11 (1983) 265–299.

[21] Taylor S. R., McLennan S. M., "*The continental crust: Its composition and evolution*", Blackwell, Oxford, (1985) 349p.

[22] Frolova E. K., "*On classification of carbonate rocks of limestone-dolomite-magnesite series: NovostiNeft* ", Geology 3 (1959) 34–35.

[23] Murray R. W., Buchholtz M. R., Brumsack H. J., "*Rare earth elements in Japan Sea sediments and diagenetic behavior of Ce/Ce*, results from ODP leg 127*", Geochimica et Cosmochimica Acta 55 (1991) 2453–2466.

[24] Turekian K. K., Wedepohl K. H., "*Distribution of elements in some major units of earth's crust*", Geological Society of American Bulletin 72 (1961) 175–192.

[25] Nagarajan R., Madhavaraju J., Armstron-Altrin J. S., Nagendra R., "*Geochemistry of Neoproterozoic limestones of the Shahabad Formation, Bhima Basin, Karnataka, southern India*", Geoscience Journal 15 (2011) 9–25.

[26] Madhavaraju J., Ramasamy S.,"*Rare earth elements in limestones of Kallankurichchi Formation of Ariyalur Group, Tiruchirapalli Cretaceous, Tamil Nadu*", Geological Society of India 54 (1999) 291–301.

[27] Brand U., Veizer J., " *Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system: I. Trace elements*", Journal of Sedimentary Petrology 50 (1980) 1219–1236.

[28] Bellanca A., Masetti D., Neri R., "*Rare earth elements in limestone/marlstone couplets from the Albian–Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): Assessing REE sensitivity to environmental changes*", Chemical Geology 141 (1997) 141–152.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

[29] Elderfield H., Upstill-Goddard R., Sholkovitz E. R.,"*The rare earth elements in rivers, estuaries and coastal seas and their significance to the composition of ocean waters*", Geochimica et Cosmochimica Acta 54 (1990) 971–991.

[30] Madhavaraju J., González-León C. M., Lee Y. I., Armstrong-Altrin J. S., Reyes-Campero L. M.,"*Geochemistry of the Mural Formation (Aptian–Albian) of the Bisbee Group, Northern Sonora, Mexico*", Cretaceous Research 31 (2010) 400–414.

[31] Armstrong-Altrin J. S., Verma S. P., Madhavaraju J., Lee Y. I., Ramasamy S.,"*Geochemistry of Late Miocene Kudankulam Limestones, South India*", International Geology Review 45 (2003)16–26.

[32] Alexander B. W., Bau M., Andersson P., Dulski P.,"*Continentally derived solutes in shallow Archean seawater: Rare earth element and Nd isotope evidence in iron formation from the 2.9 Ga Pongola Supergroup. South Africa*", Geochimica et Cosmochimica Acta 72 (2008) 378–394.

[33] Bau M., "*Controls on the fractionation of isovalent trace elements in magmatic and aqueous systems: evidence from Y/Ho, Zr/Hf, and lanthanide tetrad effect*", Contributions to Mineralogy and Petrology 123 (1996) 323–333.

[34] Özyurt M., Kirmaci M. Z., Al-Aasm I., Hollis C., Tash K., Kandemir R., *REE characteristics of lower cretaceous limestone succession in Gumushane, NE Turkey: Implications for ocean paleoredox conditions and diagenetic alteration*", Minerals 10 (2020) 683.

[35] Tobia F. H., "*Stable isotope and rare earth element geochemistry of the Baluti carbonates (Upper Triassic), Northern Iraq*", Geoscience Journal 22 (2018) 975–987.

[36] Nozaki Y., Zhang J., Amakawa H., " *The fractionation between Y and Ho in the marine environment*", Earth and Planetary Science Letters 148 (1997) 329–340.

[37] Webb G. E., Kamber B. S.,"*Rare earth elements in Holocene reefal microbialites: A shallow seawater proxy*", Geochimica et Cosmochimica Acta 64 (2000) 1557–1565.

[38] De Baar H. J., German C. R., Elderfield H., Van Gaans P., "*Rare earth element distributions in anoxic waters of the Cariaco Trench*", Geochimica et Cosmochimica Acta 52 (1988) 1203–1219.

[39] German C. R., Elderfield H., "*Application of the Ce anomaly as a paleoredox indicator: the ground rules*", Paleoceanography 5 (1990) 823–833.

[40] Derry L. A., Jacobsen S. B., "*The chemical evolution of Precambrian seawater: Evidence from REEs in banded iron formations*", Geochimica et Cosmochimica Acta 54 (1990) 2965–2977.

[41] Siby K., Nath B. N., Ramaswamy V., Naman D., Rao T., Raju K. K., Selvaraj K., Chen C. T. A., "*Possible detrital, diagenetic and hydrothermal sources for Holocene sediments of the Andaman backarc basin*", Marine Geology 247 (2008) 178–193.

[42] Madhavaraju J., Lee Y. I., "*Geochemistry of the Dalmiapuram Formation of the Uttatur Group (Early Cretaceous), Cauvery basin, southeastern India: Implications on provenance and paleo-redox conditions*", Revista Mexicana de Ciencias Geologicas 26 (2009) 380–394.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

[43] Nath B. N., Bau M., Ramalingeswara R. B., Rao C. M., "*Trace and rare earth elemental variation in Arabian Sea sediments through a transect across the oxygen minimum zone*", Geochimica et Cosmochimica Acta 61 (1997) 2375–2388.

[44] Elderfield H., Greaves M. J., "*The rare earth elements in seawater*", Nature 296 (1982) 214–219.

[45] Hu M., Ngia N. R., Gao D., "*Dolomitization and hydrotectonic model of burial dolomitization of the Furongian-lower Ordovician carbonates in the Tazhonhg Uplift, central Tarim Basin, NW China: Implications from petrography and geochemistry*", Marine Petrolium Geology 106 (2019) 88–115.

[46] Shields G. A., Webb G. E., "*Has the REE composition of seawater changed over geologic time*", Chemical Geology 204 (2004) 103–115.

[47] Allwood A. C., Kamber B. S., Walter M. R., Burch I. W., Kanik I., "*Trace elements record depositional history of an Early Archean stromatolitic carbonate platform*", Chemical Geology 270 (2010) 148–163.

[48] Piepgras D. J., Jacobsen S. B., "*The behavior of rare earth elements in seawater: Precise determination of variations in the North Pacific water column*", Geochimica et Cosmochimica Acta 56 (1992) 1851–1862.

[49] Alibo D. S., Nozaki Y., "*Rare earth elements in seawater: Particle association, shale-normalization, and Ce oxidation*", Geochimica et Cosmochimica Acta 63 (1999) 363–372.

[50] Bau M., Alexander B., "*Preservation of primary REE patterns without Ce anomaly during dolomitization of Mid-Paleoproterozoic limestone and the potential re-establishment of marine anoxia immediately after the ''Great Oxidation Event*", South African Journal of Geology 109 (2006) 81–86.

[51] Liu X. M., Hardisty D. S., Lyons T. W., Swart P. K., "*Evaluating the fidelity of the cerium paleoredox tracer during variable carbonate diagenesis on the Great Bahamas Bank*", Geochimica et Cosmochimica Acta 248 (2019) 25–42.

[52] Shields, G., Stille P., "*Diagenetic constraints on the use of cerium anomalies as palaeoseawater redox proxies: An isotopic and REE study of Cambrian phosphorites*", Chemical Geology 175 (2001**)** 29–48.

جدول ۱ نتایج آنالیزهای XRD در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از محدوده کانسار نخلک.

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
Lm-01	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، هماتیت
Lm-02	کلسیت، دولومیت	کوارتز، پلاژیوکلاز، کائولینیت، هماتیت
Lm-03	کلسیت، کوارتز، دولومیت	پلاژیوکلاز، کائولینیت، ایلیت، هماتیت
Lm-04	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، هماتیت
Lm-05	دولومیت، کلسیت	کوارتز، کائولینیت، هماتیت
Lm-06	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، اسمکتیت، هماتیت

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

Lm-07	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، ایلیت
Lm-08	کلسیت، دولومیت	کوارتز، پلاژیوکلاز، کائولینیت، ایلیت، هماتیت
Lm-09	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، اسمکتیت، هماتیت
Lm-10	کلسیت، دولومیت	کوارتز، کائولینیت، اسمکتیت، هماتیت
Lm-11	دولومیت، کلسیت، کوارتز	پلاژیوکلاز، کائولینیت، اسمکتیت، ایلیت، هماتیت

جدول ۲ مقادیر عناصر اصلی و LOI (بر حسب درصد وزنی) به همراه نسبت CaO/MgO در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از محدوده کانسار نخلک.

	Lm-01	Lm-02	Lm-03	Lm-04	Lm-05	Lm-06	Lm-07	Lm-08	Lm-09	Lm-10	Lm-11
SiO_2 (wt.%)	۱۲/۹۳	۱۳/۱۹	۲۹/۹۲	۱۲/۸۴	۱۳/۱۲	۸/۵۲	۱۳/۷۲	۱۱/۳۶	۱۷/۴۸	۴/۴۶	۲۰/۲۲
Al_2O_3	۱/۹۶	۲/۲۱	۲/۹۹	۲/۱۹	۲/۲۲	۱/۲۶	۲/۳۹	۱/۹۳	۱/۳۷	۰/۶۸	۳/۲۵
Fe_2O_3	۲/۴۲	۲/۰۳	۳/۵۸	۲/۶۵	۳/۹۹	۱/۴۴	۲/۵۵	۲/۴۵	۲/۴۱	۱/۵۶	۴/۳۳
CaO	۴۱/۴۸	۴۱/۵۹	۲۷/۳۳	۳۹/۱۲	۲۵/۹۶	۴۴/۲۱	۳۸/۷۴	۴۱/۷۷	۳۸/۰۳	۵۰/۱۲	۳۰/۱۲
Na_2O	۰/۰۹	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۳۳
K_2O	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۲۳
MgO	۴/۶۱	۳/۵۵	۷/۷۳	۶/۶۵	۱۷/۱۶	۴/۷۸	۶/۰۸	۶/۱۵	۷/۵۴	۲/۷۴	۱۰/۵۶
TiO_2	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۱
MnO	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۱۹	۰/۲۴	۰//۲۵
P_2O_5	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۸
LOI	۳۶/۱۳	۳۶/۴۳	۲۷/۵۵	۳۵/۶۹	۳۷/۰۵	۳۹/۳۱	۳۵/۸۱	۳۵/۵۴	۳۲/۷۲	۳۹/۸۵	۳۰/۲۱
Sum	۹۹/۹۷	۹۹/۸۳	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۹/۹۱	۹۹/۹۸	۹۹/۹۸	۹۹/۹۶	۹۹/۹۷	۹۹/۸۹	۹۹/۷۹
CaO/MgO	۹/۰۰	۱۱/۷۲	۳/۵۴	۵/۸۸	۱/۵۱	۹/۲۵	۶/۳۷	۶/۷۹	۵/۰۴	۱۸/۲۹	۲/۸۵

جدول ۳ ضریب همبستگی بین عناصر اصلی در بین سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از محدوده کانسار نخلک.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5
SiO_2	۱/۰۰									
Al_2O_3	۰/۷۶	۱/۰۰								
Fe_2O_3	۰/۶۸	۰/۸۲	۱/۰۰							
CaO	-۰/۷۹	-۰/۷۸	-۰/۹۳	۱/۰۰						
Na_2O	۰/۶۰	۰/۶۷	۰/۴۶	-۰/۳۶	۱/۰۰					
K_2O	۰/۶۲	۰/۶۶	۰/۳۰	-۰/۳۰	۰/۵۲	۱/۰۰				
MgO	۰/۳۳	۰/۴۵	۰/۸۲	-۰/۸۳	۰/۰۶	-۰/۰۹	۱/۰۰			
TiO_2	۰/۶۰	۰/۹۶	۰/۷۹	-۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۶۴	۰/۴۲	۱/۰۰		
MnO	-۰/۰۱	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۱۶	-۰/۱۲	۰/۱۶	۱/۰۰	
P_2O_5	-۰/۱۰	۰/۱۵	-۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۳۹	-۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۵۴	۱/۰۰

جدول ۴ مقادیر عناصر جزئی به همراه نسبت Sr/Ba در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از محدوده کانسار نخلک.

	Lm-01	Lm-02	Lm-03	Lm-04	Lm-05	Lm-06	Lm-07	Lm-08	Lm-09	Lm-10	Lm-11
Ba (ppm)	۳۴/۶	۱۵/۶	۲۵/۶	۱۴/۶	۱۴/۶	۵۸/۷	۱۳/۲	۲۳/۵	۶/۹	۱۲/۶	۲۷/۵
Rb	۲/۱	۲/۲	۳/۷	۶/۶	۱/۴	۱/۸	۶/۸	۵/۳	۱/۹	۱/۴	۲/۵
Sr	۲۷۰	۴۵۱	۲۳۹	۴۶۶	۲۰۱	۳۷۴	۵۵۵	۴۷۵	۲۱۵	۸۵۰	۵۶۳
Th	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۳
U	۱/۸۷	۱/۶۵	۰/۳۲	۰/۵۲	۱/۸۵	۰/۴۹	۱/۰۲	۰/۸۹	۰/۲۵	۰/۵۷	۰/۱۱
Y	۵/۱	۴/۹	۶/۸	۴/۷	۵/۴	۲/۹	۵/۵	۵/۸	۳/۵	۳/۳	۴/۴
Zr	۷/۱	۱۲/۲	۱۰/۲	۱۵/۵	۱۲/۲	۶/۱	۱۳/۲	۱۰/۳	۴/۱	۴/۱	۱۱/۲

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

Nb	۱/۱	۱/۸	۱/۵	۱/۹	۱/۶	۰/۹	۱/۷	۱/۶	۰/۷	۰/۷	۰/۸
Sc	۶	۶	۱۱	۶	۷	۵	۵	6۶	۴	۳	۱۲
V	۳۷/۷	۳۸/۱	۵۶/۱	۳۶/۸	۷۳/۱	۳۵/۴	۳۸/۲	۳۰/۶	۱۷/۴	۱۷/۸	۷۵/۹
Cr	۳۶	۲۲	۸۴	۳۶	۸۲	۹۵	۳۴	۳۳	۸۳	۱۱	۱۷
Co	۱۰/۱	۱۴/۵	۶/۵	۲۱/۳	۱۴/۸	۸/۸	۱۵/۲	۱۶/۵	۲۲/۳	۶/۴	۳۲/۱
Ni	۲۳۵	۱۸۵	۴۲۶	۴۰۱	۳۲۱	۱۲۲	۳۰۲	۲۹۶	۵۷۸	۱۲۱	۵۵۴
Cu	۱۱/۱	۹/۳	۱۵/۹	۱۳/۲	۹/۹	۵/۴	۱۲/۲	۱۰/۱	۸/۱	۴/۲	۱۶/۲
Zn	۱۷/۲	۲۴/۲	۲۵/۶	۲۸/۸	۲۴/۱	۱۱/۶	۲۹/۹	۳۱/۲	۲۱/۳	۱۴/۴	۳۱/۶
Sr/Ba	۷/۸۰	۲۸/۹۱	۹/۳۴	۳۱/۹۲	۱۳/۷۷	۶/۳۷	۴۲/۰۵	۲۰/۲۱	۳۱/۱۶	۶۷/۴۶	۲۰/۴۷

جدول ۵ ضریب همبستگی بین عناصر اصلی با برخی از عناصر جزئی در بین سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از محدوده کانسار نخلک..

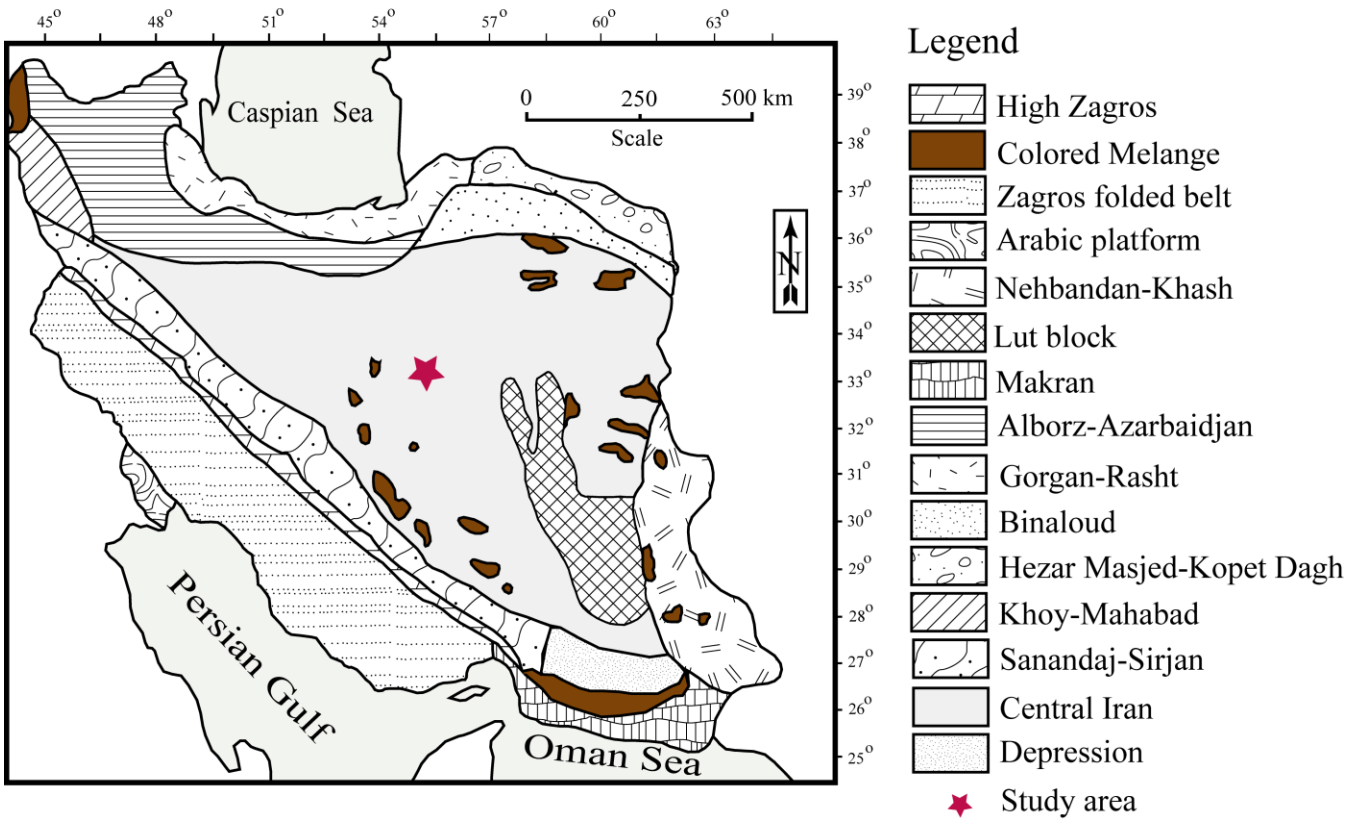
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	TiO_2	MnO	P_2O_5
Ba	-۰/۰۷	-۰/۰۳	-۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۰۹	-۰/۱۸	۰/۰۸	-۰/۶۱	-۰/۲۵
Rb	۰/۱۲	۰/۳۴	۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۱۰	۰/۷۰	-۰/۱۳	۰/۳۱	۰/۱۸	۰/۶۳
Sr	-۰/۵۱	-۰/۲۷	-۰/۳۳	۰/۵۸	۰/۱۳	۰/۱۱	-۰/۴۷	-۰/۰۹	۰/۴۴	۰/۳۶
Th	۰/۱۴	۰/۳۸	۰/۱۰	-۰/۱۷	-۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۰۳	۰/۳۱	-۰/۰۳	۰/۲۵
U	-۰/۳۰	-۰/۰۲	-۰/۰۴	۰/۰۰	-۰/۳۰	-۰/۴۷	۰/۱۴	-۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۲۰
Y	۰/۶۰	۰/۷۰	۰/۵۴	-۰/۵۸	۰/۱۶	۰/۵۰	۰/۲۹	۰/۵۹	۰/۰۶	۰/۱۹
Zr	۰/۲۴	۰/۷۰	۰/۴۷	-۰/۴۵	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۳۴	۰/۷۰	۰/۳۴	۰/۴۰
Nb	۰/۱۳	۰/۴۳	۰/۱۵	-۰/۲۴	-۰/۰۷	۰/۴۴	۰/۱۳	۰/۳۶	۰/۲۲	۰/۳۷
Sc	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۸۳	-۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۱۰	-۰/۰۱
V	۰/۵۰	۰/۷۹	۰/۸۸	-۰/۸۴	۰/۵۹	۰/۲۸	۰/۷۶	۰/۸۴	-۰/۰۵	-۰/۱۹
Cr	۰/۵۱	۰/۵۰	۰/۶۵	-۰/۶۲	۰/۶۳	۰/۱۹	۰/۵۵	۰/۵۲	-۰/۱۸	-۰/۱۷
Co	۰/۲۱	۰/۴۴	۰/۵۱	-۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۱۶	۰/۳۸	۰/۴۴	۰/۴۶	۰/۴۶
Ni	۰/۷۰	۰/۵۴	۰/۶۸	-۰/۶۴	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۲۴	۰/۱۶
Cu	۰/۷۹	۰/۹۵	۰/۷۹	-۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۹۰	۰/۲۱	۰/۱۸
Zn	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۶۳	-۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۶۰	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۴۸	۰/۶۸

جدول ۶ مقادیر عناصر کمیاب خاکی (REE) به همراه برخی از پارامترهای زمین‌شیمیایی محاسبه شده در سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه از نخلک.

	Lm-01	Lm-02	Lm-03	Lm-04	Lm-05	Lm-06	Lm-07	Lm-08	Lm-09	Lm-10	Lm-11
La (ppm)	۳/۶	۴/۱	۳/۸	۳/۲	۳//۵	۱/۶	۴/۲	۴/۲	۳/۳	۲/۵	۱/۵
Ce	۵/۱	۶/۱	۷/۲	۵/۱	۵/۸	۲/۹	۵/۹	۶/۱	۴/۶	۳/۶	۲/۵
Pr	۰/۷۲	۰/۷۱	۰/۹۲	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۳۵	۰/۸۵	۰/۷۶	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۳۷
Nd	۳/۱	۳/۱	۴/۲	۲/۸	۳/۶	۱/۷	۳/۸	۳/۶	۲/۳	۱/۷	۱/۶
Sm	۰/۷۶	۰/۶۶	۱/۰۸	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۴۶	۰/۷۷	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۴۶
Eu	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۰۸	۰/۱۹
Gd	۰/۷۴	۰/۷۳	۱/۰۷	۰/۶۴	۰/۸۷	۰/۴۵	۰/۷۸	۰/۷۵	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۶۲
Tb	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۲
Dy	۰/۶۴	۰/۶۶	۱/۱۱	۰/۶۲	۰/۸۹	۰/۴۲	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۷۲
Er	۰/۴۱	۰/۴۳	۰/۶۴	۰/۳۳	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۴۴

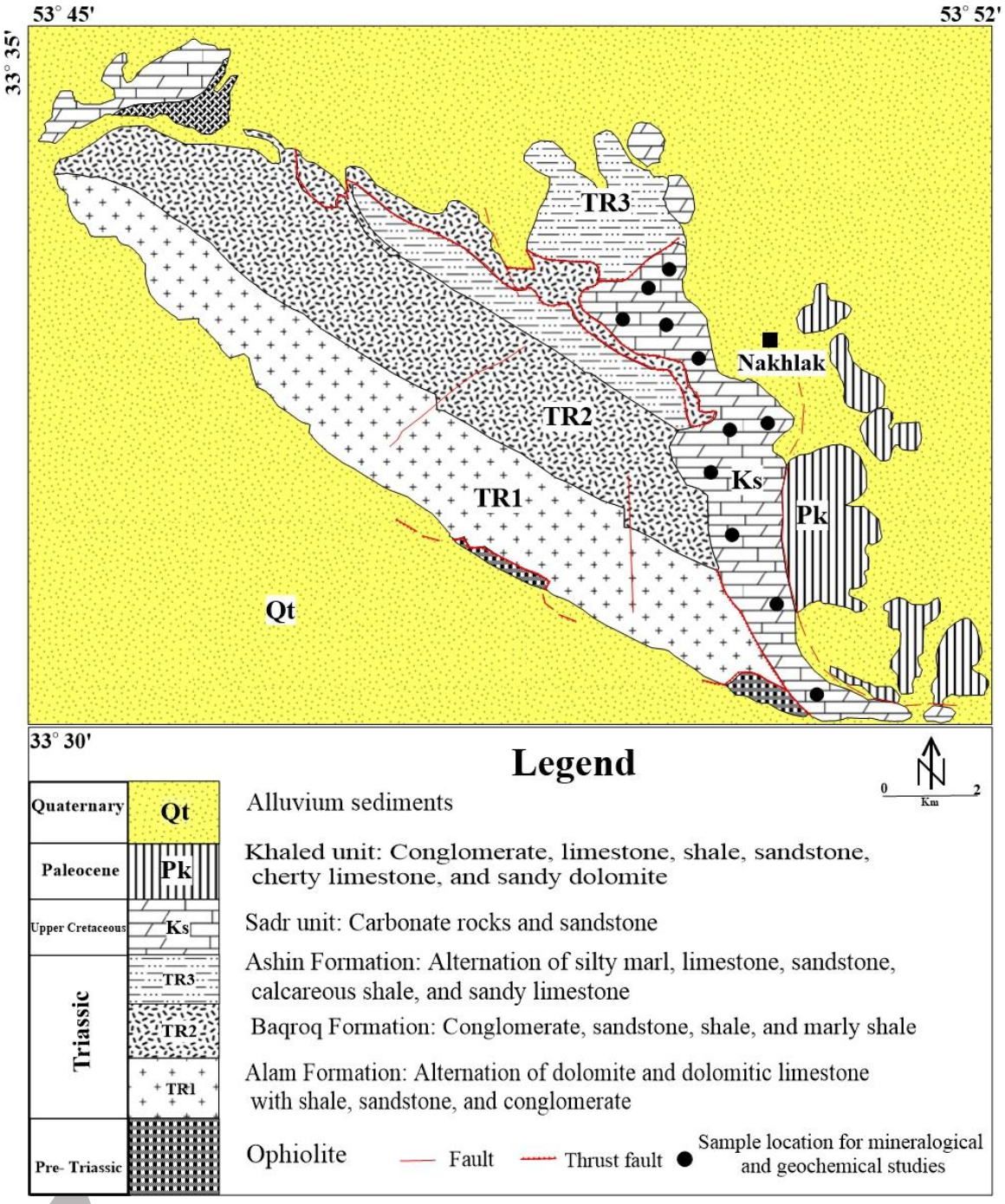
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

Ho	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۹
Tm	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۵
Yb	۰/۲۷	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۲۶	۰/۴۵	۰/۴	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۳۹
Lu	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۷
REE (ppm)	۱۵/۹۱	۱۷/۵	۲۱/۳	۱۴/۸۱	۱۷/۹	۸/۶۷	۱۸/۵۹	۱۸/۵۴	۱۳/۳۴	۱۰/۱۸	۹/۲۲
LREE (ppm)	۱۳/۴۹	۱۴/۸۸	۱۷/۵۲	۱۲/۵۲	۱۴/۷۶	۷/۱۳	۱۵/۷۴	۱۵/۷۲	۱۱/۴۲	۸/۶۲	۶/۶۲
HREE (ppm)	۲/۴۲	۲/۶۲	۳/۷۸	۲/۲۹	۳/۱۴	۱/۵۴	۲/۸۵	۲/۸۲	۱/۹۲	۱/۵۶	۲/۶۰
Er/Nd	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۲۸
Y/Ho	۳۶/۴۳	۳۵	۳۷/۷۸	۳۱/۳۳	۳۱/۷۶	۳۲/۲۲	۳۹/۲۹	۳۸/۶۷	۳۱/۸۲	۴۷/۱۴	۲۳/۱۶
Ce/Ce*	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۸۰	۰/۷۷
Eu/Eu*	۱/۳۱	۱/۴۱	۱/۳۹	۱/۳۳	۱/۳۱	۱/۲۳	۱/۳۲	۱/۴۳	۱/۶۸	۰/۹۶	۱/۶۶



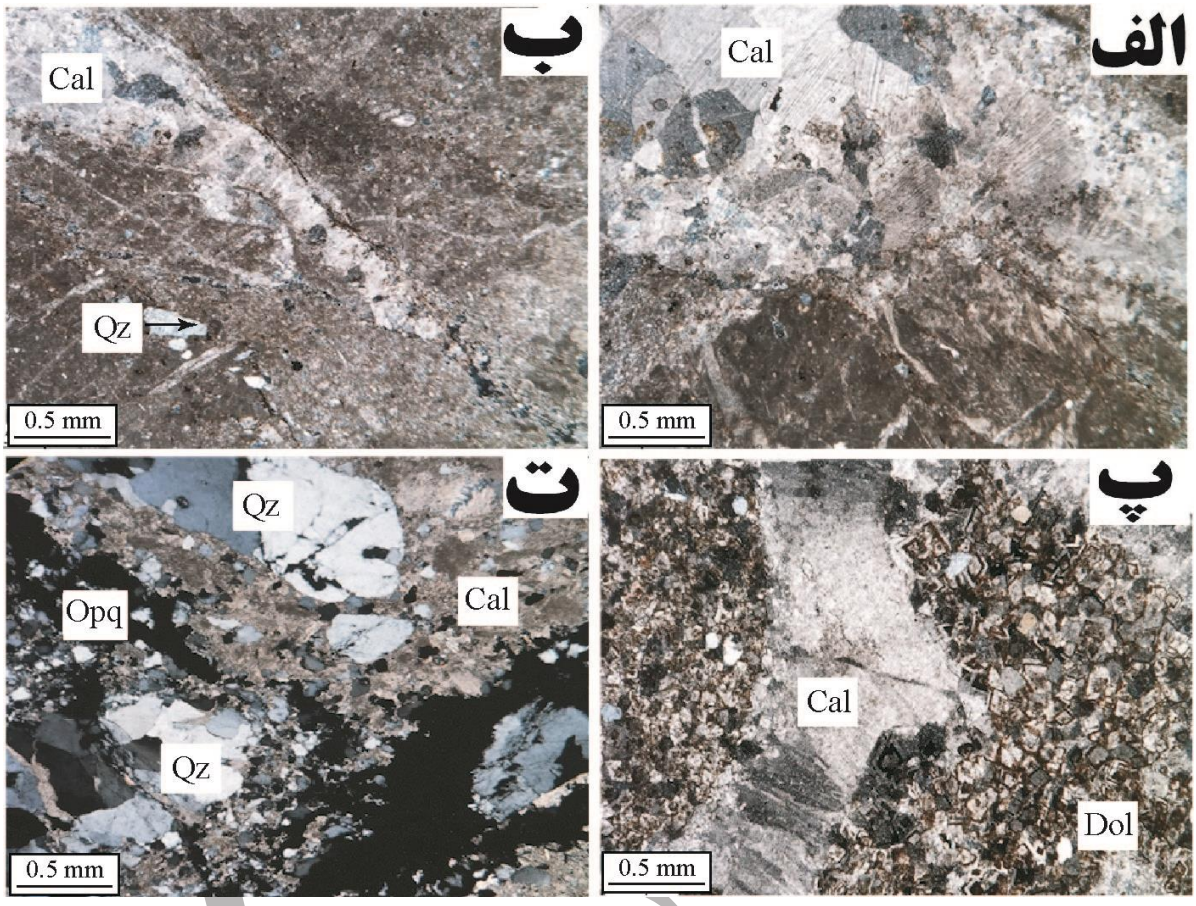
شکل ۱ نقشه پهنه‌های زمین‌ساختای ایران [۶] که بر اساس آن منطقه مورد مطالعه در پهنه ایران مرکزی قرار می‌گیرد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

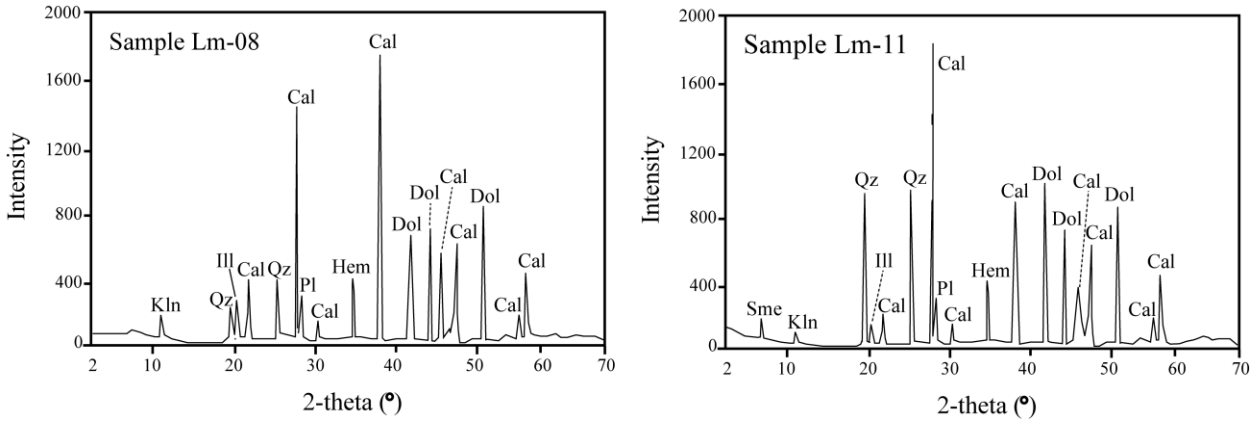


شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی نخلک [۲] که در آن موقعیت نمونه‌های برداشت شده از سنگ‌های کربناتی کرتاسه بالایی منطقه با دوایر توپر نشان داده شده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

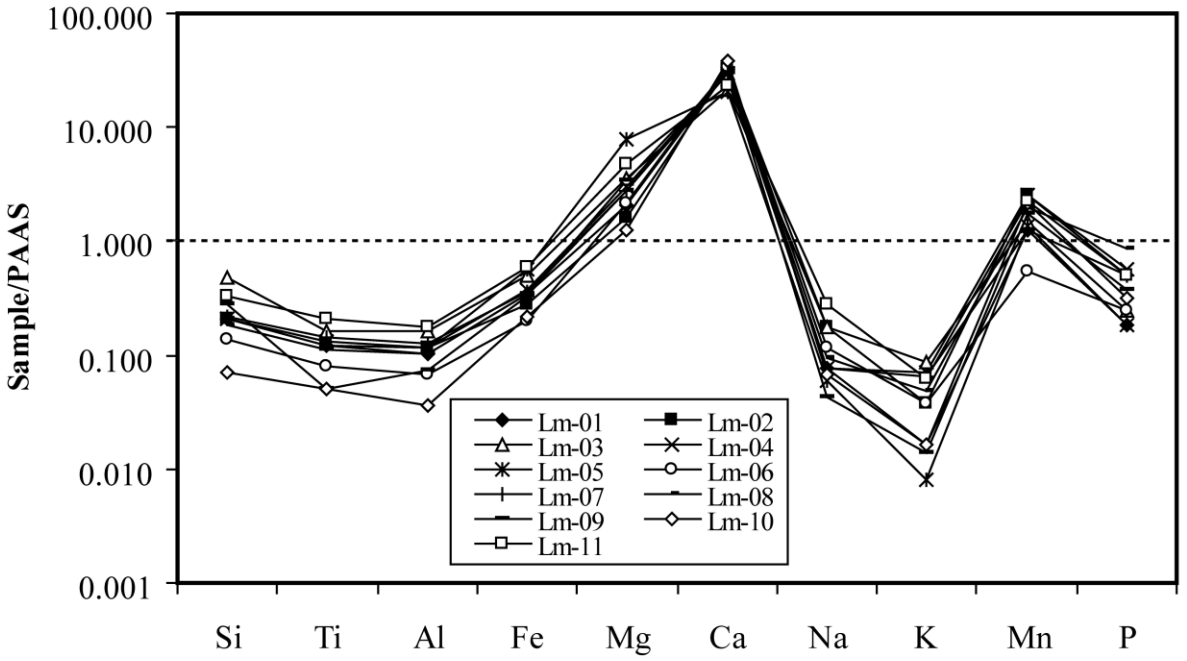


شکل ۳ تصاویر سنگ‌نگاری از سنگ‌های کربناتی مورد مطالعه. (الف و ب) توسعه کلسیت‌های درشت در درز و شکاف‌های سنگ. (پ) حضور بلورهای درشت کلسیت در بین دولومیت‌های ریز بلور. (ت) همراهی کلسیت توسط کانی‌های کوارتز و اوپک. کلیه تصاویر در نور انکساری و به صورت xpl تهیه شده‌اند. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از: Cal = کلسیت، Dol = دولومیت، Qz = کوارتز و Opq = اوپک.

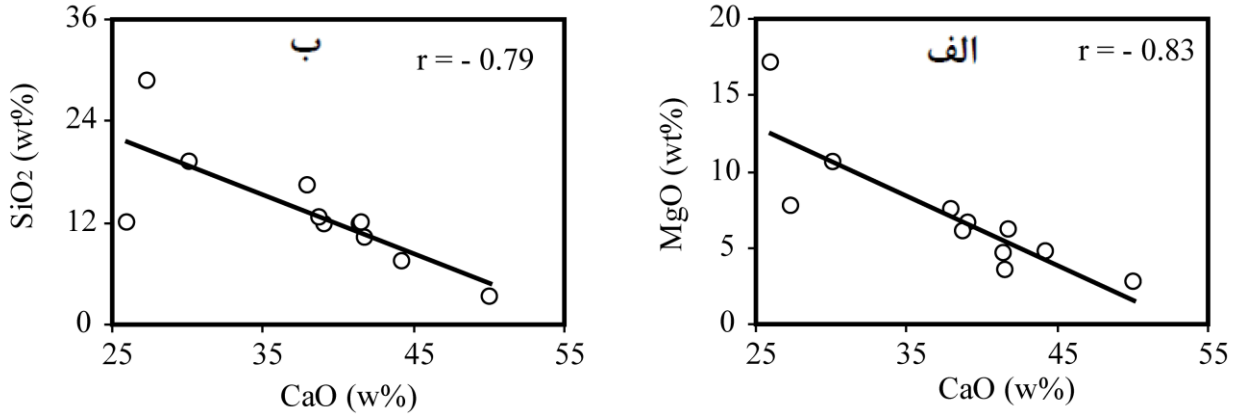


شکل ۴ الگوی XRD برای دو نمونه انتخابی از سنگ‌های کربناتی کرتاسه بالایی از محدوده کانسار نخلک. علائم اختصاری عبارتند از: Cal = کلسیت، Dol = دولومیت، Kln = کائولینیت، Hem = هماتیت، Sme = اسمکتیت، Pl = پلاژیوکلاز، Ill = ایلیت و Qz = کوارتز.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

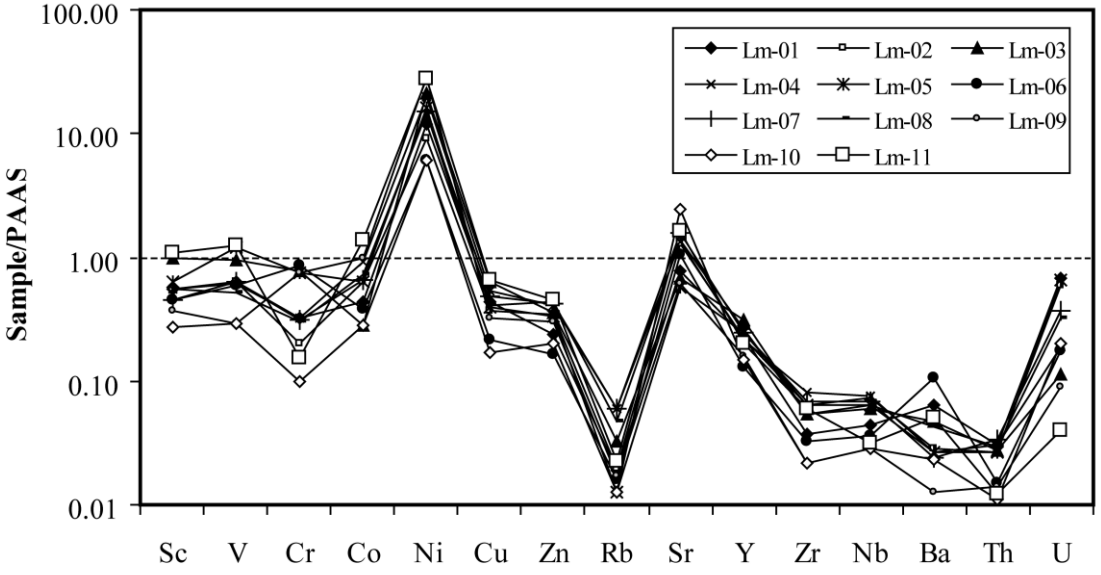


شکل ۵ الگوی توزیع عناصر اصلی به هنجار شده به PAAS [۲۱] برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.

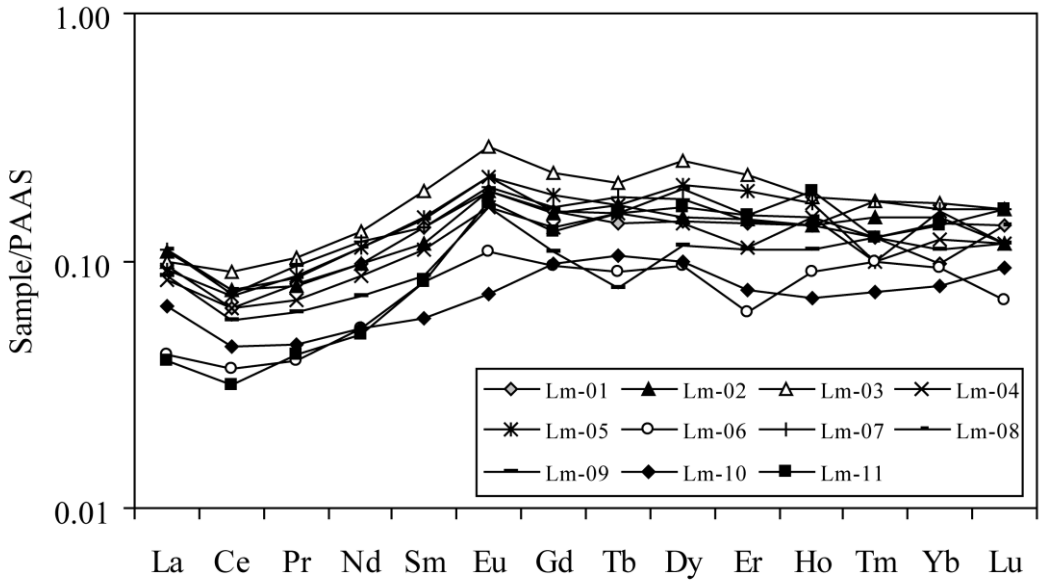


شکل ۶ نمودارهای دو متغیره CaO-MgO (الف) و $CaO-SiO_2$ (ب) برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]

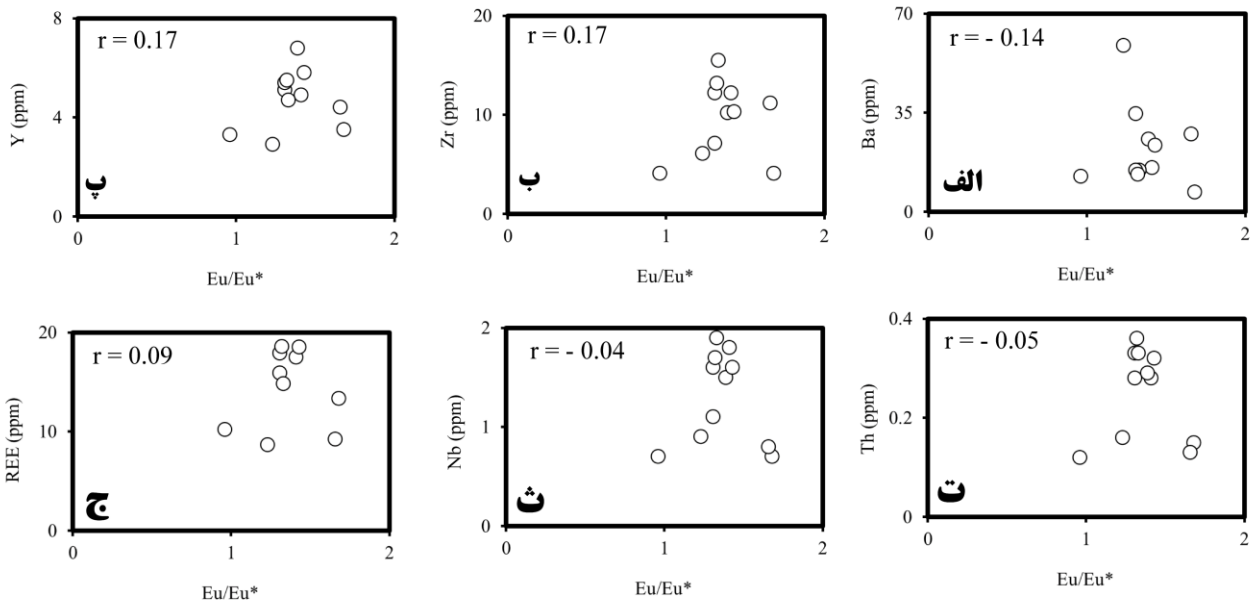


شکل ۷ الگوی توزیع عناصر جزئی به هنجار شده به PAAS [۲۱] برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.

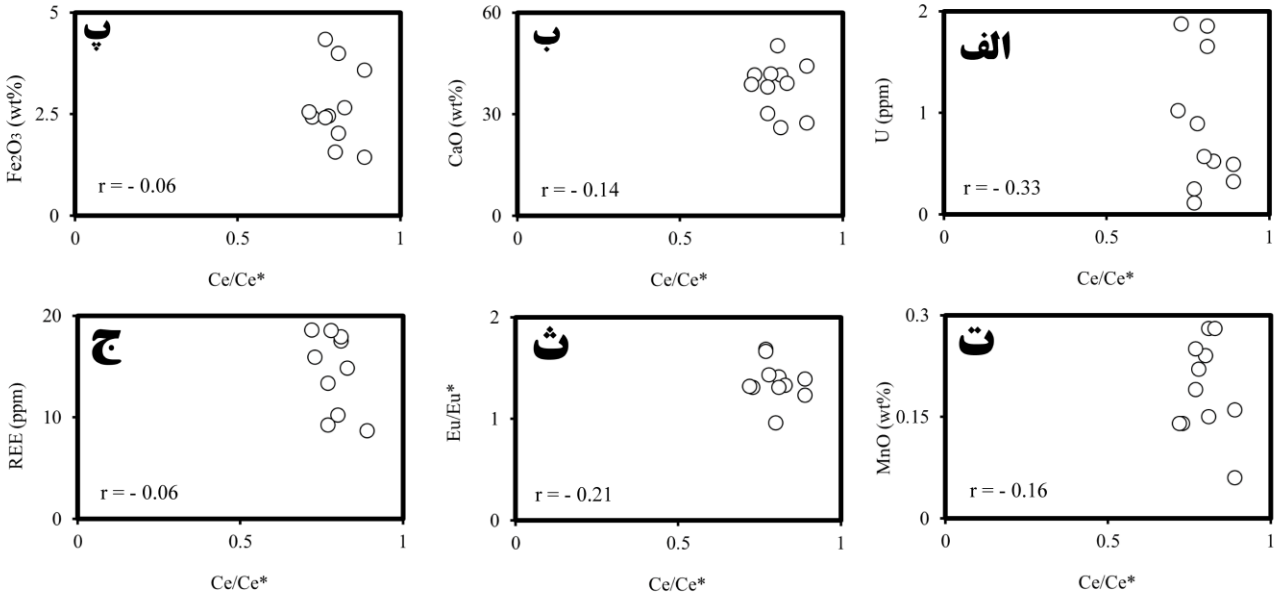


شکل ۸ الگوی توزیع عناصر کمیاب خاکی به هنجار شده به PAAS [۲۱] برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]



شکل ۹ نمودارهای دو متغیره Eu/Eu*-Ba (الف)، Eu/Eu*-Zr (ب)، Eu/Eu*-Y (پ)، Eu/Eu*-Th (ت)، Eu/Eu*-Nb (ث) و Eu/Eu*-REE (ج) برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.



شکل ۱۰ نمودارهای دو متغیره Ce/Ce*-U (الف)، Ce/Ce*-CaO (ب)، Ce/Ce*-Fe_2O_3 (پ)، Ce/Ce*-MnO (ت)، Ce/Ce*-Eu/Eu* (ث) و Ce/Ce*-REE (ج) برای سنگ‌های کربناتی مطالعه شده از محدوده کانسار نخلک.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-10]