



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
Vol. 35, Issue 3, No. 76, Autumn 2019
pp. 57-78
Received: 10.05.2019 Accepted: 17.07.2019

Stratigraphy, sedimentary environment and geochemistry of the Ruteh Formation in Qarkhotlou region, south-west of the Zanjan

Farzaneh Nouri

MSc Student of Geology, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran
farzanenouri@znu.ac.ir

Afshin Zohdi*

Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Afshin.zohdi@znu.ac.ir

Hossein Kouhestani

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
kouhestani@znu.ac.ir

Mir AliAsghar Mokhtari

Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran
amokhtari@znu.ac.ir

Abstract

The Ruteh Formation in the Qarkhotlou region (southwest of Zanjan) mainly consists of 52 m sandy limestones and cream to grey thin to medium-bedded limestones. In this area, the Routh Formation overlies the quartz-bearing sandstones of the Doroud Formation and is overlain by laterite-bauxite horizon. Based on fieldwork and microscopic studies, six carbonate microfacies is identified in the Routh Formation in the Qarkhotlou area. The interpretation of microfacies and the lack of coral great barrier reefs, absence of turbidite deposits as well as the presence of skeletal allochthones such as green algae, bivalve, brachiopoda, benthic foraminifera and echinoderm debris indicate that these microfacies possibly were deposited inside the shallow parts of a carbonate ramp. In order to study the geochemical characteristics of the Ruteh Formation and also to determinate the original carbonate mineralogy, the main (Mg and Ca) and trace (Sr, Na, Mn and Fe) elements were analyzed on 15 samples of these limestones (mainly micrite). Based on the two-variable diagrams such as Sr vs. Na, Mn vs. Sr/Na, Na vs. Mn and also Sr/Mn vs. Mn, it can be stated that the original carbonate mineralogy of these studied limestones in the Ruteh Formation are calcite-aragonite mixture which is consistent with the formation environment of these studied carbonates at the Palaeo-Tethys southern margin during the Permian.

Keywords: Stratigraphy, Microfacies, Sedimentary Environment, Geochemistry, Ruteh Formation, Permian, Qarkhotlou, Zanjan.

Introduction

The Ruteh Formation is one of the most fossiliferous carbonate units in the Alborz Mountains. Lithostratigraphically, the Ruteh Formation in Alborz Mountains was correlated with the Jamal Formation in Central Iran Basin. This formation, defined in Alborz Mountains by Assereto (1963), displays a carbonate sequence relatively homogeneous of grey to dark limestones with intercalated marls. The type section of the Ruteh Formation is located in central Alborz near the village of Ruteh (North of the Tehran), where it has a thickness of 230 meters and consists of dark grey, medium-bedded to massive fossiliferous limestones (Assereto 1963). Lasemi (2001) characterized the sedimentary palaeoenvironments of the Ruteh Formation as equivalents of modern carbonate

environments of the southern Persian Gulf with open sea, shoal, lagoon and tidal flat, respectively. The erosional lower boundary of the Ruteh Formation rests everywhere unconformably on the older lithological units (mostly Doroud Formation) and the upper boundary of the Ruteh Formation is regionally marked by a bauxite-laterite deposits (Aghanabati 2010), in the most areas of Central Iran. In this research for the first time depositional conditions and elemental geochemistry of the Ruteh Formation in the Zanjan province (Qarkhotlou section) have been evaluated.

Material & Methods

In this research to recognize the sedimentary environment and original carbonate mineralogy of the Ruteh Formation, we used one unique outcrop at the Qarkhotlou region

*Corresponding author

located in the southwest of Zanjan. The section measured a total thickness of 52 m and consists of sandy limestone and cream to grey thin to medium-bedded limestones. In this area, the Routh Formation overlies the quartz-bearing sandstones of the Doroud Formation and is overlain by laterite-bauxite horizon. During the fieldwork studies, 35 rock samples from carbonate deposits have been taken for petrographic studies and geochemical analysis. In order to differentiate ferroan and non-ferroan calcite from ferroan and non-ferroan dolomite in thin sections, the staining method of Dickson (1965) was applied. Carbonate rocks were classified according to the schemes of Dunham (1962). Flügel (2010) facies belts and sedimentary models were also used in this research. The composition of associated fauna and non-skeletal grains was considered. Sedimentologic texture and structure have been described in a semi-quantitative manner. Elemental geochemistry analyses (major and trace elements) were performed on 15 samples of these carbonates through the succession. The concentration of Ca, Mg, Fe, Mn and Sr of samples was measured at the Zarmazma Mineral Studies Company, Tehran.

Discussion of Results & Conclusions

Based on the field and petrographic studies, the microfacies and depositional environment of the Ruteh Formation were recognized in the studied section. This formation has been made of six microfacies which deposited in a shallow open marine environment. These facies mainly consists of different kinds of benthic foraminifers with microgranular and porcelaneous shells (such as: *miliolid*), algae, echinoids, brachiopods and bivalve debris, along with some non-skeletal components (e.g., aggregates and intraclasts). These

recognized microfacies from shallowest to deepest environments included as follow: (1) aggregate bioclast sandy wackestone, (2) peloid small benthic foraminifera wackestone, (3) bivalve green algae wackestone to packstone, (4) intraclast bioclast packstone to grainstone, (5) green algae brachiopoda packstone and finally (6) echinoderm brachiopoda wackestone. Gradual microfacies change, abundant micrites, the absence of calciturbidites and lack of extensive barrier reefs with considerable thickness, confirms a carbonate ramp for the studied carbonates succession. The microfacies mostly deposited in a distal inner ramp. The five microfacies (MF1–MF5), belong to distal inner ramp and just one is located in the proximal middle ramp (MF6: echinoderm brachiopoda wackestone). Whether carbonate ramps were distally steepened or homoclinal cannot be confirmed by the current study, since we are focusing on the shallowest environments. In the studied area, the boundary between Ruteh and Shemshak formations is identified by thick laterite-bauxite layers with a thickness of about 20 m which clearly show an erosional surface forming during a warm and humid climatic condition. The geochemical results show that the samples are completely composed of limestones. Geochemical analysis of the limestones such as Ca, Mg, Sr (147–582 ppm), Na (262–974 ppm), Mn (101–577 ppm) and Fe (400–14100 ppm), and their bivariate plots (such as Sr, Sr/Na and Sr/Ca) indicate that the original carbonate mineralogy is calcite-aragonite mixture which is consistent with the formation of these studied carbonate deposits at the Palaeo-Tethys southern margin during the Permian. Geochemical studies also confirm that Ruteh carbonates were deposited in a shallow warm-water environment in the study area.

چینه‌شناسی، محیط رسوبی و ژئوشیمی سازند روته در منطقه قارخوتلو، جنوب‌باختر زنجان

فرزانه نوری، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، ایران

farzanenouri@znu.ac.ir

افشین زهدی*، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

afshin.zohdi@znu.ac.ir

حسین کوهستانی، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

kouhestani@znu.ac.ir

میرعلی اصغر مختاری، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران

amokhtari@znu.ac.ir

چکیده

سازند روته در منطقه قارخوتلو (جنوب‌باختر زنجان) از نظر سنگ‌شناسی عمدتاً از سنگ‌آهک ماسه‌ای و سنگ‌آهک‌های کرم تا خاکستری‌رنگ نازک تا متوسط‌لایه به ضخامت ۵۲ متر تشکیل شده است. در این منطقه، سازند روته روی ماسه‌سنگ‌های کوارتزی سازند دورود قرار گرفته و با افق لاتریتی-بوکسیتی پوشیده شده است. بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، وجود شش ریزرخساره کربناته را در سازند روته در منطقه قارخوتلو نشان می‌دهند. تجزیه و تحلیل ریزرخساره‌ها و نبود آثار ریف‌های سدی بزرگ مرجانی، نبود رسوبات توریدایتی در ریزرخساره‌های شناسایی شده و همچنین حضور آلوم‌های اسکلتی مانند جلبک سبز، دوکفه‌ای، براکیوپود، فرامینیفر بتتیک و قطعه‌های خارپوست نشان می‌دهد این ریزرخساره‌های کربناته احتمالاً در بخش‌های کم‌عمق پلت‌فرم کربناته از نوع رمپ رسوب‌گذاری شده‌اند. به منظور بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سازند روته در منطقه قارخوتلو و تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌های آن، تجزیه و تحلیل‌های عناصر اصلی (کلسیم و منیزیم) و فرعی (آهن، منگنز، سدیم و استرانسیم) روی ۱۵ نمونه از سنگ‌آهک‌های این سازند (بخش‌های میکرایتی) انجام شدند. بر اساس نمودارهای دو متغیره Sr در برابر Na، Mn، Sr/Na در برابر Na و Sr/Mn در برابر Mn می‌توان گفت ترکیب کانی‌شناسی اولیه نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته، مخلوط کلسیت-آراگونیت است که با محیط تشکیل کربنات‌های سازند روته در حاشیه جنوبی اقیانوس پالئوتتیس در زمان پرمین همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: چینه‌شناسی، ریزرخساره، محیط رسوبی، ژئوشیمی، سازند روته، پرمین، قارخوتلو، زنجان

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۸۱۸۲۹۲۴

مقدمه

همچنین استفاده از تصویر ماهواره‌ای Google Earth ترسیم شد. ضخامت سازند در منطقه مطالعه شده ۵۲ متر اندازه‌گیری شد و پس از انجام بررسی‌های صحرایی، تعداد ۳۵ نمونه سنگی از نهشته‌های کربناته سازند روته برداشت شدند؛ نمونه‌ها با توجه به تغییر ویژگی‌های رسوب‌شناسی و رخساره‌ای برداشت شدند. ویژگی‌های فسیل‌شناسی، سنگ‌شناسی و ریزرخساره‌ای نمونه‌های کربناته پس از رنگ‌آمیزی با محلول آلزاین قرمز (Dickson 1966) روی ۱۶ مقطع نازک مطالعه شدند. مقاطع نازک تهیه شده در آزمایشگاه و با میکروسکوپ پلاریزان از نظر محتوای فسیلی، ویژگی‌های بافتی و رسوب‌شناسی بررسی شدند. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته بر اساس تقسیم‌بندی رایج و متداول دانهام (Dunham 1962) انجام شد. در تفسیر ریزرخساره‌ها و تعیین محیط رسوبی سنگ‌های کربناته از روش فلوگل (Flügel 2010) استفاده شد. در مرحله بعد، به منظور تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌های مطالعه شده، تعداد ۱۵ نمونه از سنگ‌آهک‌های سازند روته (عمدتاً از بخش‌های میکرایتی نمونه‌ها) انتخاب و برای اندازه‌گیری عناصر اصلی و فرعی به آزمایشگاه شرکت زرآما در تهران ارسال و به روش‌های ICP-MS و XRF تجزیه و تحلیل شدند.

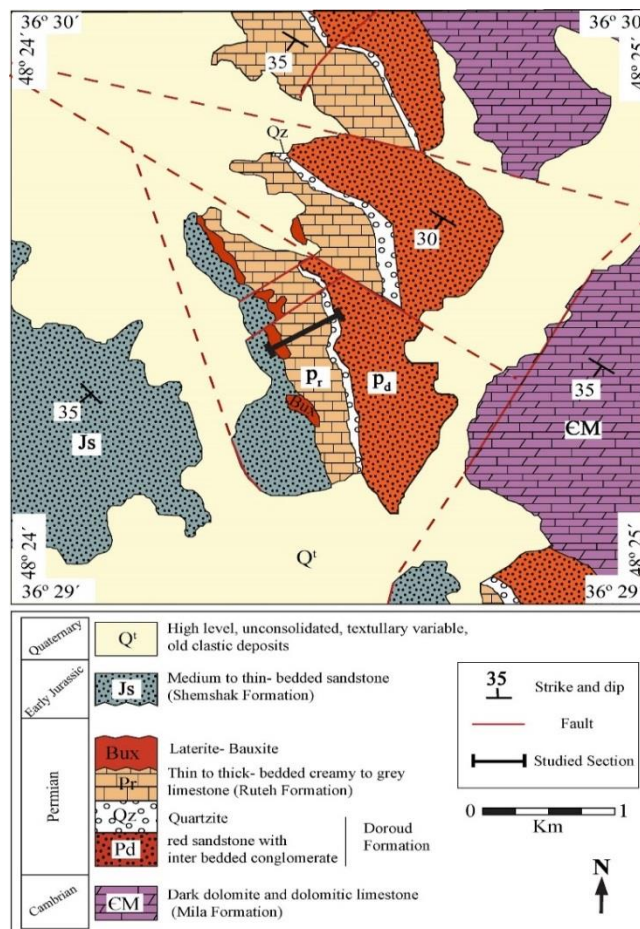
زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

منطقه مطالعه شده در تقسیم‌بندی پهنه‌های زمین‌ساختی-رسوبی ایران (Aghanabati 2010)، بخشی از بخش‌های شمال‌باختری پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود. این منطقه جزء کوچکی از ورقه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان (Babakhani and Sadeghi 2004) را در بخش‌های جنوب‌باختری آن به خود اختصاص می‌دهد. بر اساس پیمایش‌های صحرایی انجام شده، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ از منطقه قارخوتلو تهیه شد (شکل ۱). واحدهای سنگی موجود در این منطقه شامل سازندهای میلا، دورود، روته، افق لاتریتی-بوکسیتی و شمشک هستند که با واحدهای کواترنری پوشیده شده‌اند (شکل‌های ۱ و ۲).

نخستین بار آسرتو در سال ۱۹۶۳ (Asseretto 1963)، سازند کربناته روته به ضخامت ۲۳۰ متر را به‌عنوان دومین چرخه رسوبی پرمین البرز-آذربایجان در دره روته مطالعه و معرفی کرد. این سازند که یکی از پرفسیل‌ترین واحدهای سنگی از نظر دیرینه‌شناسی است، در گستره‌های وسیعی از البرز خاوری تا آذربایجان رخنمون دارد و شامل ردیف‌هایی از سنگ‌آهک‌های لایه‌ای خاکستری تا تیره با تناوبی از لایه‌های نازک مارن است (Aghanabati 2010). این سازند یکی از آخرین تشکیلات پالئوزوئیک است که اهمیت بسزایی دارد و میزبان بسیاری از کانسارهای رسوبی متداول است (e.g. Alipour et al. 2014; Shamanian et al. 2015). تاکنون مطالعه‌های فسیل‌شناسی و رسوب‌شناسی (Babaei Khu et al. 2013; Kafshdüz et al. 2014)، محیط رسوبی، ریزرخساره‌ها و چینه‌نگاری سکاسی (Hasani et al. 2014; Bastami et al. 2017) متعددی درباره سازند روته در مناطق مختلف البرز انجام شده‌اند؛ با وجود این، سازند روته در منطقه زنجان کمتر مدنظر قرار گرفته است؛ در همین راستا و برای نخستین بار، برش چینه‌شناسی مناسبی از سازند روته در منطقه قارخوتلو در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری جنوب‌باختر زنجان با مختصات جغرافیایی ۳۶° ۳۰' ۲" عرض شمالی و ۴۸° ۲۸' ۸۲" طول خاوری برای مطالعه‌های دقیق چینه‌شناسی، محیط رسوبی و ژئوشیمیایی انتخاب شد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند برای انطباق بهتر این سازند بین بخش‌های البرز مرکزی و باختری و بازسازی جغرافیای دیرینه زمان پرمین در حوضه‌های رسوبی البرز و ایران مرکزی استفاده شوند.

روش مطالعه

ابتدا با بررسی و مطالعه نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، برش مناسبی از سازند روته در منطقه مطالعه شده انتخاب شد و سپس پیمایش‌های صحرایی برای شناخت ساختمان‌های رسوبی، یافتن مرز سازندها و اندازه‌گیری ضخامت برش انتخاب شده انجام شدند. نقشه ۱:۵۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه مدنظر با پیمایش‌های صحرایی منظم و



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از منطقه قارخوتلو

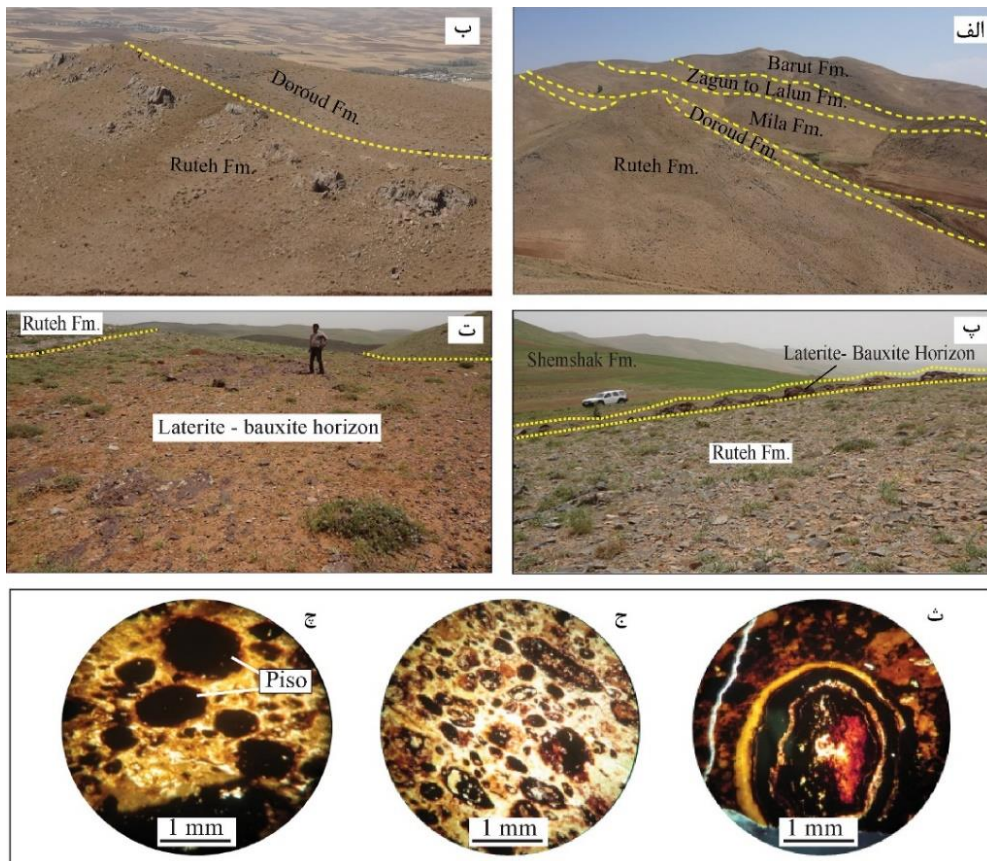
شمال‌باختری- جنوب‌خاوری با شیب حدود ۳۵ درجه به سمت جنوب‌باختر است. سازند روته به طور هم‌شیب روی سازند دورود قرار دارد (شکل‌های ۲ و ۳) و خود به طور هم‌شیب با افق لاتریتی- بوکسیتی به ضخامت تقریبی ۲۰ متر و به شکل ناپیوستگی فرسایشی پوشیده شده است (شکل‌های ۲ و ۳). افق لاتریتی- بوکسیتی مطالعه شده با رنگ قرمز و در برخی بخش‌ها با رنگ زرد در منطقه رخنمون دارد (شکل ۲، ت) و به سه بخش پیژوئیدی قرمز زیرین، بخش قرمز میانی و بخش زرد آجری بالایی تقسیم می‌شود. بافت‌های پیژوئیدی و اوئیدی از بافت‌های غالب این افق هستند (شکل ۲، ث تا چ)؛ البته طی مطالعه‌های صحرائی، یک واحد تراکی آندزیت بازالت به رنگ سبز تا خاکستری مایل به سبز و با ضخامت کم (حدود یک متر) زیر افق لاتریتی- بوکسیتی

سازند روته در منطقه قارخوتلو ۵۲ متر ضخامت دارد (شکل ۳). تغییرات سنگ‌شناسی این سازند از پایین به بالا به ترتیب عبارتند از: ۱. چهار متر سنگ‌آهک‌های ماسه‌ای ضخیم لایه کرم‌رنگ حاوی ذرات آواری (کوارتز)؛ ۲. بیست متر سنگ‌آهک‌های نازک لایه کاملاً تیره‌رنگ دارای آلوم‌های اسکلتی براکیوپود و خارپوست؛ ۳. پنج متر سنگ‌آهک‌های خاکستری‌رنگ متوسط تا ضخیم لایه دارای مقادیر فراوان خرده‌های اسکلتی جلبک سبز و دوکفه‌ای؛ ۴. بیست متر سنگ‌آهک‌های خاکستری‌رنگ متوسط لایه همراه با نودول‌ها و باندهای چرتی؛ ۵. سه متر سنگ‌آهک‌های خاکستری‌رنگ روشن متوسط تا نازک لایه دارای مقادیر فراوان خرده‌های اسکلتی براکیوپود و جلبک سبز. توالی چینه‌شناسی سازند روته در برش قارخوتلو در شکل ۳ نمایش داده شده است. امتداد لایه‌های این سازند،

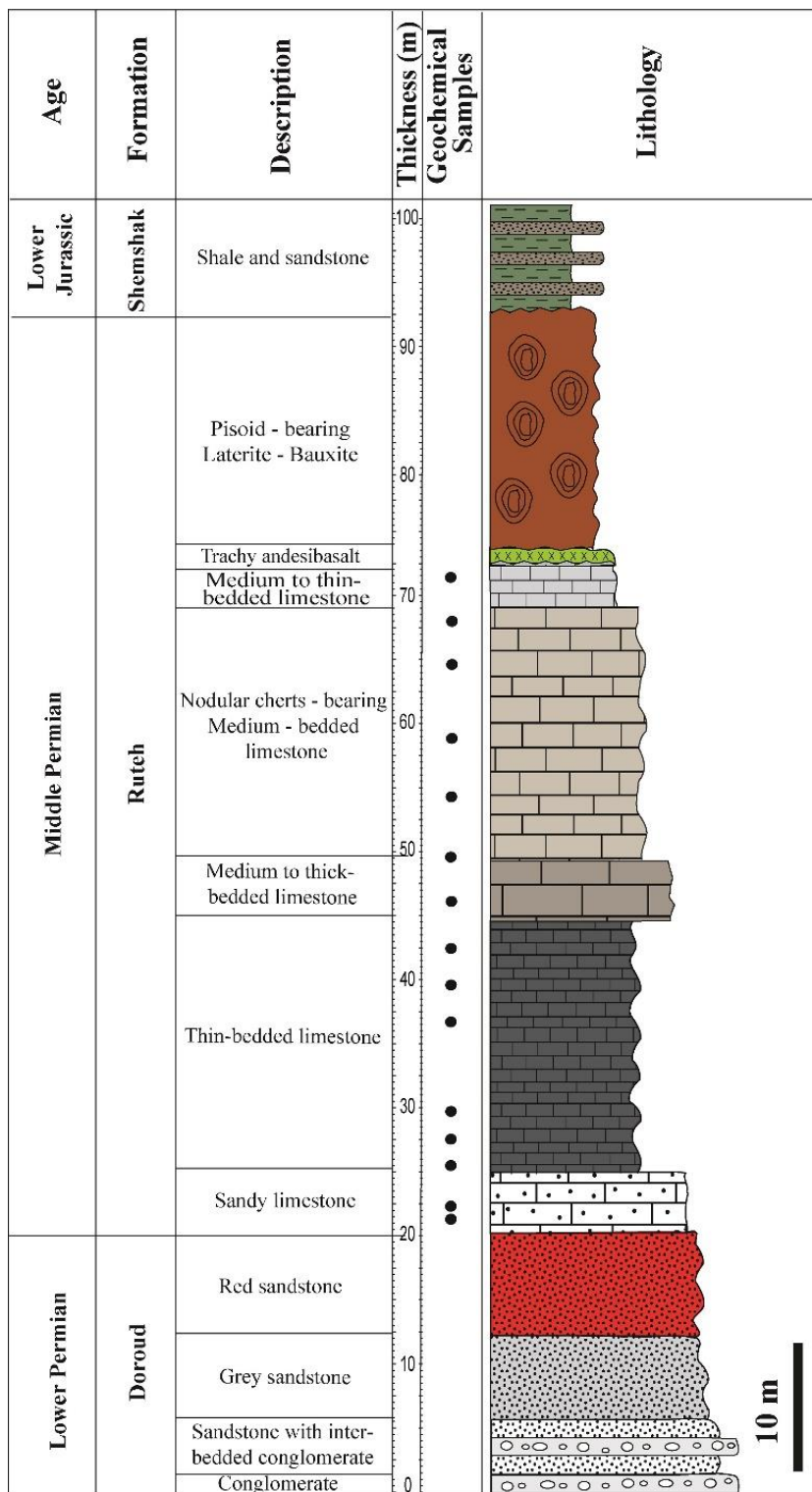
ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی

بر اساس مشاهده‌های صحرایی و بررسی مقاطع نازک میکروسکوپی و باتوجه به زمینه سنگ و اجزای تشکیل‌دهنده، شش ریزرخساره رسوبی برای نهشته‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو شناسایی شد (شکل‌های ۴ و ۵ و جدول ۱). در ادامه، توصیف هر یک از این ریزرخساره‌ها که از بخش‌های کم‌عمق‌تر حوضه رسوبی به سمت بخش‌های عمیق‌تر آن گسترش یافته‌اند، بیان و به تفسیر محیط رسوبی آنها پرداخته می‌شود.

شناسایی شده است که گسترش جانبی ندارد و در دیگر برش‌های سازند روته در منطقه زنجان مشاهده نشده است (Zohdi 2018). ضخامت کم سازند روته در برش مطالعه‌شده ممکن است به علت تأثیر ناپیوستگی فرسایشی بزرگ مقیاس مرز پرمین و تریاس باشد که در نتیجه آن، بخش اعظمی از رسوبات متعلق به سازند روته از بین رفته‌اند. همان‌طور که گفته شد، این افق فرسایشی ۲۰ متر ضخامت دارد و روی آن به‌جای سازند الیکا، نهشته‌های شیلی و ماسه‌سنگ سبزرنگ سازند شمشک رسوب‌گذاری کرده‌اند که خود می‌تواند به علت تأثیر این فاز فرسایشی باشد.



شکل ۲- تصاویر صحرایی سازند روته در برش قارخوتلو؛ الف. نمایی کلی از سازند روته و دیگر سازندهای پالنوزوئیک پایینی در منطقه مطالعه‌شده (دید به سمت شمال)، ب. نمایی نزدیک‌تر از مرز زیرین سازند روته با سازند دورود (دید به سمت جنوب)، پ. نمایی از مرز بالایی سازند روته با افق لاتریتی- بوکسیتی در منطقه مطالعه‌شده (دید به سمت جنوب‌باختر)، ت. افق لاتریتی- بوکسیتی با ضخامت درخور توجه در منطقه مطالعه‌شده، ث تا ج. تصاویر میکروسکوپی از افق لاتریتی- بوکسیتی در توالی مطالعه‌شده که در این تصاویر، حضور پیژوئیدها به‌عنوان یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این افق مشخص است.



شکل ۳- ستون سنگ‌چینه‌ای سازند روته در منطقه فارخوتلو، جنوب‌باختر زنجان

جدول ۱- ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند روته در برش قارخوتلو

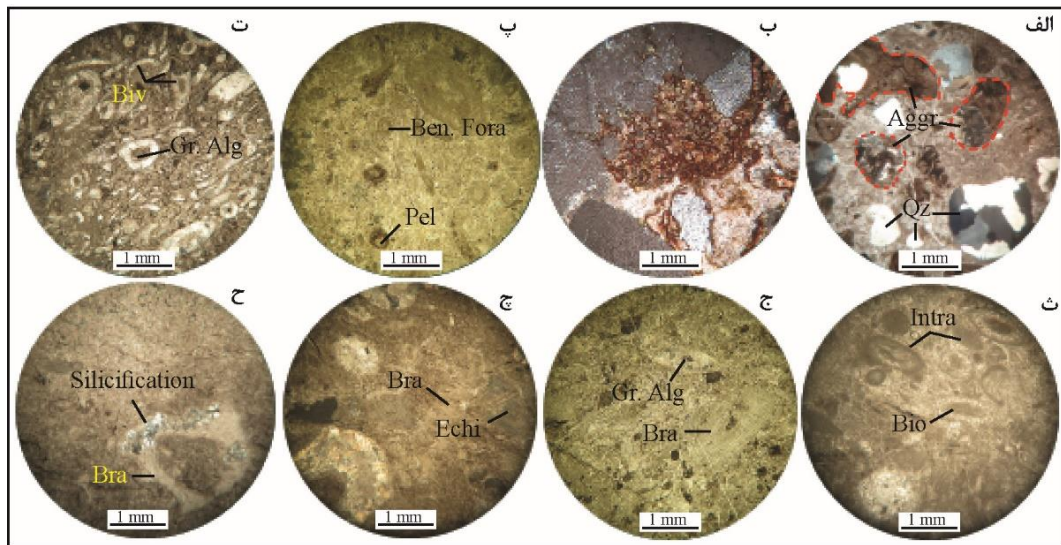
| Facies Code | Facies Name | Main Lithology | Main Allochems | Minor Allochems | Sedimentary Environment |
|-------------|--|---------------------------------|--|---|-------------------------|
| Facies 1 | Aggregate bioclast sandy wackestone | Thick-bedded Sandy limestone | Quartz (15%) Aggregate (8%) | Red algae (5%) Benthic foraminifera (3%) Gastropoda (2%) Echinoderm (2%) Brachiopoda (2%) | Distal inner ramp |
| Facies 2 | Peloid small benthic foraminifera wackestone | Thin to thick-bedded limestone | Small benthic foraminifera (14%) Peloid (10%) | Quartz (6%) Echinoderm (5%) Brachiopoda (5%) Ostracoda (4%) | Distal inner ramp |
| Facies 3 | Bivalve green algae wackestone to packstone | Thin to thick-bedded limestone | Green algae (15%) Bivalve (10%) | Echinoderm (5%) Intraclast (5%) Brachiopoda (2%) | Distal inner ramp |
| Facies 4 | Intraclast bioclast packstone to grainstone | Medium-bedded limestone | Intraclast (10%) Green algae (7%) Bivalve (7%) | Echinoderm (5%) Gastropoda (2%) Benthic foraminifera (2%) | Distal inner ramp |
| Facies 5 | Green algae brachiopoda packstone | Medium bedded limestone | Brachiopoda (20%) Green algae (10%) | Bivalve (5%) Peloid (5%) Oncoid (3%) | Distal inner ramp |
| Facies 6 | Echinoderm brachiopoda wackestone | Thin to medium-bedded limestone | Brachiopoda (20%) Echinoderm (10%) | Benthic foraminifera (5%) Bryozoans (2%) | Proximal middle ramp |

میکروسکوپی شناسایی شده‌اند و توزیع اندازه بلور در آنها یکنواخت است؛ این دولومیت‌ها متراکمند و تخلخل ناچیزی دارند.

تفسیر: حضور دانه‌های درشت کوارتز و آلوکم‌هایی مانند اگرگات و همچنین قرارگرفتن این آلوکم‌ها در زمینه‌ای از ماتریکس میکرایتی در این ریزرخساره بیان‌کننده محیط کم‌عمق با انرژی متوسط تا زیاد است. حضور دانه‌های درشت کوارتز (در اندازه ماسه) به همراه ذرات اگرگاتی، نزدیکی مجموعه را به محیط‌های ساحلی نشان می‌دهد (Flügel 2010; Leda et al. 2014; Kansun et al. 2018). به‌طورکلی، ریزرخساره‌های کربناته دارای کوارتزهای آواری دانه‌درشت غالباً به محیط رسوب‌گذاری دریایی کم‌عمق نسبت داده می‌شوند (Flügel 2010). ریزرخساره وکستون ماسه‌ای حاوی بایوکلیست و اگرگات با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده آن و به‌ویژه نوع فسیل‌های تشکیل‌دهنده، عمدتاً در بخش‌های انتهایی پلت‌فرم کربناته‌ای از نوع رمپ رسوب‌گذاری کرده است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره 20-RMF (Flügel 2010) است.

ریزرخساره وکستون ماسه‌ای حاوی بایوکلیست و اگرگات (Aggregate bioclast sandy wackestone)

توصیف: این ریزرخساره در بخش‌های قاعده‌ای سازند روته به‌شکل یک واحد آهک‌های ماسه‌ای ضخیم‌لایه دیده می‌شود. ویژگی شاخص این ریزرخساره، وجود مقادیر نسبتاً زیادی از دانه‌های درشت کوارتز در حد ماسه (حدود ۱۵ درصد) است که غالباً تک‌بلوری‌اند و خاموشی موجی دارند. آلوکم‌های اسکلتی موجود در این ریزرخساره شامل جلبک قرمز (۵ درصد)، فرامینیفر بتتیک (۳ درصد)، گاستروپود (۲ درصد)، خارپوست (۲ درصد) و براکیوپود (۲ درصد) هستند و از آلوکم‌های غیراسکلتی غالب آن می‌توان به اگرگات (حدود ۸ درصد) اشاره کرد (شکل‌های ۴، الف و ۵). آلوکم‌ها در این ریزرخساره در زمینه‌ای از ماتریکس میکرایتی و به حالت وکستون قرار گرفته‌اند. دولومیتی‌شدن مهم‌ترین فرایند دیارنتیکی در این ریزرخساره است که حدود ۸ درصد ریزرخساره را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۴، ب). دولومیت‌های این ریزرخساره عمدتاً ریزبلور و نیمه‌شکل دارند. بلورهای دولومیت به‌طور پراکنده در بخش‌های مختلف مقطع نازک



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی ریزرخساره‌های سازند روته؛ الف. ریزرخساره و کستون ماسه‌ای حاوی بایوکست و اگرگات (نور پلاریزه متقاطع)، ب. دولومیتی شدن در ریزرخساره و کستون حاوی براکیوپود و خارپوست (نور پلاریزه متقاطع)، پ. ریزرخساره و کستون حاوی فرامینیفر بنتیک کوچک و پلوئید (نور پلاریزه متقاطع)، ت. ریزرخساره و کستون تا پکستون حاوی جلبک سبز و دوکفه‌ای (نور پلاریزه عبوری)، ث. ریزرخساره پکستون تا گرینستون حاوی بایوکست و اینتراکست (نور پلاریزه متقاطع)، ج. ریزرخساره پکستون حاوی براکیوپود و جلبک سبز (نور پلاریزه متقاطع)، چ. ریزرخساره و کستون حاوی براکیوپود و خارپوست (نور پلاریزه متقاطع)، ح. فرایند سیلیسی شدن روی پوسته براکیوپود (نور پلاریزه متقاطع). اگرگات: Aggr، فرامینیفر بنتیک، Bio: بایوکست، Biv: دوکفه‌ای، Bra: براکیوپود، Echi: خارپوست، Gr. Alg: جلبک سبز، Intra: اینتراکست، Pel: پلوئید، Qz: کوارتز

درصد کمی (حدود ۲ درصد) از این ریزرخساره دولومیتی شده است. دولومیت‌های این ریزرخساره، ریزیلور و عمدتاً نیمه‌شکل‌دارند. وجود رگه‌های کلسیتی از دیگر ویژگی‌های این ریزرخساره است.

تفسیر: حضور فرامینیفرهای بنتیک با پوسته تیره، پلوئیدها، دانه‌های درشت کوارتز و قرارگرفتن این آلوکم‌ها در زمینه‌ای از ماتریکس میکرایتی گواه روشنی بر رسوب‌گذاری این ریزرخساره در بخش‌های انتهایی محیط رسوبی رمپ کربناته است (Davydov et al. 2014). دانه‌های کوارتز و فراوانی اجزای غیراسکلتی نظیر پلوئیدها و وجود گل آهکی در زمینه نشان‌دهنده محیطی آرام با تأثیر کمتر امواج در بخش‌های کم‌انرژی رمپ کربناته است (Papazzoni and Trevisani 2006; Flügel 2010)؛ البته پلوئیدها در گستره وسیعی می‌توانند حضور داشته باشند، اما حضور غالب آنها به محیط رسوبی با انرژی کم تا متوسط مربوط می‌شود (Adachi et al. 2004).

ریزرخساره و کستون حاوی فرامینیفر بنتیک کوچک و پلوئید (Peloid small benthic foraminifera wackestone)

توصیف: این ریزرخساره در بخش‌های پایینی و میانی سازند روته و داخل سنگ‌آهک‌های نازک تا متوسط‌لایه دیده می‌شود. وجود فرامینیفرهای بنتیک با پوسته تیره (پورسلانوز) از ویژگی‌های بارز این ریزرخساره است که اغلب طی فرایند میکرایتی شدن به ذرات غیراسکلتی پلوئید تبدیل شده‌اند. فرامینیفرهای بنتیک تیره حدود ۱۴ درصد از ریزرخساره را به خود اختصاص می‌دهند؛ پلوئید حدود ۱۰ درصد و دانه‌های کوارتز تک‌بلوری با خاموشی موجی و فراوانی حدود ۶ درصد از دیگر اجزای تشکیل‌دهنده این ریزرخساره‌اند. از بایوکست‌هایی که در این ریزرخساره مشاهده می‌شوند می‌توان به قطعه‌ها و خرده‌های خارپوست (۵ درصد)، براکیوپود (۵ درصد) و استراکود (۴ درصد) اشاره کرد (شکل ۴، پ)؛ همچنین،

کم عمق حوضه رسوبی انجام شده است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره ۱۷ (Flügel RMF- 2010) است.

ریزرخساره پکستون تا گرینستون حاوی بایوکلاست و ایتراکلاست (Intraclast bioclast packstone to grainstone)

توصیف: این ریزرخساره در بخش‌های بالایی توالی مطالعه شده و داخل سنگ‌های آهکی متوسط لایه سازند روته مشاهده می‌شود. آلوکم‌های اسکلتی موجود در این ریزرخساره شامل جلبک سبز (۷ درصد) و دوکفه‌ای (۷ درصد) است. خارپوست (۵ درصد)، گاستروپود (۲ درصد) و فرامینیفر بنتیک (۲ درصد) نیز همراه با جلبک سبز و دوکفه‌ای در این ریزرخساره مشاهده می‌شود (شکل ۴، ت). ایتراکلاست با فراوانی حدود ۱۰ درصد از آلوکم‌های غیراسکلتی این ریزرخساره است. این ریزرخساره به شکل پکستون تا گرینستون مشاهده می‌شود و آلوکم‌ها در زمینه‌ای از سیمان پراکنده هستند. فرایند دیاژنتیکی دولومیتی شدن (حدود ۵ درصد) نیز در این ریزرخساره مشهود است. دولومیت‌های این ریزرخساره، ریزبلور و عمدتاً نیمه‌شکل دارند. این ریزرخساره نسبت به ریزرخساره‌های قبلی فراوانی کمتری در منطقه مطالعه شده دارد و تنها ریزرخساره حاوی سیمان است که به شکل گرینستون مشاهده می‌شود.

تفسیر: وجود ایتراکلاست و سیمان اسپاریتی نشان‌دهنده انرژی متوسط تا نسبتاً زیاد محیط رسوب‌گذاری در زمان تشکیل این ریزرخساره است (Flügel 2010; de Wet et al. 2012; Abdolmaleki et al. 2016). محیط تشکیل این ریزرخساره به علت حضور ایتراکلاست و همچنین حضور جلبک سبز به شکل رمپ داخلی (Inner ramp) تفسیر می‌شود که این ریزرخساره در بخش‌های انتهایی (Distal) آن تشکیل شده است. فراوانی سیمان اسپاریتی، نبود میکرایت و پُرشدن فضای خالی بین دانه‌ها با سیمان اسپاریتی نشان‌دهنده انرژی متوسط تا نسبتاً زیاد در زمان رسوب‌گذاری این ریزرخساره است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره

این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره 20 (Flügel 2010) است.

ریزرخساره وکستون تا پکستون حاوی جلبک سبز و دوکفه‌ای (Bivalve green algae wackestone to packstone)

توصیف: این ریزرخساره جزء بخش‌های میانی سازند روته است و در واحدهای سنگ‌آهکی نازک تا ضخیم لایه این سازند مشاهده می‌شود. فراوانی جلبک سبز و دوکفه‌ای ویژگی مهم این ریزرخساره است. خرده‌های اسکلتی تشکیل‌دهنده این ریزرخساره اغلب جلبک‌های سبز (۱۵ درصد) و دوکفه‌ای (۱۰ درصد)، مقادیر کمتری خرده‌های اسکلتی خارپوست (۵ درصد) و براکیوپود (۲ درصد) و آلوکم‌های غیراسکلتی نظیر ایتراکلاست (۵ درصد) هستند (شکل ۴، ت)؛ این دانه‌ها عمدتاً در زمینه میکرایتی قرار گرفته‌اند و وجود رگه‌های کلسیتی پُرشده با کلسیت و دانه‌های چندبلوری کوارتز با خاموشی موجی (۵ درصد) دیگر ویژگی این ریزرخساره است. بخش‌هایی از این ریزرخساره (حدود ۵ درصد) طی فرایندهای دیاژنتیکی، دولومیتی شده است؛ این نوع دولومیت از موزائیک‌های متوسط مترکم (میانگین تخلخل ۲ درصد)، نیمه‌شکل دار با توزیع اندازه غیریکنواخت تشکیل شده است. این ریزرخساره همراه با ریزرخساره شماره ۲ فراوانی درخور توجهی در منطقه مطالعه شده دارد و به شکل وکستون تا پکستون مشاهده می‌شود.

تفسیر: این ریزرخساره همانند دو ریزرخساره قبلی به علت حضور آلوکم‌هایی نظیر جلبک سبز، دوکفه‌ای و دانه‌های کوارتز، احتمالاً در بخش‌های انتهایی رمپ داخلی پلت‌فرم کریناته سازند روته رسوب‌گذاری کرده است. زمینه میکرایتی ریزرخساره وکستون تا پکستون حاوی جلبک سبز و دوکفه‌ای نیز گویای تشکیل آن در محیطی با انرژی کم تا متوسط است (Laya and Tucker 2012). باتوجه به بافت این ریزرخساره و اجزای تشکیل‌دهنده آن می‌توان بیان کرد رسوب‌گذاری این ریزرخساره عمدتاً در مناطق با انرژی کم تا متوسط و

استاندارد شماره RMF-17 (Flügel 2010) است.

و جلبک سبز در بخش‌های انتهایی این رمپ رسوب‌گذاری کرده است. فراوانی و حضور جلبک‌ها از جمله جلبک سبز و ماکروفسیل‌های کفزی مانند گاستروپودها، دوکفه‌ای‌ها و خرده‌های خارپوست گواهی بر رسوب‌گذاری این ریزرخساره در محیط رمپ داخلی است (Blomeier et al. 2013)؛ همچنین وجود آنکوئید از ویژگی‌های شاخص این ریزرخساره است که آنکوئیدهای با اندازه بزرگ‌تر و قشر میکرایتی ضخیم‌تر در شرایط محیطی آرام و کم‌انرژی تشکیل می‌شوند (Flügel 2010; Peryt et al. 2014). این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره RMF-17 (Flügel 2010) است.

ریزرخساره وکستون حاوی براکیوپود و خارپوست (Echinoderm brachiopoda wackestone)

توصیف: این ریزرخساره تقریباً در بخش‌های بالایی توالی مطالعه‌شده و همراه با سنگ‌آهک‌های نازک تا متوسط‌لایه سازند روته مشاهده می‌شود. وجود درصد درخور توجهی از براکیوپود (حدود ۲۰ درصد) و خارپوست (حدود ۱۰ درصد) از ویژگی‌های این ریزرخساره است و از دیگر آلوم‌های شاخص موجود در این ریزرخساره می‌توان به فرامینفر بتیک (حدود ۵ درصد) و بریوزوا (حدود ۲ درصد) اشاره کرد (شکل ۴، ج). فرایند دیاژنتیکی دولومیتی شدن، سیلیسی شدن (شکل ۴، ح) و وجود رگه‌های کلسیتی از دیگر ویژگی‌های این ریزرخساره است. گفتنی است دولومیت‌های این رخساره غالباً ریزبلور و نیمه‌شکل دارند. تمام آلوم‌های این ریزرخساره رسوبی در زمینه گلی و به‌شکل وکستونی مشاهده می‌شوند.

تفسیر: ریزرخساره وکستون حاوی براکیوپود و خارپوست از نظر محیط رسوب‌گذاری متفاوت‌تر از پنج ریزرخساره دیگر است. حضور آلوم‌هایی مانند براکیوپود، خارپوست و بریوزوا گواهی روشن بر تشکیل این ریزرخساره در محیط‌های رسوبی عمیق‌تر و در بخش‌های ابتدایی رمپ میانی (Proximal middle ramp) است (Flügel 2010). تجمع اجزای اسکلتی مانند

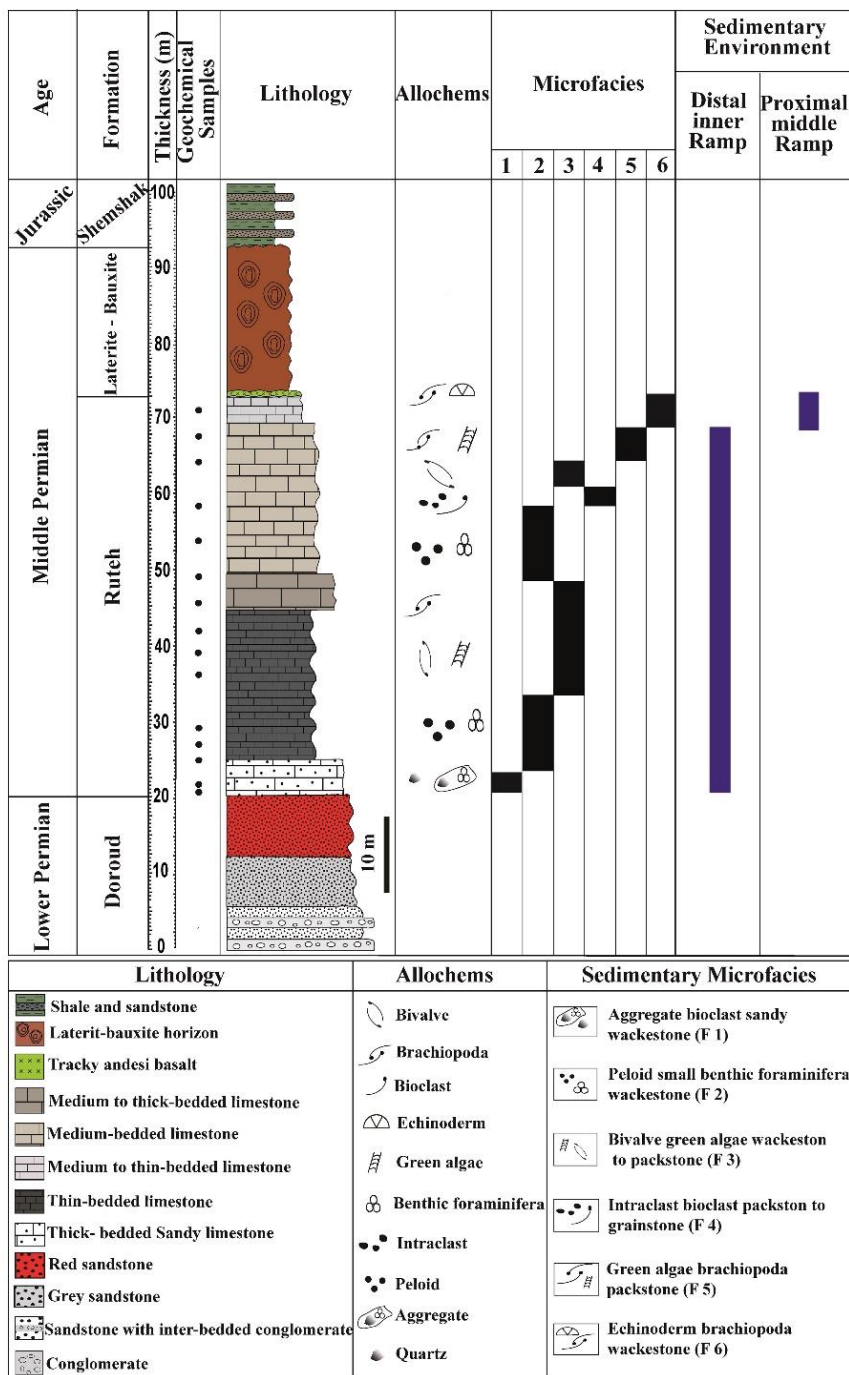
۵- ریزرخساره پکستون حاوی براکیوپود و جلبک سبز (Green algae brachiopoda packstone)

توصیف: این ریزرخساره در بخش‌های بالایی توالی مطالعه‌شده و در واحدهای آهکی متوسط‌لایه سازند روته مشاهده می‌شود. براکیوپود (۲۰ درصد) و جلبک سبز (۱۰ درصد) از آلوم‌های اسکلتی شاخص و فراوان این ریزرخساره‌اند و از دیگر آلوم‌های اسکلتی این ریزرخساره عبارتند از: فرامینفر بتیک (۱۰ درصد)، خارپوست (۱۰ درصد)، دوکفه‌ای (۵ درصد) و گاستروپود (۲ درصد) (شکل ۴، ج)؛ از آلوم‌های غیراسکلتی نیز می‌توان به حضور پلوئید (۵ درصد) اشاره کرد. وجود درصد کمی (حدود ۳ درصد) ذرات آنکوئید در اندازه‌های حدود ۵ میلی‌متر با هسته‌ای درشت در حدود ۲/۲ میلی‌متر متشکل از بلورهای درشت کلسیت یکی از ویژگی‌های شاخص این ریزرخساره است. در لایه‌های متحدالمرکز تشکیل‌دهنده ذرات آنکوئید، بایوکلسیت‌هایی نظیر قطعه‌های دوکفه‌ای به‌شکل پراکنده مشاهده می‌شوند؛ لایه‌های متحدالمرکز این ذرات، جلبک قرمز هستند. گفتنی است ذرات آنکوئید تنها در این ریزرخساره رسوبی شناسایی شده‌اند. سیلیسی شدن و دولومیتی شدن فرایندهای دیاژنتیکی شاخصی‌اند که در این ریزرخساره مشاهده می‌شوند. ویژگی بلورهای دولومیت در این ریزرخساره مشابه با ریزرخساره‌های قبلی است و به‌طور متوسط بلور و نیمه‌شکل دار مشاهده می‌شوند. آلوم‌های موجود در این ریزرخساره در ماتریکس میکرایتی و بعضاً سیمان اسپارایتی پراکنده‌اند. این ریزرخساره نسبت به دیگر ریزرخساره‌های موجود در منطقه مطالعه‌شده فراوانی بسیار زیادی دارد.

تفسیر: وجود آلوم‌هایی نظیر براکیوپود، جلبک سبز، فرامینفر بتیک و پلوئید در این ریزرخساره بیان‌کننده رسوب‌گذاری و تشکیل آن در محیط کم‌عمق است که می‌توان محیط رسوبی رمپ داخلی را برای آن در نظر گرفت. گفتنی است ریزرخساره پکستون حاوی براکیوپود

گذاشته می‌شوند (Burchette and Wright 1992) که این حالت در تعدادی از مقاطع مربوط به این ریزرخساره مشاهده شده است. این ریزرخساره معادل ریزرخساره استاندارد شماره 7-RMF (Flügel 2010) است.

خارپوست و براکیوپود در محیط رمپ میانی معمول است و در اثر فرایندهای مختلف شامل جریان‌ها و امواج ایجاد می‌شود (Flügel 2010; Blomeier et al. 2013)؛ همچنین در رمپ میانی به‌علت انرژی زیاد در زمان طوفانی‌بودن، رخصاره‌های پکستون تا گرینستون طی زمان کوتاه برجای



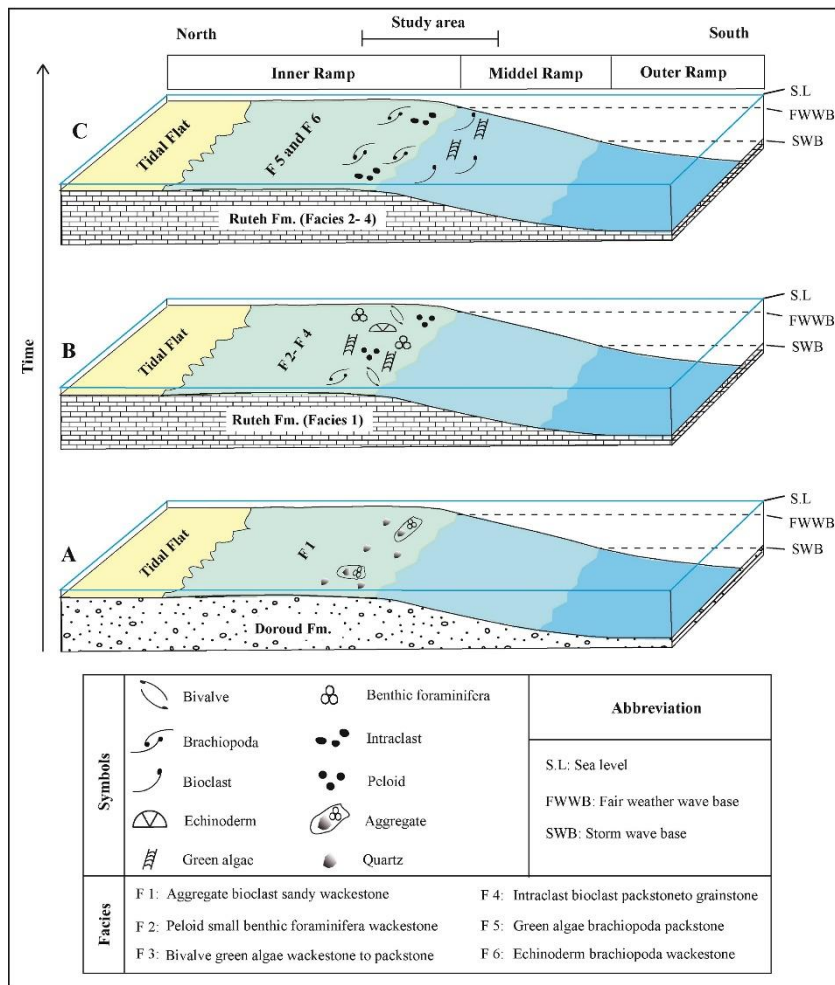
شکل ۵- نمودار پراکنندگی عمودی ریزرخساره‌ها و تغییرات محیط رسوبی سازند روته در برش فارخوتلو

محیط رسوبی سازند روته در منطقه قارخوتلو

تجزیه و تحلیل محیط‌های رسوب‌گذاری بهترین روش برای تعیین شرایط و چگونگی ته‌نشست رسوبات در زمان تشکیل آنهاست که در آن، عوامل مؤثر بر محیط رسوب‌گذاری بررسی می‌شوند و مدل‌های رسوب‌گذاری با استفاده از یافته‌ها و اطلاعات حاصل از مطالعه‌های سنگ‌نگاری و ریزرخساره‌ای به منظور درک ساده‌تر محیط رسوب‌گذاری ارائه می‌شوند (Flügel 2010).

باتوجه به مطالعه‌های صحرایی و ریزرخساره‌های شناسایی‌شده و تغییرات تدریجی ریزرخساره‌ها به یکدیگر (شکل ۵)، نبود آثار ریف‌های بزرگ سدی مرجانی، نبود رسوبات توریدایتی، ریزشی و لغزشی که بیان‌کننده شیب زیاد محیط رسوبی هنگام رسوب‌گذاری است، می‌توان گفت سازند روته در منطقه مطالعه‌شده در پلت‌فرم کربناته‌ای از نوع رمپ رسوب‌گذاری کرده است (شکل ۶). حضور اجزای اسکلتی نظیر جلبک سبز، دوکفه‌ای و فرامینفرهای بتتیک کوچک با پوسته تیره در توالی رسوبی مطالعه‌شده احتمالاً رسوب‌گذاری در بخش‌های کم‌عمقی از پلت‌فرم کربناته سازند روته در بخش‌های جنوب‌باختری زنجان را بیان می‌کند (شکل ۵). گفتنی است پلت‌فرم کربناته رمپ به سه بخش رمپ داخلی (Inner ramp)، رمپ میانی (Middle ramp) و رمپ خارجی (Outer ramp) تقسیم می‌شود (Burchette and Wright 1992). رخساره‌های شناسایی‌شده در بُرش مطالعه‌شده احتمالاً در دو بخش رمپ داخلی و رمپ میانی تشکیل شده‌اند (شکل ۶). همان‌طور که در بخش توصیف ریزرخساره‌ها گفته شد، ریزرخساره اول که در بخش قاعده‌ای توالی مطالعه‌شده تشکیل شده است، عمدتاً از بایوکست (جلبک و فرامینفر بتتیک) و اگرگات تشکیل شده است؛ این مجموعه بیان‌کننده رسوب‌گذاری در بخش‌های کم‌عمق و انتهایی رمپ داخلی از پلت‌فرم

کربناته سازند روته است (شکل ۶، الف). در طول زمان و در بخش‌های میانی تا بالایی توالی مطالعه‌شده، با حضور آلوکم‌هایی نظیر جلبک سبز، دوکفه‌ای، فرامینفر بتتیک با پوسته تیره و همچنین ذرات غیراسکلتی شامل پلوئید و اینتراکست (دربرگیرنده ریزرخساره‌های دوم تا پنجم شناسایی‌شده)، رسوب‌گذاری در همین بخش‌های کم‌عمق و پارانرژی حوضه ادامه یافته است (شکل ۶، ب)؛ درنهایت با بالآمدن تدریجی سطح آب دریا در بخش‌های انتهایی توالی مطالعه‌شده، ریزرخساره ششم تشکیل شده است که در برگیرنده مقادیر زیادی براکیوپود و خارپوست است (شکل ۶، پ)؛ پژوهشگران دیگر (Mousavi et al. 2009; Hasani et al. 2014; Bastami et al. 2017) نظیر چنین پلت‌فرم کربناته‌ای را برای نهشته‌های سازند روته در دیگر مناطق حوضه رسوبی البرز شناسایی و معرفی کرده‌اند؛ گفتنی است بخش‌های کم‌عمق‌تر این حوضه رسوبی (نظیر محیط‌های جزرومدی و بخش ابتدایی رمپ داخلی) باتوجه به حضور استروماتولیت‌ها، آئیدها و ذرات اینتراکستی، در بخش‌های شمالی‌تر منطقه زنجان قرار گرفته‌اند (e.g. Zohdi 2018). افق لاتریتی-بوکسیتی با ضخامت درخور توجه (به ضخامت تقریبی ۲۰ متر) توالی کربناته مطالعه‌شده از سازند روته را پوشانده است که احتمالاً بیان‌کننده کاهش سریع سطح آب دریا در مرز پرمین-تریاس است؛ این افق فرسایشی احتمالاً سبب ازبین‌رفتن بخشی از توالی بالایی سازند روته در منطقه مورد مطالعه شده است؛ هرچند تغییرات محیطی از قاعده تا رأس سازند روته مشهود نیست و محیط رسوبی ریزرخساره‌های شناسایی‌شده به هم نزدیک است. این افق لاتریتی-بوکسیتی روی نهشته‌های کربناته سازند روته در دیگر بخش‌های حوضه رسوبی البرز نیز شناسایی شده است (e.g. Faramarzi et al. 2012; Shamanian et al. 2015).



شکل ۶- مدل پیشنهادی برای محیط رسوبی سازند روته در منطقه مطالعه شده که موقعیت ریزرخساره‌های شناسایی شده روی آن مشخص شده است. موقعیت ریزرخساره‌های شناسایی شده و مدل رسوبی سازند روته در طول زمان و طی ته‌نشست ریزرخساره‌ها از حالت الف تا پ در پلت‌فرم کربناته‌ای از نوع رمپ متغیر بوده است.

انجام شده است.

ژئوشیمی

مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌ها و بررسی نتایج تجزیه و تحلیل نمونه‌های سنگی اهمیت بسیار زیادی دارد. ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی در سنگ‌های کربناته‌ای، ابزار مفیدی برای مطالعه ویژگی‌های این سنگ‌هاست (Morse and Mackenzie 1990; Swart 2015; Zhang et al. 2017); یکی از اهداف این علم در مطالعه‌های سنگ‌های کربناته، تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ‌ها و تعیین میزان انحلال سنگ‌های آهکی است؛ در این راستا، مطالعه حاضر درباره کربنات‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو

تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو

مطالعه‌های پژوهشگران مختلف نشان می‌دهند تأثیر فرایندهای دیاژنتیکی روی سنگ‌های آهکی موجب می‌شود شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه آنها تنها با توجه به مطالعه‌های سنگ‌نگاری امکان‌پذیر نباشد؛ به‌طوری‌که طی فرایند دیاژنز، ترکیب کانی‌شناسی و بافت

می‌شود (Adabi and Rao 1991; Gao et al. 1996; Adabi et al. 2010; Kavooosi, 2014)؛ از این رو در مطالعه حاضر برای نخستین بار به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی سازند روته در منطقه قارخوتلو و تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه آن، تجزیه و تحلیل‌های عناصر اصلی (کلسیم و منیزیم) و فرعی (آهن، منگنز، سدیم و استرانسیم) روی ۱۵ نمونه از سنگ‌آهک‌های این سازند انجام شدند. نتایج تجزیه و تحلیل‌های یادشده در جدول ۲ ارائه شده است.

اولیه سنگ با تبدیل آراگونیت و کلسیت پرمیزیم به کلسیت کم‌میزیم و در نهایت به کلسیت کم‌میزیم دیاژنتیکی تغییر می‌کند و شناسایی ترکیب کانی‌شناسی اولیه آنها با مشکل روبه‌رو می‌شود (Adabi 2004). استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی نظیر تجزیه و تحلیل‌های عنصری (منیزیم، کلسیم، آهن، منگنز، سدیم و استرانسیم) و حتی ایزوتوپی (اکسیژن و کربن) در تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه کربنات‌ها و همچنین تأثیر فرایندهای دیاژنتزی غیردریایی (متاوریک و تدفین) روی کربنات‌ها توصیه

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی و فرعی برای سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو؛ مقادیر منیزیم و کلسیم بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب پی‌پی‌ام است.

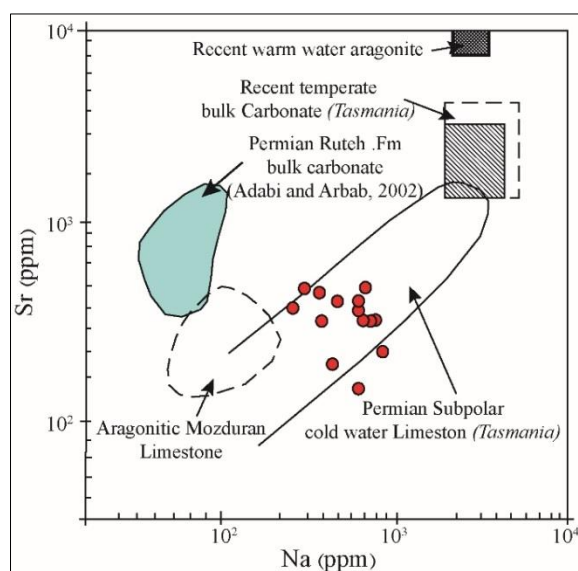
| | Facies code | Ca (%) | Mg (%) | Sr (ppm) | Na (ppm) | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Sr/Na | Sr/Mn |
|------|----------------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|-------|-------|
| D.L. | | 0.05 | 0.05 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | - |
| Q-7 | F ₁ | 29.53 | 0.21 | 259 | 451 | 14100 | 577 | 0.57 | 0.44 |
| Q-8 | F ₂ | 38.9 | 0.37 | 563 | 452 | 3700 | 181 | 1.24 | 3.11 |
| Q-9 | F ₂ | 38.03 | 0.31 | 508 | 667 | 1800 | 157 | 0.76 | 3.23 |
| Q-10 | F ₃ | 38.5 | 0.29 | 516 | 806 | 900 | 101 | 0.64 | 5.1 |
| Q-11 | F ₃ | 38.75 | 0.33 | 582 | 852 | 900 | 167 | 0.68 | 3.48 |
| Q-12 | F ₃ | 39.19 | 0.25 | 487 | 807 | 800 | 215 | 0.6 | 2.26 |
| Q-13 | F ₂ | 38.55 | 0.34 | 434 | 765 | 1500 | 386 | 0.56 | 1.12 |
| Q-14 | F ₆ | 38.25 | 0.29 | 519 | 815 | 2100 | 166 | 0.63 | 3.12 |
| Q-15 | F ₃ | 38.77 | 0.29 | 432 | 828 | 1000 | 109 | 0.52 | 3.96 |
| Q-16 | F ₄ | 39.75 | 0.08 | 147 | 689 | 400 | 116 | 0.21 | 1.26 |
| Q-17 | F ₅ | 37.77 | 0.34 | 436 | 917 | 3200 | 171 | 0.47 | 2.54 |
| Q-18 | F ₅ | 39.07 | 0.3 | 271 | 974 | 1800 | 413 | 0.27 | 0.65 |
| Q-20 | F ₆ | 38.8 | 0.29 | 487 | 262 | 1400 | 185 | 1.85 | 2.63 |
| Q-21 | F ₅ | 37.63 | 0.24 | 575 | 353 | 900 | 143 | 1.62 | 4.02 |
| Q-22 | F ₅ | 38.27 | 0.27 | 432 | 444 | 1400 | 223 | 0.97 | 1.93 |

عنصری سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو نشان می‌دهند مقادیر استرانسیم نمونه‌ها بین ۱۴۷ تا ۵۸۲ پی‌پی‌ام (به‌طور متوسط ۴۴۳/۲ پی‌پی‌ام) متغیر است. مقدار استرانسیم در نمونه‌های مطالعه‌شده کمتر از معادل‌های کربنات‌های عهد حاضر آنهاست که احتمالاً به‌علت کاهش بسیار شدید استرانسیم طی فرایندهای دیاژنتزی غیردریایی است (Adabi et al. 2010).

سدیم (Na): تمرکز سدیم در رسوبات کربنات‌ها به درجه شوری، تفکیک ژئوشیمیایی، آثار جنبشی و نقص ساختار بلوری، ترکیب کانی‌شناسی و عمق آب دریا بستگی دارد. مقدار سدیم با افزایش شوری، عمق آب

استرانسیم (Sr): تمرکز استرانسیم در رسوبات کربنات‌های مناطق گرمسیری عهد حاضر بین ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام متغیر است (Milliman 1974) و این مقدار در نمونه‌های کربنات‌های مناطق معتدله بین ۵۰۰۷ تا ۱۶۴۲ پی‌پی‌ام (به‌طور متوسط ۳۲۷۰ پی‌پی‌ام) نوسان دارد (Adabi 2004). مقدار استرانسیم با افزایش میزان آراگونیت، افزایش و با افزایش میزان کلسیت، کاهش می‌یابد (Rao and Adabi 1992; Salehi et al. 2007; Asadi 2013). همچنین، فراوانی استرانسیم با افزایش دمای آب دریا ارتباط مستقیم دارد (Morse and Mackenzie 1990). نتایج بررسی تجزیه و تحلیل‌های

سنگ‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو احتمالاً ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی همراه با مقادیر متغیر آراگونیت دارند. موقعیت منطقه مطالعه شده روی نقشه جغرافیای دیرینه زمان پرمین بیان‌کننده قرارگیری این منطقه در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی است؛ این امر تأییدی بر رسوب‌گذاری سازند قم در منطقه متعلق به کربنات‌های مناطق معتدله (temperate carbonate) و دلیلی بر ترکیب کانی‌شناسی اولیه مخلوط آراگونیتی-کلسیتی برای کربنات‌های این سازند است که با نتایج مطالعه‌های ژئوشیمیایی همخوانی دارد.



شکل ۷- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار استرانسیم در برابر سدیم؛ به منظور مقایسه، محدوده‌های مربوط به کربنات‌های پرمین سازند روته در البرز مرکزی (Adabi and Arbab 2002)، کربنات‌های معتدله عهد حاضر تاسمانیا (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995) آب‌های سرد نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا (Rao 1991)، آراگونیت‌های حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) و آهک‌های آراگونیتی حاره‌ای سازند مزدوران با سن ژوراسیک بالایی (Adabi and Rao 1991) نیز ارائه شده‌اند. این نمودار نشان‌دهنده تشابه کانی‌شناسی نمونه‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو با آهک‌های آب‌های سرد نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا و بیان‌کننده ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی-آراگونیتی آنها در زمان رسوب‌گذاری است.

دریا و میزان آراگونیت افزایش می‌یابد (Land and Hoops 1973; Rao 1996). میزان سدیم در کربنات‌های حاره‌ای عهد حاضر بین ۱۵۰۰ تا ۲۷۰۰ پی‌پی‌ام (Veizer 1983) و در سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو بین ۲۶۲ تا ۹۷۴ پی‌پی‌ام (به‌طور متوسط ۶۷۲/۱۳ پی‌پی‌ام) متغیر است؛ این مقدار سدیم کمتر از معادل‌های آراگونیتی آب‌های گرم عهد حاضر است. کم‌بودن غلظت سدیم نشان‌دهنده تأثیر دیاژنز متاوریکی روی کربنات‌های سازند روته است که به ازدست‌رفتن سدیم آنها منجر شده است (Asadi Mehmandosti and Adabi 2013; Khatibi Mehr and Adabi 2014).

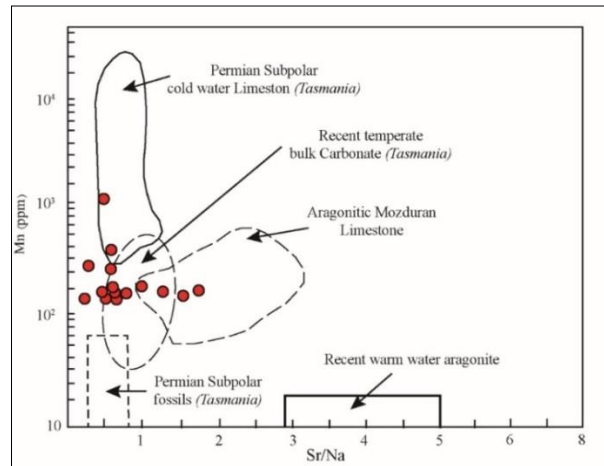
نمودار استرانسیم-سدیم (Sr-Na): نمودار استرانسیم در برابر سدیم برای تفکیک کربنات‌های حاره‌ای از غیرحاره‌ای استفاده می‌شود (Winfield et al. 1996). ترسیم داده‌های تجزیه و تحلیل‌های سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو روی این نمودار نشان می‌دهد بیشتر نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده در محدوده سنگ‌آهک‌های آب‌های سرد نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا قرار می‌گیرند (شکل ۷) که این امر، تشابه کانی‌شناسی این سنگ‌آهک‌ها با یکدیگر و ترکیب کانی‌شناسی اولیه مخلوط کلسیتی-آراگونیتی آنها در زمان رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد.

نمودار منگنز در برابر نسبت استرانسیم به سدیم (Sr/Na-Mn): با استفاده از نمودار (Sr/Na-Mn) می‌توان کربنات‌های حاره‌ای دیرینه و عهد حاضر را از معادل‌های غیرحاره‌ای آنها تفکیک کرد (Adabi and Rao 1991; Winefield et al. 1996; Adabi and Asadi Mehmandosti 2008; Adabi et al. 2010; Khatibi and Adabi 2013). مقادیر Mn در برابر نسبت Sr/Na نشان می‌دهد نسبت Sr/Na در نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو بین ۰/۲۱ تا ۱/۸۵ (میانگین ۰/۷۷) است؛ به‌طوری‌که اغلب نمونه‌ها داخل محدوده نمونه‌های کل کربنات مناطق معتدله عهد حاضر و برخی خارج از این محدوده و داخل محدوده سنگ‌های آهکی آراگونیتی مزدوران قرار می‌گیرند (شکل ۸). بر اساس این نمودار،

به‌علت وجود شرایط احیایی رسوبات طی دیاژنز و افزایش مقادیر مواد آواری به داخل حوضه باشد (Brand and Veizer 1980; Rao 1990)؛ وجود دانه‌های درشت کوارتز (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد) در سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو مؤید مطلب یادشده است. معمولاً به‌علت فراوانی مواد آواری در کربنات‌های نزدیک به ساحل، مقادیر آهن و منگنز افزایش چشمگیری دارند.

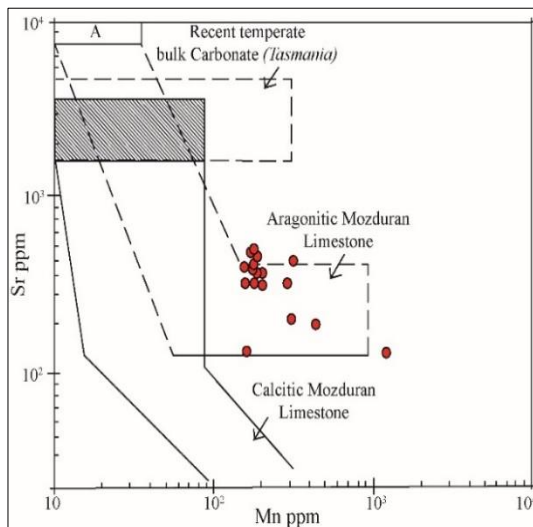
مقایسه تغییرات سدیم در برابر منگنز در سنگ‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو با محدوده سنگ‌های کربناته پرمین سازند روته در البرز مرکزی (Adabi and Arbab 2002)، سنگ‌های آهکی آراگونیتی و کلسیتی مزدوران (Adabi and Rao 1991)، نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995) نمونه‌های آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) نشان می‌دهد اغلب نمونه‌های آهکی مطالعه‌شده، بالا و بعضاً داخل محدوده سنگ‌های آهکی آراگونیتی مزدوران واقع می‌شوند (شکل ۸). این نمودار نیز ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی-آراگونیتی را برای سنگ‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو نشان می‌دهد.

مقایسه تغییرات استرانسیم در برابر منگنز معیار مناسبی برای تخمین درجه انحلال سنگ‌آهک‌هاست (Adabi and Asadi Mehmandosti 2008; Hossinabadi et al. 2016). مقایسه این تغییرات در سنگ‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو نشان‌دهنده قرارگیری اکثر این نمونه‌ها در محدوده آراگونیتی کربنات‌های مزدوران است (شکل ۱۰)؛ این نمودار، ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی را برای سنگ‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو نشان می‌دهد. موقعیت قرارگیری نمونه‌های آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار نسبت Sr/Mn در برابر Mn (شکل ۱۱) نیز نشان‌دهنده ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی-آراگونیتی برای این نمونه‌هاست. گفتنی



شکل ۸- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار Mn در مقابل Sr/Na؛ به‌منظور مقایسه، محدوده‌های مربوط به کربنات‌های معتدله عهد حاضر تاسمانیا (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995)، فسیل‌ها و سنگ‌آهک‌های آب‌های سرد نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا (Rao 1991)، کربنات‌های آراگونیتی حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) و آهک‌های آراگونیتی حاره‌ای سازند مزدوران با سن ژوراسیک بالایی (Adabi and Rao 1991) نیز ارائه شده‌اند. این نمودار بیان‌کننده ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی-آراگونیتی برای نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو است.

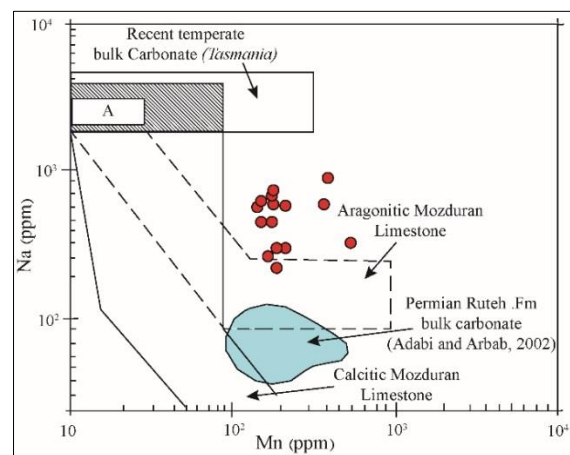
منگنز (Mn): مقادیر منگنز در نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر بین ۱ تا ۳۱۱ پی‌پی‌ام متغیر است؛ درحالی‌که این مقدار در کربنات‌های آراگونیتی دریا‌های گرم و کم‌عمق حدود ۲۰ تا ۳۰ پی‌پی‌ام است (Rao and Adabi 1992). مقدار منگنز با افزایش درصد آراگونیت، کاهش و با افزایش تأثیر آب‌های متاوریک، افزایش می‌یابد (Brand and Veizer 1980). ضریب توزیع منگنز حدود ۱۵ است (Pingitor et al. 1988)؛ همچنین تمرکز منگنز با افزایش سرعت رسوب‌گذاری، کاهش و با افزایش عمق آب یا افزایش مسافت از ساحل، افزایش می‌یابد. تمرکز منگنز در سنگ‌آهک‌های سازند روته در منطقه قارخوتلو بین ۱۰۱ تا ۵۷۷ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۲۰/۶۶ پی‌پی‌ام) متغیر است. تمرکز زیاد منگنز در نمونه‌های آهکی سازند روته در این منطقه در مقایسه با نمونه‌های کربناته معتدله عهد حاضر آن ممکن است



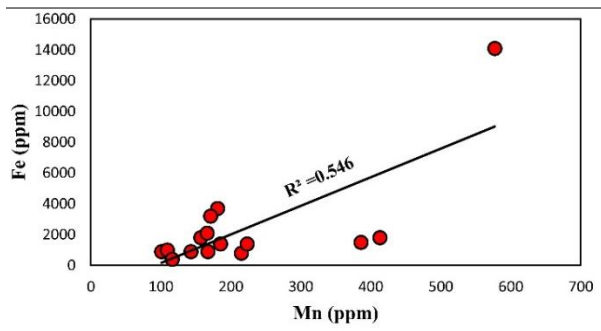
شکل ۱۰- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار استرانسیم در برابر منگنز؛ به منظور مقایسه، محدوده‌های مربوط به نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر تاسمانیا (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995) کربناته پرمین سازند روته در البرز مرکزی (Adabi and Arbab; Adabi 2002)، سنگ‌های آهکی و کلسیتی آراگونیتی مزدوران (Adabi and Rao 1991) and و نمونه‌های آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) نیز ارائه شده‌اند. این نمودار بیان‌کننده ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی برای نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو است.

آهن (Fe): اطلاعات بسیار کمی درباره مقدار آهن موجود در کربنات‌های دریایی کم‌عمق آراگونیتی آب‌های گرم عهد حاضر موجود است. متوسط میزان آهن در آراگونیت‌های مناطق حاره‌ای عهد حاضر ۲۰ پی‌پی‌ام و در کربنات‌های مناطق معتدله عهد حاضر ۱۰۰۰ پی‌پی‌ام است (Adabi 2004). در سنگ‌های کربناته به‌علت افزایش تأثیر دیاژنز متاوریک، مقادیر آهن با افزایش منگنز افزایش می‌یابد (Mucci and Morse 1983). تمرکز آهن معمولاً با افزایش درصد مواد غیرقابل حل (Insoluble residue) در اسید افزایش می‌یابد؛ زیرا آهن ممکن است از طریق انحلال مواد غیرقابل حل در اسید به محلول اضافه شود (Adabi 2004). مقادیر آهن در سنگ‌آهک‌های سازند روته

است انحلال، دولومیتی‌شدن (با فراوانی کمتر از ۱۰ درصد) و سیلیسی‌شدن (به‌شکل نودول‌ها و باندهای چرتی در بخش‌های بالای توالی) از فرایندهای دیاژنزی قابل‌مشاهده در کربنات‌های سازند روته هستند که تا حدودی این کربنات‌ها را تحت تأثیر قرار داده‌اند. هریک از این فرایندها می‌تواند با ناپیوستگی فرسایشی بزرگ‌مقیاس در بخش بالایی سازند روته مرتبط باشد که در نتیجه تأثیر آب‌های متاوریک، هریک از این فرایندها در سازند روته به‌ویژه در بخش‌های بالایی آن تأثیرگذار بوده است. مطالعه‌های ژئوشیمیایی نیز آشکارا تأثیر دیاژنز غیردریایی (متاوریک) را روی کربنات‌های سازند روته نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که ترکیب کانی‌شناسی اولیه این کربنات‌ها در طول زمان و طی فرایندهای دیاژنزی تغییر کرده و از مخلوط آراگونیت- کلسیت به کلسیت کم‌میزیم تغییر یافته است.



شکل ۹- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار سدیم در برابر منگنز؛ به منظور مقایسه، محدوده‌های مربوط به نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر تاسمانیا (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995) کربناته پرمین سازند روته در البرز مرکزی (Adabi and Arbab; Adabi 2002)، سنگ‌های آهکی و کلسیتی آراگونیتی مزدوران (Adabi and Rao 1991) and و نمونه‌های آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) نیز ارائه شده‌اند. این نمودار بیان‌کننده ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی- آراگونیتی برای نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو است.

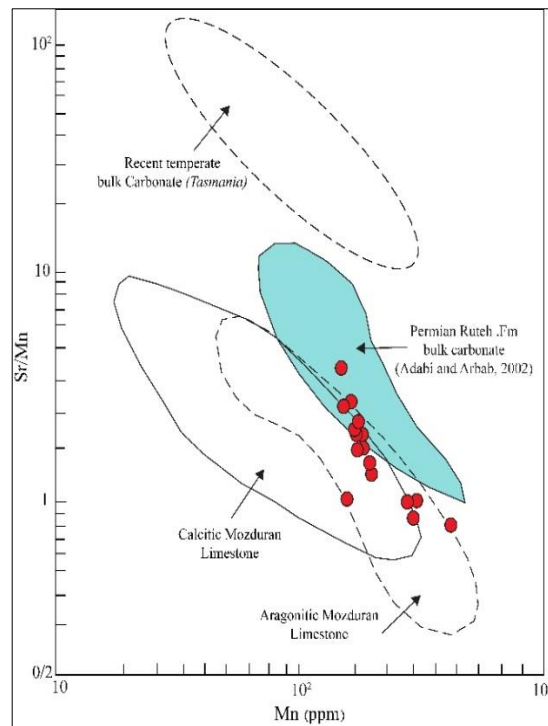


شکل ۱۲- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار آهن در برابر منگنز؛ تغییرات آهن در برابر منگنز در این نمودار بیان‌کننده ارتباط مثبت این عناصر با یکدیگر است و روند نسبی افزایش خطی را نشان می‌دهد.

نتیجه

سازند روته در منطقه قارخوتلو ۵۲ متر ضخامت دارد و از پنج واحد سنگ‌چینه‌ای شامل سنگ‌آهک‌های نازک تا ضخیم لایه فسیل‌دار تشکیل شده است. باتوجه به ویژگی‌های سنگی منطقه و بررسی مقاطع نازک و همچنین بر اساس وجود اجزای اسکلتی و غیراسکلتی، شش ریزرخساره رسوبی کربناته در سازند روته شناسایی شد که به ترتیب عمق رسوب‌گذاری شامل ریزرخساره‌های وکستون ماسه‌ای حاوی بایوکلست و اگرگات، وکستون حاوی فرامینفر بتیک کوچک و پلوئید، وکستون تا پکستون حاوی جلبک سبز و دوکفه‌ای، پکستون تا گرینستون حاوی بایوکلست و اینتراکلت، پکستون حاوی براکیوپود و جلبک سبز و ریزرخساره وکستون حاوی براکیوپود و خارپوست است. باتوجه به توالی و تغییرات ریزرخساره‌های سازند روته می‌توان نتیجه گرفت رسوبات این سازند در منطقه مطالعه شده در بخش‌های کم‌عمق پلت‌فرم کربناته‌ای از نوع رمپ نهشته شده‌اند. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل‌های عناصر اصلی و فرعی روی ۱۵ نمونه از سنگ‌آهک‌های این سازند، ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی-آراگونیتی نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو مشخص شد. این کربنات‌ها طی تدفین

در منطقه قارخوتلو بین ۴۰۰ تا ۱۴۱۰۰ پی‌پی‌ام (میانگین ۲۳۳۳ پی‌پی‌ام) متغیر است. ترسیم نمودار مقادیر آهن در برابر منگنز (شکل ۱۲) روند نسبی افزایش خطی بین مقادیر آهن و منگنز را نشان می‌دهد؛ به طوری که با افزایش مقدار آهن، منگنز نیز افزایش می‌یابد. تمرکز زیاد آهن در نمونه‌های مطالعه شده ممکن است به علت شرایط احیایی رسوبات طی دیاژنز و افزایش درصد مواد غیرقابل حل در اسید و همچنین افزایش مقدار منگنز تحت تأثیر دیاژنز غیردریایی باشد.



شکل ۱۱- موقعیت نمونه‌های سنگ‌آهکی سازند روته در منطقه قارخوتلو روی نمودار نسبت Sr/Mn در برابر Mn؛ به منظور مقایسه، محدوده‌های مربوط به نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر (Rao and Adabi 1992; Rao and Jayawardane 1994; Rao and Amini 1995)، سنگ‌آهک‌های آراگونیتی و کلسیتی مزدوران (Adabi and Rao 1991)، نمونه‌های آراگونیتی مناطق حاره‌ای عهد حاضر (Milliman and Barretto 1975) و سنگ‌های کربناته پرمین سازند روته در البرز مرکزی (Adabi and Arbab 2002) نیز ارائه شده‌اند.

- Planetary Science, 7: 31-35.
- Asseretto R. 1963. The Paleozoic Formation in central Elburz (Iran). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 69: 503-543.
- Babaei Khu G. Adabi M.H. Jahani D. and Vaziri H. 2013. Sedimentary Environment and Sequential Stratigraphy of the Rute Formation in the Sibestan Region (Central Alborz), *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 29 (50): 43-58.
- Babakhani A. and Sadeghi A. 2004. Geological map of scale 1:100000 Zanzan, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Bastami L. Mousavi M.R. and Hosseini Barzi M. 2017. Microfacies, sedimentary environment and relative changes in seawater level in the Ruteh Formation, Sangsar and Makarood Sections (Central Alborz), *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 32 (4): 1-28.
- Blomeier D. Dustira A.M. Forke H. and Scheibner C. 2013. Facies analysis and depositional environments of a storm-dominated, temperate to cold, mixed siliceous-carbonate ramp: The Permian Kapp Starostin Formation in NE Svalbard. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 93 (2):75-93.
- Brand U. and Veizer J. 1980. Chemical diagenesis of a multicomponent carbonate system; 1, trace elements. *Journal of Sedimentary Research*, 50 (4): 1219-1236.
- Burchette T.P. and Wright V.P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sedimentary Geology*, 79 (1-4): 3-57.
- Davydov V. 2014. Warm water benthic foraminifera document the Pennsylvanian-Permian warming and cooling events -The record from the Western Pangea tropical shelves. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 414: 284-295.
- de Wet C.B. Hopkins D. Rahnis M. Murphy M. and Dvoretzky R. 2012. High-energy shelf-margin carbonate facies: Microbial sheet reefs, endolites, and intraclast grainstone Ledger Formation (Middle Cambrian), Pennsylvania: In Derby J.R. Fritz R.D. Longacre S.A. Morgan W.A. and Sternbach C.A. (Eds.), *The great American carbonate bank: The geology and economic resources of the Cambrian-Ordovician Sauk megasequence of Laurentia*: American Association of Petroleum Geologists Memoir, 98: 421-450.
- Dickson, J. A. D., 1965- A modified staining technique for carbonate in thin section. *Nature*, 205, 587.
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E. (Eds.), *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1: 108-121.
- Faramarzi R. Shamanian G.H. and Shafiei Bafti B. 2012. Mineralogy, geochemistry and genesis of the Gheshlagh bauxite deposit, southeast of Gorgan. *Journal of Economic Geology*, 1 (4): 29-45.
- Flügel E. 2010. Microfacies of carbonate Rocks.

تحت تأثیر فرایندهای دیاژنزی غیردریایی و متاوریک احتمالاً در نتیجه ناپیوستگی فرسایشی بزرگ مقیاس بین سازند روته و نهشته‌های لاتریتی- بوکسیتی بالای این توالی قرار گرفته‌اند.

References

- Abdolmaleki J. Tavakoli V. and Asadi-Eskandar A. 2016. Sedimentological and diagenetic controls on reservoir properties in the Permian-Triassic successions of Western Persian Gulf, Southern Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 141: 90-113.
- Adabi M.H. 2004. *Sedimentary Geochemistry*, Ariyan Zamin Pub. Co., Tehran, 503.
- Adabi M.H. and Arbab B. 2002. Determination of Primary Mineralogy, Reconstructing the sedimentary environment of the deposits of the Ruteh Formation in the Central Alborz basin using petrographic and geochemical studies, *Scientific Quarterly Journal, Geoscience*, 12 (46-45): 64-75.
- Adabi M.H. and Asadi Mehmandosti E. 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33 (3-4): 267-277.
- Adabi M.H. and Rao C.P. 1991. Petrographic and geochemical evidence for original aragonite mineralogy of Upper Jurassic carbonates (Mozduran Formation), Sarakhs area, Iran. *Sedimentary Geology*, 72 (3-4): 253-267.
- Adabi M.H. Salehi M.A. and Ghabeshahi A. 2010. Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), south-west Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, 39 (3): 148-160.
- Adachi N. Ezaki Y. and Liu J. 2004. The fabrics and origins of peloids immediately after the end-Permian extinction, Guizhou Province, South China. *Sedimentary Geology*, 164 (1):161-178.
- Aghanabati A. 2010. *Geology of Iran*. Ministry of Industry and Mines, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran. 606 p. (In Persian).
- Alipour S. Abedini A. and Abdali S. 2014. Mineralization and Geochemistry of Rare Earth Elements of Heydar Abad Laterite Horizon, South of Urmia, West Azarbaijan Province, Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geoscience*, 23 (91): 195-204.
- Asadi Mehmandosti E. Adabi M.H. and Woods A.D. 2013. Microfacies and geochemistry of the Middle Cretaceous Sarvak Formation in Zagros Basin, Izeh Zone, SW Iran. *Sedimentary Geology*, 293: 9-20.
- Asadi Mehmandosti E. and Adabi M.H. 2013. Application of Geochemical Data as Evidence of Water-Rock Interaction in the Sarvak Formation, Izeh Zone, Zagros, Iran. *Procedia Earth and*

- Mg²⁺ and Sr²⁺ into calcite overgrowths: influences of growth rate and solution composition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47 (2): 217-233.
- Papazzoni C.A. and Trevisani E. 2006. Facies analysis, palaeoenvironmental reconstruction, and biostratigraphy of the "Pesciara di Bolca" (Verona, northern Italy): An early Eocene Fossil-Lagerstätte. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 242 (1-2): 21-35.
- Peryt T.M. Hałas S. and Peryt D. 2014. Carbon and oxygen isotopic composition and foraminifers of condensed basal Zechstein (Upper Permian) strata in western Poland: environmental and stratigraphic implications. *Geological Journal*, 50 (4): 446-464.
- Pingitore Jr, Nicholas E. Eastman M.P. Sandidge M. Oden K. and Freiha B. 1988. The coprecipitation of manganese (II) with calcite: an experimental study. *Marine Chemistry*, 25 (2): 107-120.
- Rao C.P. 1996. Modern carbonates, tropical, temperate, polar: introduction to sedimentology and geochemistry. Howrah, Tasmania: Carbonates, 206 p.
- Rao C.P. and Amini Z.Z. 1995. Faunal relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf carbonates, western Tasmania, Australia. *Carbonates and Evaporites*, 10 (1): 114-123.
- Rao C.P. and Jayawardane M.P.J. 1994. Major minerals, elemental and isotopic composition in modern temperate shelf carbonates, Eastern Tasmania, Australia: implications for the occurrence of extensive ancient non-tropical carbonates. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 107 (1-2): 49-63.
- Romero J. Caus E. and Rossel J. 2002. A model for the palaeoenvironmental distribution of larger foraminifera based on Late Middle Eocene deposits on the margin of the south Pyrenean basin (SE Spain). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 179 (1-2): 43-56.
- Salehi M.A. Adabi M.H. Ghalavand H. and Khatibi Mehr M. 2010. Sedimentary environment, Diagenesis and geochemistry of the Fahliyan Formation in the type Section (Fahliyan Anticline) and Gachsaran Oil Field. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 19 (76): 33-44.
- Shahraki J. Javdan M.J. Hashemi S.M.P. Jami M. Nastooh M. and Kalvandi S.M. 2015. Facies Analysis, Depositional Environment of the Lower Permian Deposits of Chili Formation in Kalmard Block, Eastern Central Iran (Darin Section). *Open Journal of Geology*, 5 (08): 539-551.
- Shamanian G.H. Monfared Z. and Omrani H. 2015. Stratigraphic, petrographic and facies characteristics of the Tash and Astaneh Bauxitic-Lateritic deposits in eastern Alborz: Palaeoenvironmental implications. *Sedimentary Facies*, 8 (1): 71-86.
- Swart P.K. 2015. The geochemistry of carbonate Analysis, interpretation and application. Springer-Verlog, 976 p.
- Gao G. Dworkin S. Land L.S. and Douglas Elmore R. 1996. Geochemistry of Late Ordovician Viola Limestone, Oklahoma: Implications for Marine Carbonate Mineralogy and Isotopic Compositions. *The Journal of Geology*, 104 (3): 359-367.
- Hasani R. Mousavi M.R. Lankarani M. and Aharipour R. 2013. Facies, sedimentation environments and sequential stratigraphy of sedimentary sequence of Permian in Khoshyalagh area. *Quarterly Iranian Journal of Geology*, 6 (24): (19-32).
- Kafshdüz S. Shabaniyan R. Mahari R. and Shahinfar S. 2014. Microfacies and depositional environment of Ruteh Carbonated Formation in Kord Kandi Section, (East of Shahindezh). *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 1 (1): 59-75.
- Kansun G. Zedef V. and Koçak K. 2018. Some geological features of limestone aggregates produced from Central Anatolian Carbonate Formations. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 5 (1): 57-61.
- Kavoosi, M.A., 2014. Inorganic control on original carbonate mineralogy and creation of gas reservoir of the Upper Jurassic carbonates in the Kopet-Dagh Basin, NE, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 29 (4), 419-432.
- Khatibi Mehr M. and Adabi M.H. 2014. Microfacies and geochemical evidence for original aragonite mineralogy of a foraminifera-dominated carbonate ramp system in the late Paleocene to Middle Eocene, Alborz basin, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 29 (2): 155-175.
- Land L.S. and Hoops G.K. 1973. Sodium in carbonate sediments and rocks; a possible index to the salinity of diagenetic solutions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43 (3): 614-617.
- Laya J.C. and Tucker M. 2012. Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 331-332:1-26.
- Leda L. Korn D. Ghaderi A. Hairapetian V. Struck U. and Reimold W.U. 2014. Lithostratigraphy and carbonate microfacies across the Permian-Triassic boundary near Julfa (NW Iran) and in the Baghuk Mountains (Central Iran). *Facies*, 60 (1): 295-325.
- Milliman J.D. and Barretto H.T. 1975. Relict magnesium calcite oolite and subsidence of the Amazon shelf. *Sedimentology*, 22 (1): 137-145.
- Morse J.W. and Mackenzie F.T. 1990. Geochemistry of sedimentary carbonates, Elsevier, 706 p.
- Mousavi M.J. and Nouroozi A. 2009. Facies and depositional environment of the Ruteh Formation in the north of Shahroud, (Eastern Alborz), *Journal of Sediment and Sedimentary Rock*, 2 (4): 73-85.
- Mucci A. and Morse J.W. 1983. The incorporation of

- New Zealand Cenozoic limestones. Carbonates and Evaporites, 11: 19-31.
- Zhang K.J. Li Q.H. Yan L.L. Zeng L. Lu L. Zhang Y.X. Hui J. Jin X. and Tang X.C. 2017. Geochemistry of limestones deposited in various plate tectonic settings. Earth-Science Reviews, 167: 27-46.
- Zohdi A. 2018. Sedimentary environment and sequence stratigraphy of the Routeh Formation in the west of Zanjan (Agh-Bolagh section). Scientific Quarterly Journal, Geosciences, 27 (108): 133-144.
- diagenesis: The past, present and future. Sedimentology, 62 (5): 1233-1304.
- Veizer J. 1983. Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique: In Arthur M.A. Anderson T.F. Kaplan I.R. Veizer J. and Land L.S (Eds.), Stable isotopes in sedimentary geology: SEPM Society for Sedimentary Geology, 10: 3-100.
- Winefield P.R. Nelson C.S. and Hodder A.P.W. 1996. Discriminating temperate carbonates and their diagenetic environments using bulk elemental geochemistry: a reconnaissance study based on