



استفاده از روش تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) جهت یافتن نقاط بهینه نمونه‌گیری زمین‌شناسی در کلسیت‌های قره‌قشلاق

منصور رضایی عزیزی^{1*}، صمد علیپور¹ و جعفر عبدالهی شریف²

(1) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(2) گروه معدن، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

دریافت: 1392/6/26، پذیرش: 1393/3/25

چکیده

آنالیز ذخایر کلسیت (مرمر) به رنگهای سبز، سفید و صورتی در منطقه قره‌قشلاق واقع در جنوب حوضه رسوبی دریاچه ارومیه نشان می‌دهد که مقادیر منفی ناهنجاری Eu مربوط به دمای بسیار پایین محلولهای آهک‌ساز جوی و قلیایی‌بودن محیط و ناهنجاری منفی Ce بیانگر احیایی‌بودن شرایط تشکیل بوده است. کم‌بودن میزان Si^{2+} محلولهای آهک‌ساز از دیگر مؤلفه کنترل‌کننده زمین‌شیمیایی در تشکیل این تیپ ذخایر می‌باشند.

مدل تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل نشان می‌دهد که شاخص ناهنجاری Eu با 43 درصد وزنی بیشترین اهمیت و شاخصهای میزان Si^{2+} و ناهنجاری Ce به ترتیب با وزن‌های 11/6 و 6/4 درصد در اولویت‌های بعدی در تفسیر واقعی‌تر نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی منطقه دارند. بر اساس این مدل شاخصهای زمین‌شیمیایی برای کلسیت‌های صورتی 0/837، کلسیت سبز 0/445 و کلسیت سفید 0/157 به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین واحدهای سنگ‌شناختی برای نمونه‌گیری و انجام آنالیز جهت بررسی و تعیین ژنز، کلسیت‌های صورتی و سبز می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، زمین‌شیمیایی، کلسیت، نقاط بهینه نمونه‌گیری، قره‌قشلاق، زون سندانج-سیرجان.

مقدمه

منطقه شامل کلسیت‌های صورتی، سبز و سفید رنگی است که ضخامت آنها از حدود 10 سانتی‌متر تا 6 متر و گسترش آنها از چندین ده متر تا چندین صد متر در تغییر است. ارزش اقتصادی بسیار زیاد آنها سبب شده که تاکنون از نظر ابعاد علمی و چگونگی تشکیل و اکتشاف مورد مطالعه قرار نگرفته و صرفاً از نظر استخراج و فروش مورد توجه قرار بگیرند. لذا در این پژوهش ضمن انجام مطالعه زمین‌شیمیایی این ذخایر و دلایل تشکیل و نهشته‌شدن کلسیت‌ها، با استفاده از یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره میزان اهمیت نسبی هر کدام از عوامل مؤثر بر ترسیب کلسیت در آنها بررسی و نتایج آن جهت استفاده در بهترین نقاط نمونه‌گیری از واحدهای کلسیتی مورد استفاده قرار گرفته است.

تعدادی ذخیره بسیار تیپیک و ارزشمند کلسیت (با نام تجاری مرمر) در 78 کیلومتری جنوب شهرستان ارومیه و 26 کیلومتری شمال مهاباد در مناطق قره‌قشلاق، کوسه‌کهریز، کوپکلو و مملو با مختصات جغرافیایی "00' 30' 45" تا "00' 31' 42" طول شرقی و "43' 53' 36" تا "00' 00' 37" عرض شمالی در حال بهره‌برداری می‌باشند (شکل 1). همین امر موجب جلب توجه بهره‌برداران معادن سنگهای تزئینی در اکتشاف ذخایر احتمالی دیگر شده است.

قسمت عمده این ذخایر در یک توپوگرافی ملایم در زیر رسوبات آبرفتی و آلوویوم‌های کواترنری تشکیل شده و عموماً توسط تراورتن‌های تیره و متخلخل پوشیده شده‌اند. ذخایر



شکل 1. موقعیت جغرافیایی نهشته‌های کلسیتی حوضه جنوب دریاچه ارومیه (قره‌قشلاق).

Fig. 1. Location of calcite deposits of Urmia lake south basin (Ghare-Gheshlagh).

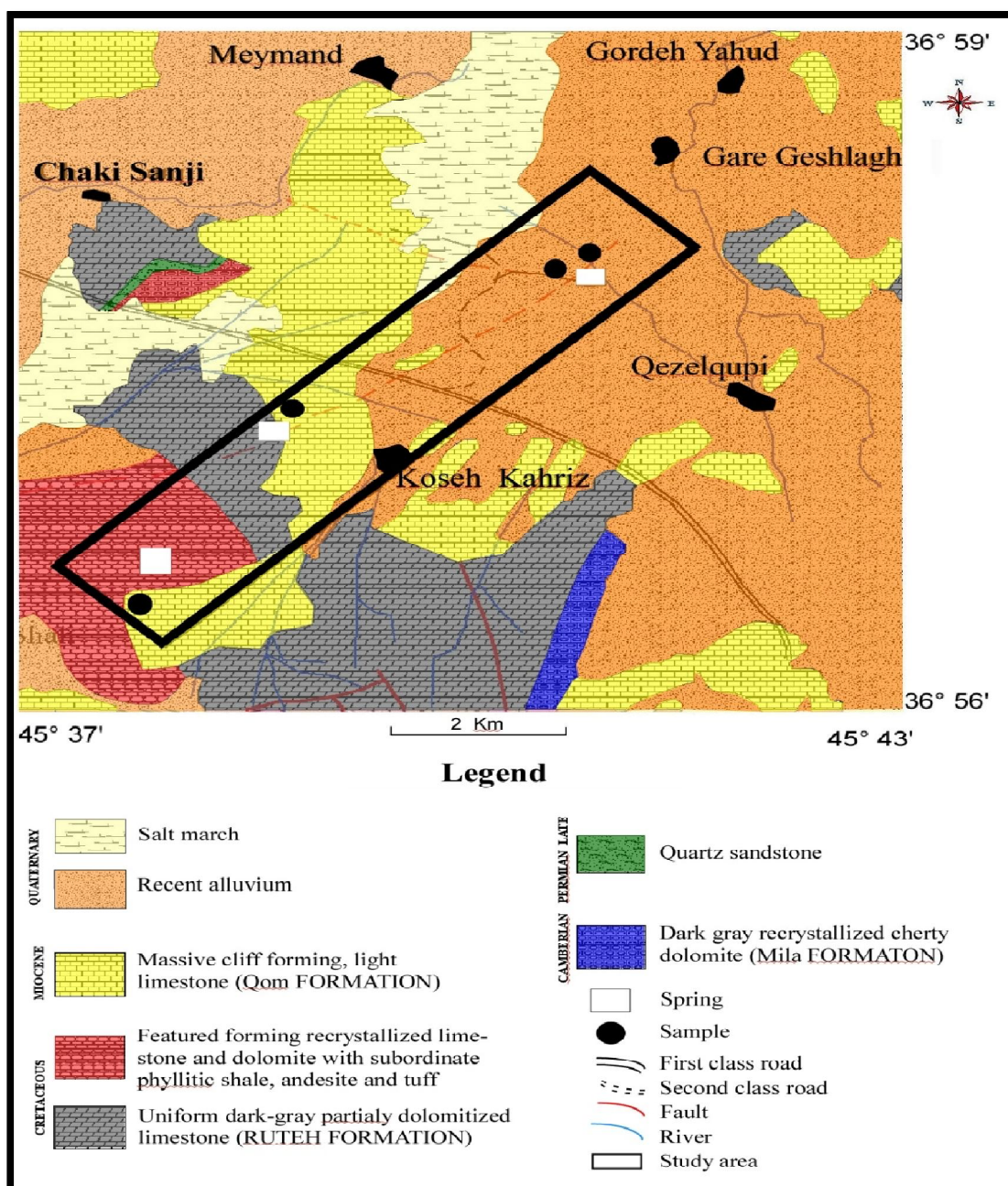
روش مطالعه

فاز مطالعاتی این پژوهش در سال 1390 در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفت. در بخش صحرایی پیمایشهای صحرایی متعددی از مناطق دارای ذخیره کلسیت به منظور بررسی واحدهای سنگ‌شناختی، هندسه کانسار و ارتباط آن با سازندهای موجود در منطقه صورت گرفت. همچنین به منظور بررسی زمین‌شیمیایی، منشأ و عوامل زمین‌ساختی مؤثر بر تشکیل ذخایر، در امتداد یک پروفیل با روند شمال شرق - جنوب غرب (شکل 2) از هر کدام از سینه‌کارهای استخراجی هر واحد کلسیتی موجود در منطقه تعداد 5 نمونه به فواصل 4 متر از یکدیگر و همچنین به منظور بررسی ارتباط میان این کلسیت‌ها و سنگهای میزبان تعداد 5 نمونه از سنگ میزبان و در مجموع کلاً تعداد 20 نمونه برداشت گردید.

سپس به منظور تعیین نقطه بهینه نمونه‌گیری جهت انجام آزمایشها نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه زمین‌شیمیایی گروه زمین‌شناسی دانشگاه ارومیه تا 80- مش پودر شده و پودرهای هر واحد با یکدیگر مخلوط گردید و سپس از هر کدام از چهار مخلوط به دست آمده یک نمونه به‌عنوان نمونه میانگین جهت انجام آزمایشها برداشت گردید.

در بخش آزمایشگاهی به‌منظور تعیین فازهای کانیایی نهشته‌ها، نمونه‌ها جهت آنالیز با روش پراش اشعه ایکس (XRD) به آزمایشگاه گروه فیزیک دانشگاه ارومیه ارسال شد. میزان اکسیدهای اصلی با روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و میزان عناصر فرعی، جزئی و نادرخاکی با روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) توسط دستگاه Varian مدل 735 در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی اندازه‌گیری شدند. همچنین مقادیر L.O.I نمونه‌های مذکور به روش اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها قبل و بعد از حرارت‌دادن تا 1000 درجه سانتی‌گراد در مدت یک ساعت توسط سازمان مذکور تعیین شده است.

در این پژوهش پس از تعیین عناصر، عوامل زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی مؤثر در ژنز آنها، شاخصهای زمین‌شیمیایی برای هر کدام از واحدهای کلسیتی در قالب ماتریس‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه تعریف و با استفاده از روابط ریاضی در مدل TOPSIS میزان اوزان نسبی هر کدام از شاخصها در ژنز کلسیت‌های مورد مطالعه تعیین شده و بر اساس آن بهترین واحدهای کلسیتی برای نمونه‌گیری جهت مطالعات زمین‌شیمیایی و تعیین دقیق‌تر منشأ آنها به دست آمد.



شکل 2. نقشه زمین‌شناسی 1:100000 و موقعیت محل نمونه‌گیری از کلسیت‌های قره‌قشلاق با تغییراتی از (Eftekharnjad, 1973).

Fig. 2. 1:100,000 geological map and sampling sites in Ghare-Gheshlagh calcites, modified after Eftekharnjad (1973).

شده است. عمده‌ترین سازندی که در منطقه رخنمون دارد سازند قم با سن میوسن متشکل از آهک با رنگ روشن است که در بخش شمال، غرب، جنوب و جنوب شرق منطقه گسترش دارد. در بخشهایی از غرب و جنوب غرب منطقه سنگ آهکهای نسبتاً دولومیتی شده مربوط به سازند روتبه به رنگ خاکستری تیره ارتفاعات بلند منطقه را تشکیل داده‌اند. در

زمین‌شناسی منطقه

از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای، این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری در شمال واحد زمین‌ساختی سنندج - سیرجان قرار گرفته است (Stocklin and Nabavi, 1972). نقشه زمین‌شناسی 1:100000 منطقه (شکل 2) نشان می‌دهد که بخش عمده این منطقه توسط رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده

زمین‌شیمی عناصر اصلی، جزئی و نادر خاکی در کلسیت‌ها

زمین‌شیمی عناصر اصلی

نتایج آنالیز عناصر اصلی نمونه‌های میانگین در جدول 1 و نمودار عنکبوتی آنها در شکل 5 آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود SiO_2 تغییرات بسیار اندکی از خود نشان می‌دهد ولی افزایش مقدار SO_3 در کلسیت‌ها نسبت به دولومیت‌های میزبان نشان می‌دهد که محلول‌های آهک‌ساز نهشته‌ها در قسمت‌های عمیق‌تر یا با آبهای زیرزمینی حاوی SO_3 اختلاط یافته و یا احتمالاً از لایه‌های ژئوسپار عبور نموده‌اند. مقدار Fe_2O_3 از 0/45٪ در دولومیت به 2/33٪ و 2/29٪ در کلسیت‌های سفید و سبز افزایش یافته که به‌صورت لایه‌های قهوه‌ای رنگ در این واحدها قابل شناسایی است (شکل 4) ولی در کلسیت صورتی افزایشی از خود نشان نمی‌دهد. افزایش نسبتاً زیاد مقدار CaO از 35/19٪ در دولومیت به حدود 53/4 – 54/45٪ در کلسیت‌ها و نیز کاهش مقدار MgO از 17/5٪ در دولومیت‌ها به 0/29-0/55٪ در کلسیت‌ها نشان می‌دهد که آبهای جوی به‌دلیل داشتن pH نسبتاً اسیدی می‌توانند در دیازنز سنگهای دولومیتی میزبان و در نتیجه افزایش میزان CaO و کاهش MgO در این نهشته‌ها نقش داشته باشند.

کانی کلسیت می‌تواند یون‌های فلزی مختلفی از جمله Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} و Cd^{2+} را در شبکه بلوری خود جای دهد (Ortega et al., 2005). از آنجایی که شعاع یونی این یون‌های فلزی کمتر از شعاع یونی کلسیم است به‌راحتی می‌توانند در شبکه بلوری رومبوئدرال کلسیت وارد شوند و یون‌های Fe^{2+} و Mn^{2+} به‌دلیل داشتن ثابت انحلال پذیری بیشتر از 1 بر اثر پدیده روبش به‌همراه کلسیت رسوب می‌نمایند (Ortega et al., 2005). افزایش مقدار MnO به 0/67٪ در کلسیت صورتی و رسوب ترکیبات منگن‌دار به صورت کربنات منگنز در نهشته‌ها می‌تواند عامل ایجاد رنگ صورتی در این کلسیت شده باشد (Biets, 1990).

زمین‌شیمی عناصر جزئی

نتایج آنالیز عناصر جزئی نمونه‌های میانگین در جدول 2 و نمودار عنکبوتی به‌هنجارشده (Taylor and McLennan, 1981) آنها در شکل 6 آمده است.

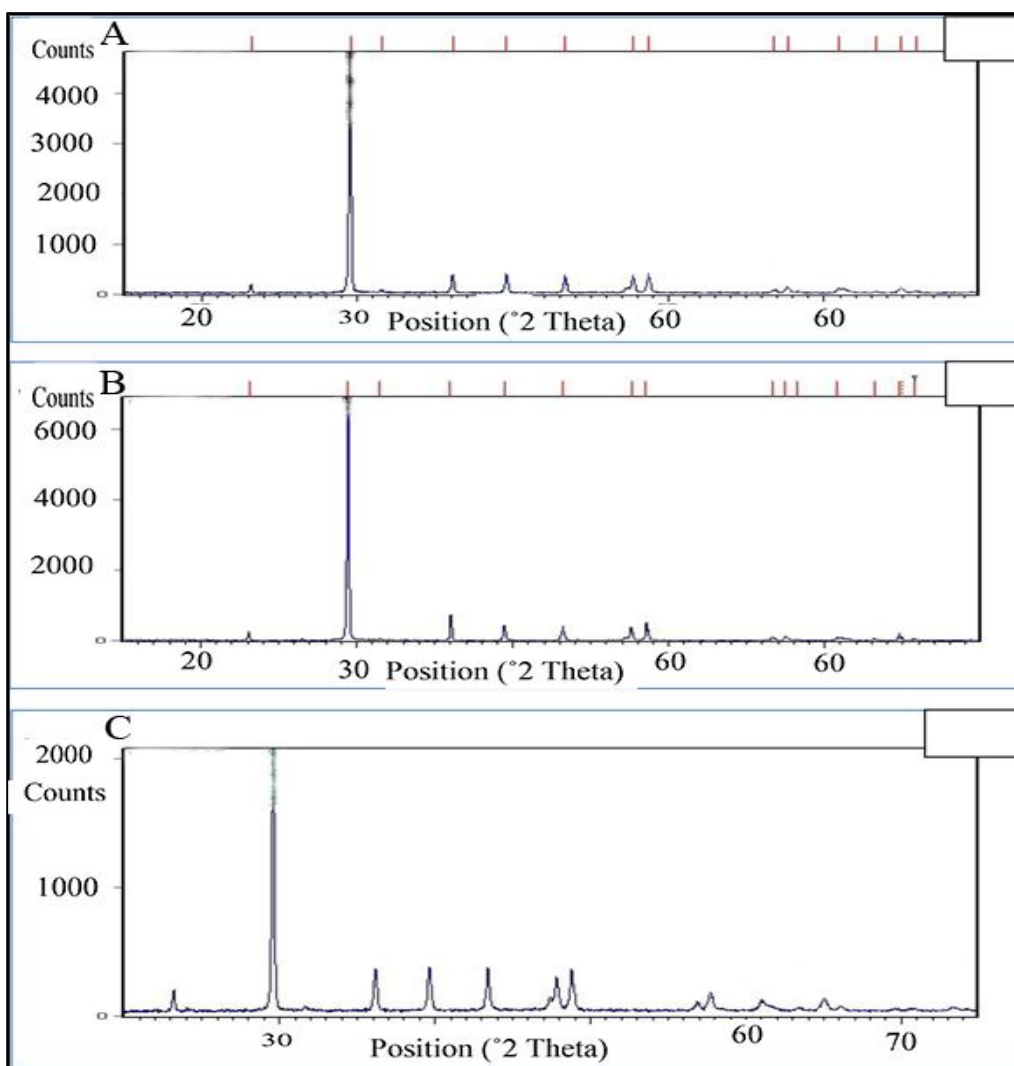
بخشهایی از جنوب غرب منطقه رخنمون‌هایی از فیلیت هموزن با میان لایه‌هایی از سنگهای آتشفشانی دگرگون‌شده، ماسه-سنگ و توف به‌همراه ماسه‌سنگ کوارتزی پرمین بالایی دیده می‌شود. قدیمی‌ترین واحدی که در بخشی از جنوب شرقی منطقه رخنمون دارد دولومیت‌های چرت‌دار سازند میلا با سن کامبرین است (Eftekharnajhad, 1973; Aghanabati, 2004).

کانی‌سازی در این منطقه شامل نهشته شدن مجدد کلسیت‌های بلورین به رنگ‌های سبز، سفید و صورتی است که در اثر انحلال سنگ‌های آهکی و دولومیتی میزبان و نهشته‌شدن مجدد آنها توسط چشمه‌های آهک‌ساز فعال و یا خشک‌شده‌ای است که توسط رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده‌اند. این نهشته‌ها کنتاکت قابل رویت با سنگ میزبان آهکی و دولومیتی ندارند. همچنین با توجه به انحلال و ترسیب مجدد کلسیت در این نهشته‌ها آثار دگرگونی در مطالعه میکروسکوپی و صحرایی مشاهده نمی‌شود.

بحث و بررسی

مطالعه کانی‌شناسی

به‌منظور بررسی و پی‌بردن به فازهای کانیایی تشکیل‌دهنده ذخایر از روش پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده گردید. نمودارهای نتایج حاصل از آنالیز نشان می‌دهند که کانی‌شناسی افق‌های تحت بررسی بسیار ساده بوده و کانی اصلی تشکیل‌دهنده ذخایر سبز (شکل 3-A)، صورتی (شکل 3-B) و سفید (شکل 3-C) از نوع کلسیت می‌باشند. بلورهای کلسیت به‌صورت لایه‌های متوالی با رنگ‌های یکنواخت و بعضاً به رنگ‌های مختلف به‌دلیل همراهی با اکسیدها با ضخامت‌های در حد میلی‌متر تا سانتی‌متر بر روی هم رسوب نموده‌اند (شکل 4). تغییرات رنگی در لایه‌ها بیانگر فعالیت محلول‌های مختلف با ترکیب شیمیایی متفاوت از هم و تغییرات اکسیدهایی مانند اکسید آهن در آنها می‌باشند. با توجه به این نمودارها معلوم می‌شود که همراهی فازهای کانیایی نامشخص در نهشته‌های کلسیتی، نادر بوده و کانیهای پیگمنت موجود در انواعی از ذخیره‌ها کمتر از حد آشکارسازی دستگاه هستند، اما اثرات رنگی‌های آنها موجب تمایز نهشته‌ها از هم گردیده است.



شکل 3. نمودارهای پراش پرتو ایکس برای نمونه‌های میانگین منطقه قره‌قشلاق. A: کلسیت سبز. B: کلسیت صورتی. C: کلسیت سفید.

Fig. 3. XRD diagrams of samples of Ghare-Gheshlagh A: Green calcite, B: Pink calcite, C: White calcite.



شکل 4. لایه‌های متوالی کلسیت به رنگهای سفید و قهوه‌ای (در همراهی با اکسیدهای آهن) در مرمر سفید قره‌قشلاق.

Fig. 4. White and brown (Iron oxides included) color calcite layers in white marble of Ghareh-gheshlagh.

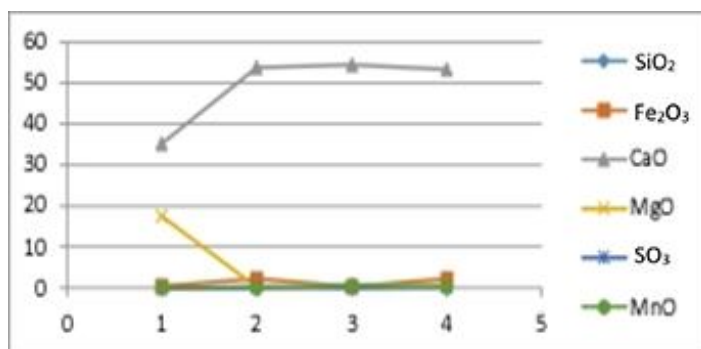
سفید و سبز بوده و بیانگر محیط احيایي زمان تشكيل اين کلسیت‌هاست. از طرف دیگر این نمودار تهی‌شدگی مشخصی برای عناصر Ba، Th، Nb و P را در کلسیت‌ها نشان می‌دهد.

نتایج نشان می‌دهند که Rb و Sr در کلسیت سبز و U در کلسیت سبز و سفید غنی‌شدگی دارند که این غنی‌شدگی به‌دلیل تشکیل کمپلکس با یونهای کربناته در کلسیت‌های

جدول 1. میزان اکسیدهای اصلی در نمونه‌های میانگین کلسیتی و دولومیت منطقه قره‌قشلاق.

Table 1. XRD diagrams of samples of the Ghare-Gheshlagh: Green calcite, B: Pink calcite, C: White calcite.

Formula	Dolomite	White Calcite	Pink Calcite	Green Calcite
SiO ₂	0.16	0.25	0.11	0.16
Fe ₂ O ₃	0.45	2.33	0.3	2.29
MnO	0.05	0.05	0.67	0.15
MgO	17.5	0.29	0.55	0.53
CaO	35.19	53.89	54.45	53.4
SO ₃	0.05	0.3	0.2	0.36
L.O.I	46.52	42.8	43.6	42.96



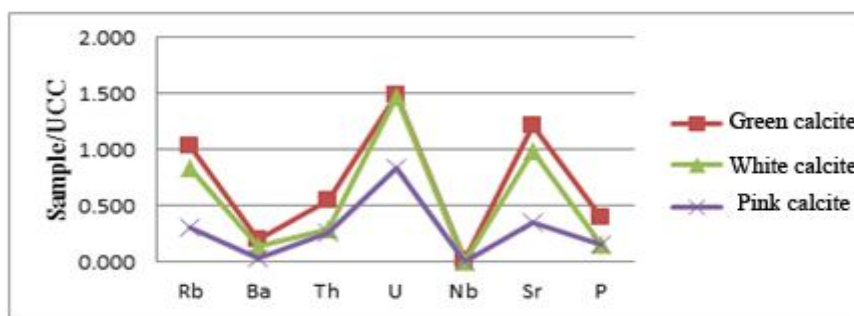
شکل 5. نمودار عنكبوتی اکسیدهای موجود در کلسیت‌ها و سنگ میزبان منطقه قره‌قشلاق. در محور افقی شماره 1، 2، 3 و 4 به ترتیب مربوط به دولومیت، کلسیت سفید، کلسیت صورتی و کلسیت سبز می‌باشند.

Fig. 5. Spider diagram of major oxides in calcites and host rock of the Ghare-Gheshlagh. 1, 2, 3, 4 and 5 in horizontal axe indicate Dolomite, White calcite, Pink calcite and Green calcite respectively.

جدول 2. مقادیر به‌هنجارشده عناصر جزئی نسبت به میانگین پوسته قاره‌ای در دولومیت و کلسیت‌های قره‌قشلاق (بر حسب ppm).

Table 2. Average continental crust normalized of trace elements in dolomite and calcites of the Ghare-Gheshlagh (ppm).

Elements	Dolomite	Green calcite	White calcite	Pink calcite
Rb	0.237	1.036	0.838	0.303
Ba	0.022	0.191	0.132	0.034
Th	0.225	0.55	0.281	0.257
U	0.904	1.492	1.48	0.84
Nb	0.002	0.008	0.002	0.002
Sr	0.283	1.22	0.989	0.351
P	0.076	0.397	0.151	0.15



شکل 6. نمودار عنکبوتی توزیع عناصر جزئی در کلسیت‌های منطقه قره‌قشلاق.

Fig. 6. Spider diagram of trace elements distribution in calcites of the Ghare-Gheshlagh.

آراگونیت به صورت هگزگونال است. لذا Sr^{2+} برای تشکیل دادن کئوردینانس 9 مقدار CO_3^{2-} بیشتری را به خود جذب می‌نماید و در نتیجه شکل هگزگونال ایجاد و در ساختمان آراگونیت وارد می‌شود. این جای‌گزینی تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که میزان Sr و دمای محیط تشکیل ثابت بماند. چنانچه در غلظت Sr و یا دمای محیط تغییری حاصل شود در آن صورت کلسیت به‌عنوان فاز پایدار شروع به رسوب‌گذاری خواهد کرد (Sunagawa et al., 2007). مقدار استرانسیوم در نمونه‌های کلسیتی منطقه مورد مطالعه در دامنه 123-427 ppm در تغییر است و لذا شرایط برای تشکیل کلسیت از محلولهای کربنات کلسیم‌دار مناسب بوده است.

ناهنجاری Eu

از دیگر عواملی که در تعیین منشأ ذخایر مفید می‌باشد محاسبه ناهنجاری Eu است. استفاده از این عامل می‌تواند در شناسایی نوع محیط تشکیل از نظر قلیایی-اسیدی و میزان دمای محیط تشکیل در سیستم‌های آب-کربناته کمک شایانی داشته باشد (Bau and Moller, 1992; Sverjensky, 1984). با استفاده از آنالیز نمونه‌های میانگین میزان ناهنجاری Eu هر کدام از واحدهای کلسیتی سبز، سفید و صورتی به ترتیب برابر 0/087، 0/247 و 0/997 به دست آمد (جدول 3).

استفاده از نسبت Sr/Ba برای تشخیص نوع محیط رسوبی از نظر قاره‌ای و یا اقیانوسی و فعالیت آبهای ماگمایی گوشته به کار گرفته شده و مشخص شده که بالابودن این نسبت در حد 42/6 با فعالیت آبهای ماگمایی گوشته در پوسته اقیانوسی ارتباط دارد (Cheng et al., 2013). تغییرمقدار نسبت Sr/Ba در کلسیت‌های منطقه مورد مطالعه در دامنه 3/18 تا 5/21 درصد بیانگر محیط رسوبی قاره‌ای و عدم تأثیر آبهای ماگمایی در آنها است.

نقش استرانسیوم در رسوب کلسیت و آراگونیت

استرانسیوم از جمله عناصری است که در محیط‌های آبی کربناته می‌تواند باعث نهشته‌شدن کلسیت و یا آراگونیت گردد. نهشته‌شدن آراگونیت به میزان Sr^{2+} به مقدار بیش از حد بحرانی (Sunagawa et al., 2007) در محیط‌های آبگین بستگی دارد که مقدار حد بحرانی استرانسیوم در کلسیت ppm 1100-440 بوده ولی این مقدار در آراگونیت با افزایش چشمگیری در دامنه 18500-4900 ppm در تغییر است (Ortega et al., 2005). علت افزایش استرانسیوم در آراگونیت نسبت به کلسیت به عدد کئوردینانس کلسیم مربوط می‌شود. عدد کئوردینانس Ca^{2+} در آراگونیت 9 و در کلسیت 6 بوده و از طرفی شعاع یونی Sr بزرگتر از Ca است، لذا توزیع Ca^{2+} در ساختمان بلوری کلسیت به شکل مکعبی و در

جدول 3. میزان ناهنجاری Eu در نمونه‌های میانگین منطقه قره‌قشلاق.

Table 3. Eu anomalies in average samples of the Ghare-Gheshlagh.

Green calcite	White calcite	Pink calcite
0.087	0.247	0.997

در صورتی که این مقدار منفی باشد محیط احيایی و چنانچه مثبت باشد محیط تشکیل اسیدی است. در این پژوهش برای پی‌بردن به شرایط اکسیداسیون و احياء محیط تشکیل نهشته‌های کلسیتی میزان ناهنجاری Ce برای هر واحد سنگ‌شناختی محاسبه شده است (جدول 4). داده‌های جدول 4 نشان می‌دهد که مقادیر ناهنجاری Ce در کلسیت صورتی، سفید و سبز به ترتیب برابر 0/0241، 0/0113 و 0/0131 است. بر این اساس ناهنجاری Ce در هر سه واحد کلسیتی شدیداً منفی بوده و لذا محیط تشکیل نهشته‌های کلسیتی منطقه مورد مطالعه، محیطی احيایی بوده است.

با توجه به این مقادیر می‌توان نتیجه گرفت که در نهشته‌های کلسیتی سبز و سفید نسبت سیال به سنگ پایین (Nesbitt et al., 1990) و محلولهای آهک‌ساز نهشته‌ها pH بیشتری داشته‌اند (Cheng et al., 2013) ولی در نهشته‌های کلسیتی صورتی نسبت سیال به سنگ بیشتر و pH محلولها کمتر بوده است.

ناهنجاری Ce

یکی دیگر از مؤلفه‌های مهم محاسبه ناهنجاری Ce است. ناهنجاری Ce می‌تواند شرایط اکسیداسیون و احياء محیط تشکیل کانسارها را مشخص نماید (Nesbitt et al., 1990).

جدول 4. میزان ناهنجاریهای Ce در نمونه‌های میانگین منطقه قره‌قشلاق.

Table 4. Ce anomalies in average samples of the Ghare-Gheshlagh.

Green calcite	White calcite	Pink calcite
0.0131	0.0113	0.0241

مدل‌سازی تصمیم‌گیری چند معیاره

در سالهای اخیر استفاده از روشهای مدل‌سازی تصمیم‌گیری چند معیاره به‌منظور حل مسائل علوم مختلف از جمله علوم زمین گسترش چشم‌گیری یافته است (Zhijun et al., 2013). استفاده از این مدل‌سازیها در شاخه‌های مختلف علوم زمین توسط محققان این رشته از جمله مدل‌سازی سه‌بعدی جریان آب زیرزمینی (Qingchun et al., 2011)، رفتارسنجی زمین لغزش (Marcato et al., 2012)، پترولوژی (Griera et al., 2013) و اکتشافات زمین‌شیمیایی (Barnard et al., 2013) به‌کار گرفته شده است. مدل‌سازی تصمیم‌گیری چند معیاره نه تنها توانایی شبیه‌سازی عکس‌العمل ساختارهای زمین‌شناسی سازندها با جریان آب را دارد، بلکه در اکتشاف تعداد زیادی از زمینه‌های ساختاری در مدت زمان کوتاه انعطاف‌پذیری دارد و به همین دلایل می‌تواند نیاز برنامه‌های اکتشافی را نیز برطرف سازد (Abdollahi, Sharif et al., 2010; Yanhua et al., 2011; Rezaei, Azizi, 2011; Rezaei Azizi et al., 2011). یکی از انواع این مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، مدل TOPSIS می‌باشد که در این پژوهش به‌کار گرفته شده است.

مدل تصمیم‌گیری شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)

این مدل یکی از بهترین مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که بر اساس وزن‌دهی کمی به‌کار رفته و استفاده بسیار زیادی دارد (Momenei, 2006; Shakor Shahabi et al., 2011; Sayyadi et al., 2007). در این مدل برای به‌دست آوردن بهترین انتخاب بر اساس شاخصهایی که مد نظر طراح می‌باشد، ابتدا ماتریس تصمیم تعریف می‌شود. این ماتریس از تعدادی ستون که هر ستون شاخص مورد نیاز در تصمیم‌گیری می‌باشند، تشکیل یافته است. سطرهای این ماتریس از گزینه‌هایی که می‌بایست از بین آنها بهترین گزینه، که بیشترین تطابق را با شاخصها داشته باشد، تشکیل یافته است. اساس این تکنیک بر این مفهوم استوار است که بهترین نتیجه باید، کمترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن) و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن) داشته باشد. مراحل اجرای مدل‌سازی تصمیم‌گیری چند معیاره به صورت زیر انجام گرفت.

(شاخص C3) و میزان Sr به‌عنوان عامل کنترل‌کننده تشکیل آراگونیت و یا کلسیت در محلولهای آبی کربناته است (شاخص C4). همچنین برای بررسی ارتباط بین میزان حجم ذخایر (شاخص C5) و نقش آن در تفاسیر زمین‌شیمیایی از این شاخص نیز در مدل‌سازی تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده گردید (جدول 5).

انتخاب شاخصهای زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی همان‌طور که قبلاً اشاره گردید عوامل ساختاری زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی مؤثر بر ژنز این تیپ ذخایر شامل مقدار CaO محلول در چشمه‌های آهک‌ساز (شاخص C1)، ناهنجاری Eu جهت تعیین قلیایی - اسیدی بودن محیط تشکیل و تشخیص حدود میزان دمای محیط تشکیل (شاخص C2)، ناهنجاری Ce جهت تعیین اکسیداسیون و احیا بودن محیط تشکیل

جدول 5. میزان ذخایر کلسیت در منطقه قره‌قشلاق (بر حسب تن).

Table 5. Volume of the calcite deposits in the Ghare-Gheshlagh.

White calcite	Green calcite	Pink calcite
1703	79679	63778

ماتریس A1 کلسیت صورتی، A2 کلسیت سبز و A3 کلسیت سفید در نظر گرفته شده‌اند. هر کدام از آرایه‌های این ماتریس اعداد متناظر شاخص در مقابل نوع کلسیت را نشان می‌دهد (جدول 6).

تشکیل ماتریس شاخص - سنگ

ماتریس تصمیم شاخص - سنگ ماتریسی است به ابعاد 3×5 که ستونهای آن شاخصهای زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی بررسی شده در منطقه و ردیفهای ماتریس نیز نوع واحدهای کلسیتی است که از آنها نمونه‌گیری انجام گرفته است. در این

جدول 6. ماتریس تصمیم شاخص - سنگ در منطقه قره‌قشلاق.

Table 6. Index-Rock decision matrix in the Ghare-Gheshlagh.

A _i C _j	CaO	Eu Anomaly	Ce anomaly	Sr	Volume
Pink calcite	54.45	0.997	0.0241	0.35	63778
Green calcite	53.4	0.087	0.0131	1.22	79679
White calcite	53.89	0.247	0.0113	0.99	1703

آن اوزان هر عنصر جداگانه محاسبه می‌شود (Momenei, 2006). در این روش برای بی‌مقیاس‌سازی هر آرایه از رابطه 1 استفاده می‌شود.

$$nij = \frac{aij}{\sqrt{\sum_{i=1}^m aij^2}} \quad \text{رابطه (1)}$$

در این رابطه nij مقدار بی‌مقیاس شده کلسیت i از نظر شاخص j و aij آرایه مربوط به شاخص زمین‌شیمیایی i در واحد کلسیتی j است. با اعمال رابطه 1 ماتریس بی‌مقیاس مربوط به منطقه به‌دست می‌آید (جدول 7).

ماتریس بی‌مقیاس

هر کدام از ستونهای ماتریس تصمیم شاخص - سنگ با شاخصهای مختلف و دارای واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی می‌باشند. برای مقایسه آرایه‌های ماتریس و اعمال روابط ریاضی در آنها لازم است کل ماتریس به یک ماتریس بی‌مقیاس تبدیل گردد. با این تبدیل می‌توان ماتریسی ساخت که در آن تمام آرایه‌ها دارای واحدهای یکسانی برای مقایسه و اجرای مراحل بعدی باشند. از بین روشهای مختلف موجود در بی‌مقیاس‌سازی، روش نورم یکی از بهترین روشهاست که در

جدول 7. ماتریس بی‌مقیاس شده شاخص - سنگ در منطقه قره‌قشلاق.

Table 7. Index-Rock normalized weighted matrix in the Ghare-Gheshlagh.

Ai\Cj	CaO	Eu anomaly	Ce anomaly	Sr	Volume
Pink calcite	0.583	0.967	0.812	0.218	0.625
Green calcite	0.572	0.084	0.442	0.758	0.781
White calcite	0.577	0.24	0.381	0.615	0.017

در این رابطه a_{ij} آرایه‌های ماتریس شاخص - سنگ به دست آمده است. با استفاده از رابطه 2 مقدار آنتروپی شاخص Z_m (E_j) از رابطه 3 محاسبه می‌گردد. مقدار K ثابت است و به منظور این که E_i بین صفر و یک باشد اعمال می‌شود که مقدار K در این منطقه از رابطه 4 که در آن مقدار m برابر تعداد واحدهای کلسیتی ($m=3$) در نظر گرفته و برابر $0/91$ به دست می‌آید.

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m [p_{ij} \ln p_{ij}] \quad \text{رابطه (3)}$$

$$K = \frac{1}{\ln(m)} \quad \text{رابطه (4)}$$

در این مرحله مقدار اوزان (W_j) شاخصهای زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد پژوهش با استفاده از رابطه 5 به دست می‌آید.

$$W_j = \frac{1-E_j}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad \text{رابطه (5)}$$

بر اساس نتایج محاسبات (جدول 8) مشاهده می‌شود وزن شاخصهای ناهنجاری Eu و حجم ذخایر کلسیت به ترتیب 43٪ و 39/1٪ می‌باشند.

ارزیابی اوزان شاخصها

در ماتریس تصمیم باید اهمیت نسبی هر شاخص را مشخص کرد، از این رو به هر شاخص یک وزن داده می‌شود. این وزن‌ها اهمیت (ارجحیت) هر شاخص را نسبت به بقیه نشان می‌دهد. برای وزن‌دار نمودن هر شاخص روشهای مختلفی وجود دارد. یکی از روشهای بسیار مرسوم و کارآمد روش آنتروپی است. در این روش با استفاده از معادلات ریاضی و بر اساس توزیع احتمال و سازوکارهای آماری هر شاخص وزن‌دار می‌گردد. در این پژوهش برای وزن‌دار نمودن شاخصهای زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی ذخایر تحت بررسی کلسیت از روش آنتروپی استفاده شده است. ماتریس تصمیم شاخص - سنگ حاوی اطلاعاتی است از ترکیب شاخصهای زمین‌شیمیایی برای هر واحد کلسیتی که آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود.

در این مرحله ابتدا با استفاده از ماتریس شاخص - سنگ مقادیر توزیع احتمال P_{ij} بر اساس سازوکار آماری با استفاده از رابطه 2 محاسبه می‌شود.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{رابطه (2)}$$

جدول 8. اوزان شاخصهای زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی قره‌قشلاق.

Table 8. Geological and geochemical index weights in the Ghare-Gheshlagh.

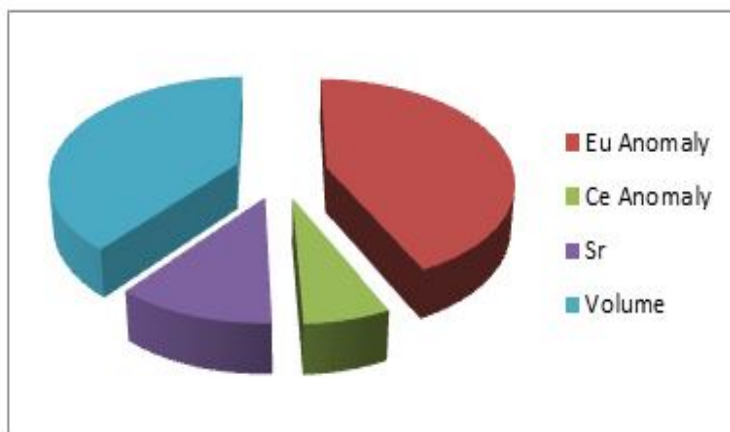
CaO	Eu anomaly	Ce anomaly	Sr	Volume
0%	43%	6.4%	11.6%	39.1%

این واقعیت است که اگر نمونه از کلسیت‌های با حجم ذخیره بیشتر انتخاب گردد تفسیر نتایج زمین‌شیمیایی به واقعیت

این اعداد نشان می‌دهند که ناهنجاری Eu بیشترین اهمیت را در بررسی زمین‌شیمیایی دارد. تأثیر حجم ذخیره نیز بیانگر

مقدار CaO به ترتیب با وزنه‌های 6/4٪ و صفر درصد اهمیت کمتری در تفسیر نتایج زمین‌شیمیایی دارند (شکل 7).

نزدیکتر خواهد بود. اندازه‌گیری میزان Sr با وزنی برابر 11/6٪ نشان می‌دهد که در بین سایر عناصر و عوامل زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی از اهمیت کم و ناهنجاری Ce و



شکل 7 نمودار گرافیکی اوزان شاخص‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌شناسی قره‌قشلاق.

Fig. 7. Diagram of geological and geochemical index weights in the Ghare-Gheshlagh.

$$d_i^{(-)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad \text{رابطه (7)}$$

$$CL^* = \frac{d_i^{(-)}}{d_i^{(-)} - d_i^{(+)}} \quad \text{رابطه (8)}$$

در این روابط V_j^+ بردار بهترین مقادیر هر شاخص زمین‌شیمیایی ماتریس و V_j^- بردار بدترین مقادیر هر شاخص زمین‌شیمیایی ماتریس می‌باشند. میزان فاصله هر واحد کلسیتی تا ایده‌آلهای مثبت (d_j^+) و منفی (d_j^-) به صورت فاصله اقلیدسی محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل از این محاسبات در این پژوهش در جدول 9 و نمودار گرافیکی آن در شکل 8 ارائه شده است.

تعیین میزان نزدیکی نسبی CL^*

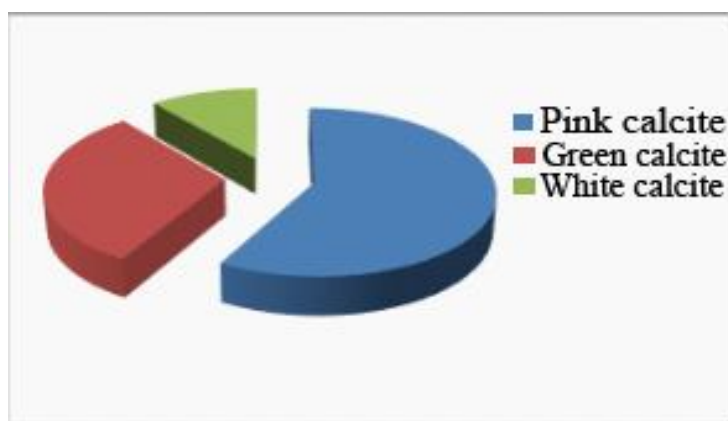
استفاده از این مدل می‌تواند میزان نزدیکی نسبی تطبیق نمونه‌های واحدهای کلسیتی بر اساس شاخص‌های زمین‌شیمیایی به ایده‌آلهای مثبت و منفی را نشان دهد. برای محاسبه این مقادیر در واحدهای کلسیتی منطقه ابتدا باید ماتریس بی‌مقیاس شده شاخص زمین‌شیمیایی - واحدهای کلسیتی را در ماتریس مربعی اوزان که در آن قطر اصلی این ماتریس اوزان شاخص‌های زمین‌شیمیایی است ضرب شود تا ماتریس بی‌مقیاس شده موزون V به دست آید، سپس با استفاده روابط 6، 7 و 8 میزان CL^* محاسبه شود.

$$d_i^{(+)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad \text{رابطه (6)}$$

جدول 9. مقادیر CL^* واحدهای کلسیتی در منطقه قره‌قشلاق.

Table 9. CL^* values for calcitic units in the Ghare-Gheshlagh.

CL^* (Pink calcite)	0.837
CL^* (Green calcite)	0.445
CL^* (White calcite)	0.157



شکل 8. نمودار گرافیکی بهترین واحدهای سنگ‌شناختی برای نمونه‌گیری در مطالعات زمین‌شیمیایی منطقه قره‌قشلاق.

Fig. 8. Graphic diagram of the optimum sampling formations for geochemical investigations in the Ghare-Gheshlagh.

Sr و ناهنجاری Ce به ترتیب وزنی برابر $39/43,1$ و $11/6$ و $6/4$ درصد می‌باشند. بالا بودن میزان درصد وزنی ناهنجاری Eu نشان می‌دهد که قلیایی بودن محیط تشکیل بیشترین تأثیر را در کنترل رسوب کلسیت‌ها داشته و مقدار Sr محلولها و احیایی بودن محیط تشکیل عوامل نسبتاً مؤثر دیگری در رسوب کلسیت می‌باشند.

3- نتایج محاسبه نزدیکی نسبی کلسیت‌های منطقه بر اساس داده‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که واحد کلسیتی صورتی، سبز و سفید به ترتیب دارای مقادیری برابر با $0/837$ ، $0/445$ و $0/157$ می‌باشند. با توجه به اعداد به دست آمده واحدهای کلسیتی صورتی و سبز بیشترین نزدیکی و تطابق را با شاخصهای زمین‌شیمیایی مؤثر در منشأ دارند و واحد کلسیتی سفید در بین سایر واحدها کمترین مقدار تطابق را با این شاخصها داراست. لذا می‌توان استنباط کرد که بهترین واحدهای کلسیتی جهت نمونه‌گیری و انجام آنالیز برای تفسیر و تعیین دقیق تر منشأ واحدها به ترتیب کلسیت‌های صورتی و سبز می‌باشند. استفاده از این مدل باعث کاهش هزینه نمونه‌گیری و آنالیزهای شیمیایی اولیه شده لذا در این منطقه در مطالعات بعدی بهتر است بیشتر نمونه‌ها از واحدهای کلسیتی صورتی و سبز انتخاب گردد.

مقدار نزدیکی نسبی کلسیت صورتی، سبز و سفید به ترتیب برابر $0/837$ ، $0/445$ و $0/157$ به دست می‌آید. هرچه این اعداد به یک نزدیکتر باشند نشان می‌دهند که نتایج استفاده از آن واحد کلسیتی در تفاسیر زمین‌شیمیایی با در نظر گرفتن شاخصهای زمین‌شیمیایی فرض شده در مدل بهتر است.

نتیجه‌گیری

1- مقادیر منفی ناهنجاری Eu بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهد که محلولهای آهک‌ساز تشکیل‌دهنده کلسیت‌ها دمای بسیار پایینی داشته و همچنین نسبت سیال به سنگ در نهشته‌های کلسیتی سبز و سفید پایین ولی در نهشته‌های کلسیتی صورتی نسبت سیال به سنگ نسبتاً بیشتر و محیط تشکیل قلیایی بوده است. لذا پایین بودن دمای محلولهای چشمه‌های آهک‌ساز و کم بودن میزان Sr در محلولها از عوامل کنترل‌کننده رسوب کلسیت به جای آراگونیت بوده است. از طرفی مقادیر ناهنجاریهای شدیداً منفی Ce در این نهشته‌ها نشان می‌دهد که محیط رسوبی تشکیل این ذخایر محیطی احیایی بوده است.

2- بررسی اوزان شاخصهای زمین‌شیمیایی کلسیت‌های منطقه بر اساس مدل تصمیم‌گیری چند معیاره نشان می‌دهد که اهمیت و ارجحیت داده‌های زمین‌شیمیایی در تفسیر واحدهای کلسیتی منطقه مورد مطالعه برای ناهنجاری Eu، حجم، مقدار

References

Abdollahi Sharif, J., Emamalipour, A., Alipour, A., and Mokhtarian Asl, M., 2010. Position of 3-D modelling for investigating geological, economical, reserve calculation and genesis of

them. Journal of Economic Geology, 2(1): 51-59. (in Persian with English abstract)

Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran. Amir Kabir Press, Tehran, 434 pp. (in Persian)

- Barnard, P.L., Foxgrover, A.C., Elias, E.P.L., Erikson, L.H., Hein, J.R., McGann, M., Mizell, K., Rosenbauer, R.J., Swarzenski, P.W., Takesue, R.K., Wong, F.L. and Woodrow, D.L., 2013. Integration of bed characteristics, geochemical tracers, current measurements, and numerical modeling for assessing the provenance of beach sand in the San Francisco Bay Coastal System. *Marine Geology*, 336 (1): 120-145.
- Bau, M. and Moller, P., 1992. Rare-earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 45(2): 231-246.
- Biets, L., (translated by Alipour, S.), 1990. *Geology of Industrial Minerals and Rocks*. Urmia Jahade-Daneshgahi Press, Urmia, 365 pp. (in Persian)
- Cheng, D.L., Jiang-haob, L., Shou-pengc, Z., Lianga, L., Zhao-bina, Y., Guo-lina, G. and Tinga, L., 2013. Geochemical characteristics of calcite and dolomite in sandstone of Dongying Sinking, Shandong Province, China. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7(4): 504 – 507.
- Eftekharneshad, J., 1973. Geological map of Mahabad, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran. (in Persian)
- Griera, A., Liorens, M., Gomez-Rivas, E., Bon, P.D., Jessell, M.W., Evans, L.A. and Lebensohn, R., 2013. Numerical modelling of porphyroblast and porphyroblast rotation in anisotropic rocks. *Tectonophysics*, 587(1): 4-29.
- Marcato, G., Mantovani, M., Pasuto, A., Zabuski, L. and Borgatti, L., 2012. Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscardo landslide (Eastern Italian Alps). *Engineering Geology*, 128(1): 95-107.
- Momenei, M., 2006. New aspects of operation research. Tehran University Press, Tehran, 326 pp. (in Persian)
- Nesbitt, H.W., MacRae, N.D. and Kronberg, B.I., 1990. Amazon deep-sea fan muds: light REE enriched products of extreme chemical weathering. *Earth Planet Science Letters*, 100(1): 118-123.
- Ortega, R., Maire, R., Deves, G. and Quinif, Y., 2005. High-resolution mapping of uranium and other trace elements in recrystallized aragonite-calcite speleothems from caves in the Pyrenees (France): Implication for U-series dating. *Earth and Planetary Science Letters*, 237(8): 911– 923.
- Qingchun, Y., Wenxi, L. and Yanna, F., 2011. Numerical Modeling of Three Dimension Groundwater Flow in Tongliao (China). *Procedia Engineering*, 24(5): 638 – 642.
- Rezaei Azizi, M., 2011. Modeling of geology and blocks at Ghare-Gheshlagh marble mine and investigation of affecting parameters in forming and genesis of deposit. M.Sc. Thesis, Urmia University, Urmia, Iran, 128 pp. (in Persian with English abstract)
- Rezaei Azizi, M., Alipour, S., and Abdollahi sharif, J., 2011. 3-D modeling and it's role in Geological investigation of Ornamental Stone Deposits (with a case study on Gare-gheshlagh mine). 3th Symposium of Iranian Society of Economic Geology, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. (in Persian with English abstract)
- Sayyadi, A., Hayati, M. and Monzaji, M., 2011. Risk management of tunneling using MADM techniques. *Journal of Industrial Management*, 3(7): 99-116. (in Persian with English abstract)
- Shakor Shahabi, R., Kakaei, R. and Basiri, M.H., 2007. Mineral classification by using TOPSIS method. *Journal of Mining engineering*, 2(4) 1-10. (in Persian with English abstract)
- Stocklin, J. and Nabavi, M., 1972. Tectonic Map of Iran, scale: 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Sunagawa, I., Takahashi, Y. and Imai, H., 2007. Strontium and aragonite – calcite precipitation. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 102(1): 174-181.
- Sverjensky, D.A., 1984. Europium redox equilibria in aqueous solution. *Earth Planet Science Letters*, 67(1): 70–78.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth elements evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 301(3): 381-399.
- Yanhua, Z., Robinson, J. and Schaub, P.M., 2011. Numerical modeling of structural controls on fluid flow and mineralization. *Geoscience Frontiers*, 2(3): 449-461.
- Zhijun, W., Louis N. and Yuen, W., 2013. Modelling cracking behavior of rock mass containing inclusions using the enriched numerical manifold method. *Engineering Geology*, 5(1): 1-52.

Use of multiple attributes decision-making Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) for Ghare-Gheshlagh calcite in determination of optimum geochemical sampling sites

Mansour Rezaei Azizi^{1*}, Samad Alipour¹ and Jafar Abdollahi Sharif²

1) Department of Geology, Faculty of science, Urmia University, Urmia, Iran

2) Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.

Submitted: Sep. 17, 2013

Accepted: June 15, 2014

Keywords: TOPSIS, Geochemistry, Calcite, Optimum sampling sites, Ghare-Gheshlagh, Sanandaj-Sirjan zone.

Introduction

Several valuable calcite deposits are located in Ghare-Gheshlagh, south basin of Urmia Lake, NW Iran. Ghare-Gheshlagh area is situated in the northern part of tectono-sedimentary unit, forming NW part of Tertiary Sanandaj-Sirjan geological belt (Stocklin and Nabavi, 1972). The predominant rock types of the area include light color limestones (Qom Formation) and Quaternary alluviums and underlined dolomite in depth (Eftekharnejhad, 1973). The thickness of these units varies between 10 cm and 6 meters and up to some hundred meters in length.

In the present study, the effect of geochemical parameters responsible for precipitating calcite from the carbonate aqueous fluids is interpreted by the TOPSIS method to find the most preferable sampling sites and geochemical data.

Materials and Methods

A total of 20 samples were taken from a NE-SW trending profile including 15 calcites of fresh surface outcrops (5 samples per each colored calcite units) in order to determine the nature of the rocks. The mineral assemblages were analyzed by optical methods in combination with XRD powder diffraction analysis. Major elements were determined by X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF), trace and rare earth elements were determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) in Geological Survey of Iran.

Results

The abundances of trace elements were normalized to the continental crust values (Taylor

and McLennan, 1981). The green calcite revealed enrichment in Rb and Sr, while green and white calcite were enriched in U. The U enrichment in the green calcite indicates the reduction condition of deposition. Incompatible elements such as Ba, Th, Nb and P depleted in all calcites. Varying the Sr/Ba value between 3.18 and 5.21% indicates the continental deposition environment and non-magmatic waters as well (Cheng et al., 2013). The Sr²⁺ content of calcites varies from 123 to 427 ppm, indicates suitable condition for calcite precipitation.

Eu anomalies for green, white and pink calcites were varied 0.087, 0.247 and 0.997 respectively. The low amounts of Eu anomaly for green and white calcites attributed to low rock/fluid ratio (Nesbitt et al., 1990) and relatively more pH value (Cheng et al., 2013), however, increasing the Eu anomaly may be due to high rock/fluid ratio and less pH value. Ce anomalies are 0.0241, 0.0113 and 0.0131 in pink, white and green calcites respectively. The most negative Ce anomaly values show that calcite have precipitated under reduction conditions (Nesbitt et al., 1990).

Discussion

Recently, multiple attributes decision-making techniques help scientist to solve decision-making problems related to various controlling factors (Zhijun et al., 2013). One of these techniques is a Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) which is a quantitative weighted method (Momenei 2006). The identified criteria are CaO abundant in solution (C1), Eu anomaly (C2), Ce anomaly (C3), Sr abundant (C4) and volume (C5). The Index-Rock matrix

also includes A1, A2 and A3 alternatives; as pink, green and white calcite respectively.

The weighted normalized decision matrix can be calculated by multiplying the normalized evaluation matrix with its associated weight to obtain the result. The result show that Eu anomaly, volume, Sr abundant and Ce anomaly in order have higher role to investigate the geochemical study of area. Calculation of the relative closeness to the ideal solution (CI *) for pink, green and white calcites are 0.837, 0.445 and 0.157 respectively. It can be deduced that the most preferable calcite to be sampled for investigating geochemically are pink and green calcites.

References

- Cheng, D.L., Jiang-haob, L., Shou-peng, Z., Lianga, L., Zhao-bina, Y., Guo-lina, G. and Tinga, L., 2013. Geochemical characteristics of calcite and dolomite in sandstone of Dongying Sinking, Shandong Province, China. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7(4): 504 – 507.
- Eftekharneshad, J., 1973. Geological map of Mahabad, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran. (in Persian)
- Momenei, M., 2006. New aspects of operation research. Tehran University Press, Tehran, 326 pp. (in Persian)
- Nesbitt, H.W., MacRae, N.D. and Kronberg, B.I., 1990. Amazon deep-sea fan muds: light REE enriched products of extreme chemical weathering. *Earth Planet Science Letters*, 100(1): 118-123.
- Stocklin, J. and Nabavi, M., 1972. Tectonic Map of Iran, scale: 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth elements evidence from sedimentary rocks. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 301(3): 381-399.
- Zhijun, W., Louis N. and Yuen, W., 2013. Modelling cracking behavior of rock mass containing inclusions using the enriched numerical manifold method. *Engineering Geology*, 5(1): 1-52.