

چینه‌شناسی، خاستگاه و جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های قندی‌بلاغی، بخش میانی سازند قرمز بالایی (جنوب غرب زنجان)

مرتضی عباسی^۱، افشین زهدی^{۲*}، حسین کوهستانی^۲، میر علی‌اصغر مختاری^۲ و آرمین سلسانی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- مدیرعامل شرکت سیمین معدن البرز، زنجان، ایران

نویسنده مسئول: afshin.zohdi@znu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۸

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

محدوده قندی‌بلاغی که سازند قرمز بالایی در آن گسترش قابل‌توجهی دارد، در جنوب غرب زنجان و در پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار گرفته است. سازند قرمز بالایی در این منطقه ۲۳۵۴ ضخامت دارد و به دو بخش اصلی تقسیم می‌شود. بخش زیرین بطور عمده شامل مارن‌های رنگارنگ بوده و توسط یک لایه گچ‌دار از سازند قم جدا گردیده است. بخش‌های بالایی در برگزیده مارن‌های قرمز و سبز رنگ همراه با لایه‌های متناوبی از ماسه‌سنگ و کنگلومرا به رنگ قرمز تا خاکستری مایل به سبز می‌باشد. مطالعات پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های کانسار قندی‌بلاغی که میزبان کانی‌زایی سرب و روی است، بیانگر حضور ذرات کوارتز (عمدتاً خاموشی‌های موجی) با فراوانی حدود ۲۴ درصد، فلدسپات (عمدتاً ارتوز) با فراوانی ۱۲ درصد و خرده‌سنگ‌های دگرگونی و رسوبی با فراوانی ۲۸ درصد می‌باشد. بر طبق نام‌گذاری فولک می‌توان بیان نمود که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمده‌تاً از نوع ماسه‌سنگ دانه ریز تا متوسط فلدسپاتیک لیت‌آرنایت تا لیت‌آرنایت با سیمان کلسیتی و نابالغ می‌باشند. داده‌های بدست آمده سنگ منشأ این ماسه‌سنگ‌ها را در آب و هوای نیمه‌خشک و از نوع حدواسط تا فلسیک در نظر می‌گیرد، که عمده‌تاً از سنگ‌های کربناته متعلق به سازند قم، و سیلیسی آواری‌های ریز تا متوسط دانه، سنگ‌های دگرگونی، چرتی و سنگ‌های آذرین حدواسط تا فلسیک رخنمون یافته در منطقه (متعلق به کمپلکس تکاب) منشأ گرفته‌اند. براساس دیانگرم‌های مثلثی رایج جایگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها حاشیه فعال قاره‌ای و حوضه فورلندی در نظر گرفته می‌شود.

واژگان کلیدی: ژئوشیمی، حوضه فورلندی، میوسن، کمپلکس تکاب، زنجان

پیشگفتار

دارد و به دلیل تغییرات سنگ‌شناسی قابل توجه، هم‌ارزی رخنمون‌های آن دشوار است و هیچ برشی نمی‌تواند الگوی این سازند در نظر گرفته شود (آقاباتی، ۲۰۰۴). گانسر (۱۹۵۵) برای نخستین بار از عبارت سازند قرمز بالایی در چهارمین کنگره بین‌المللی نفت برای این توالی‌های تخریبی استفاده نمود و قبل از آن از اصطلاحاتی نظیر سری ژپس‌دار (لوفتس، ۱۸۵۵)، لایه‌های قرمز قاعده‌ای نئوژن (استاهل، ۱۹۱۱) و سری‌های قرمز میوسن (دوزی، ۱۹۵۵) برای این توالی‌های قرمز رنگ به سن میوسن استفاده می‌شد. بخش‌های مختلف این سازند تاکنون از جنبه‌های مختلف چینه‌نگاری، رسوب‌شناسی، محیط رسوبی و جایگاه تکتونیکی مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفته است، بطوریکه لاسمی (۱۹۹۱)، مهاری

منطقه مورد مطالعه در قسمت شمال غربی ایران (پهنه ایران مرکزی) قرار دارد که در دوره سنوزوئیک در حاشیه فعال منطقه برخورد قاره‌ای بین صفحات اوراسیا و عربستان قرار داشته است، بنابراین دچار تحولات متعددی شده است. نتیجه این تغییرات، تشکیل رسوبات متنوع با ضخامت زیاد همانند سازند قرمز بالایی است (بالاتو و همکاران، ۲۰۰۸؛ قربانی، ۲۰۲۱) که به دلیل دارا بودن لایه‌های از سنگ‌های تبخیری و مارنی، به عنوان یک پوش سنگ مناسب در میدان‌های گازی سراج و البرز بر روی بخش مخزنی سازند قم قرار گرفته است (مورلی و همکاران، ۲۰۰۸). این سازند رخنمون وسیعی را در بخش‌های مختلف ایران مرکزی و دامنه‌های جنوبی البرز

(۱۹۹۷) و امینی (۱۹۹۷) رخساره‌ها و محیط رسوب‌گذاری این سازند را در بخش‌های مختلف حوضه رسوبی ایران مرکزی و دامنه جنوبی البرز مطالعه نموده‌اند و برای این سازند محیط‌های رسوبی متنوعی از قبیل مخروط‌افکنه، رودخانه‌های بریده بریده و پیچشی تا دریاچه‌های کویری وسیع همراه با باتلاق‌های محلی در بخش‌های پایین‌دست جریان معرفی نموده‌اند. چینه‌شناسی و مطالعه آثار فسیلی ردپا در ماسه‌سنگ‌های این سازند نیز توسط احمدی‌قمی و همکاران (۲۰۱۸) و عباسی و همکاران (۲۰۲۱) و (۲۰۲۴) مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات پتروگرافی، ژئوشیمی، خاستگاه و جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های این سازند نیز توسط محققین مختلفی نظیر بالاتو و همکاران (۲۰۱۷)؛ رضایی و فروغی‌شادآباد (۲۰۱۸)؛ رجب‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) و قاسملوی‌تکانتپه و همکاران (۲۰۲۳) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است که نتایج این مطالعات عمدتاً بیانگر ترکیب سنگ‌شناسی لیتارنایتی برای ماسه‌سنگ‌های این سازند بوده که در حواشی فعال قاره ای و حوضه فورلندی در زمان میوسن میانی تشکیل شده‌اند. لازم به توضیح است که تمرکز واحدهای ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی عمدتاً در بخش میانی این سازند بوده که در بسیاری از مناطق شمال‌غرب ایران بویژه زنجان میزبان ذخایر رسوبی متعددی نظیر مس، سرب و روی است (ساداتی و همکاران، ۲۰۱۶؛ باغبانان و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعه این واحدهای ماسه‌سنگی در حوضه رسوبی ایران مرکزی حائز اهمیت است، بطوریکه مطالعه این واحدهای ماسه‌سنگی اطلاعات با ارزشی در خصوص شرایط تشکیل حوضه و ویژگی‌های ژئودینامیکی منطقه ارائه می‌دهند. با ترکیب داده‌های چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی و ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی (به‌ویژه ماسه‌سنگ‌ها) می‌توان اطلاعات ارزشمندی در خصوص فعالیت‌های تکتونیکی منطقه، هوازگی سنگ‌ها، نوع سنگ‌منشاء و دیرینه اقلیم بدست آورد (شرفی و همکاران، ۲۰۱۸؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۸؛ پوردیوانبگی مقدم و همکاران ۲۰۲۰؛ جعفرزاده و همکاران، ۲۰۲۲؛ راجاک و همکاران، ۲۰۲۴).

برای ترسیم تاریخچه تکتونیکی و تعیین نوع منشأ ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی (میوسن) در جنوب غرب زنجان یک رخمون چینه‌شناسی مناسب

از این سازند در منطقه قندی‌بلاغی که میزبان کانی‌زایی سرب و روی می‌باشد، به لحاظ رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی و انجام مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. با ترسیم انواع مختلف دیاگرام‌های تفکیک کننده محیط تکتونیکی و براساس اجزای اصلی تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها، موقعیت تکتونیکی و نوع آب و هوای دیرینه سنگ‌منشأ در محل کانسار سرب و روی قندی‌بلاغی مورد بحث قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در فاصله ۷۶ کیلومتری جنوب غرب زنجان و ۲ کیلومتری شمال غرب شهر حلب قرار دارد. امید است بتوان از نتایج این پژوهش در درک بهتر سیر تکامل کوهزایی رشته کوه‌های شمال‌غرب ایران در هنگام برخورد قاره‌ای استفاده نمود.

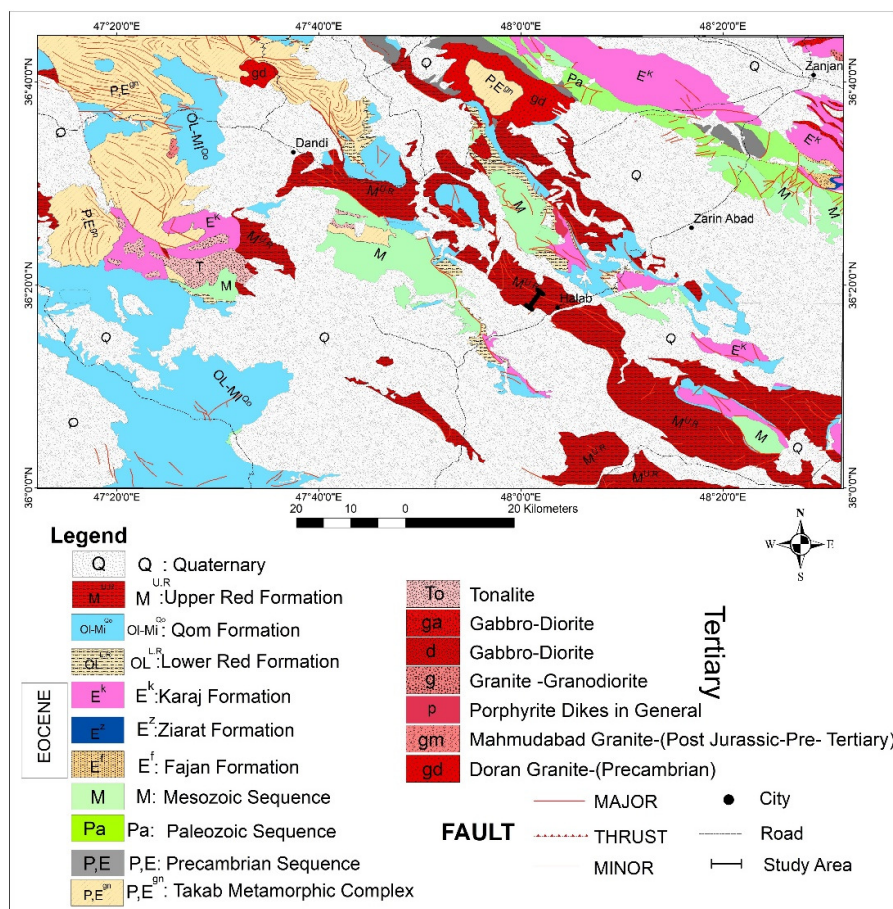
روش مطالعه

ابتدا اطلاعات و منابع موجود از منطقه مورد مطالعه همانند تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های نقشه‌های زمین‌شناسی همانند نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ حلب (شهیدی و بهارفیروزی، ۲۰۰۱)، گزارش‌ها و مقاله‌های مرتبط مطالعه و بررسی گردید. طی مطالعات صحرایی، رنگ و ویژگی‌های رسوب‌شناسی از جمله ضخامت و مرز بین لایه‌های ماسه‌سنگ مورد توجه قرار گرفت. از واحدهای ماسه‌سنگی بیش از ۳۰ نمونه برداشت، و تعداد ۱۲ مقطع نازک میکروسکوپی برای انجام نقطه شماری انتخاب گردید. بدین منظور، به‌طور میانگین، در هر مقطع تعداد ۳۰۰ دانه به روش گزی-دیکنسون که توسط اینگرسول و همکاران (۱۹۸۴) شرح داده شد، شمارش گردید. همچنین، در نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها از روش فولک (۱۹۸۰) استفاده شده است. در ادامه، برای تعیین منشأ، موقعیت تکتونیکی و آب و هوای دیرینه منطقه تشکیل ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی، تعداد ۱۰ نمونه از ماسه‌سنگ‌های دارای کمترین میزان هوازگی و کربنات کلسیم انتخاب و برای اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی به روش XRF در آزمایشگاه شرکت زرآرما در تهران ارسال شد. برای ترسیم دیاگرام‌ها از نرم‌افزارهای GCDkit، Corel DRAW، Iqpet و Excel استفاده شده است. نتایج حاصل از شمارش نقطه‌ای و تجزیه‌های شیمیایی بر روی نمودارهای استاندارد ترسیم و نتایج آن‌ها بررسی شد.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

در تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران، منطقه مورد مطالعه در قسمت منتهی‌الیه و شمال غربی پهنه ایران مرکزی (آقنابتی، ۲۰۰۴) و در حد فاصل زون البرز در شمال و زون سندج واقع شده و بخشی از نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ حلب (شهیدی و بهارفیروزی، ۲۰۰۱) می‌باشد. نهشته‌های این ناحیه عمدتاً متعلق به توالی‌های آئوسن تا کواترنر است که شامل ماسه‌سنگ‌ها، شیل‌ها و توف‌ها آئوسن، سنگ‌های آواری

سازند قرمز پایین (الیگوسن)، سنگ‌های کربناته سازند قم (میوسن پایین) و در نهایت، سنگ‌های آواری- تبخیری سازند قرمز بالایی متعلق به میوسن میانی تا بالایی است (شهیدی و بهارفیروزی، ۲۰۰۱؛ قربانی، ۲۰۱۹). مطالعات (۲۰۱۸) و رجب‌زاده و همکاران (۲۰۱۹) بیانگر نهشته شدن توالی‌های رسوبی سازند قرمز بالایی عمدتاً در یک محیط رودخانه‌ای از نوع بریده بریده تا پیچشی با شیب کم در بخش‌های غربی زنجان است.



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای منطقه قندی‌بلاگی براساس نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ زنجان (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹) و تکاب (علوی و عمیدی، ۱۹۷۶).

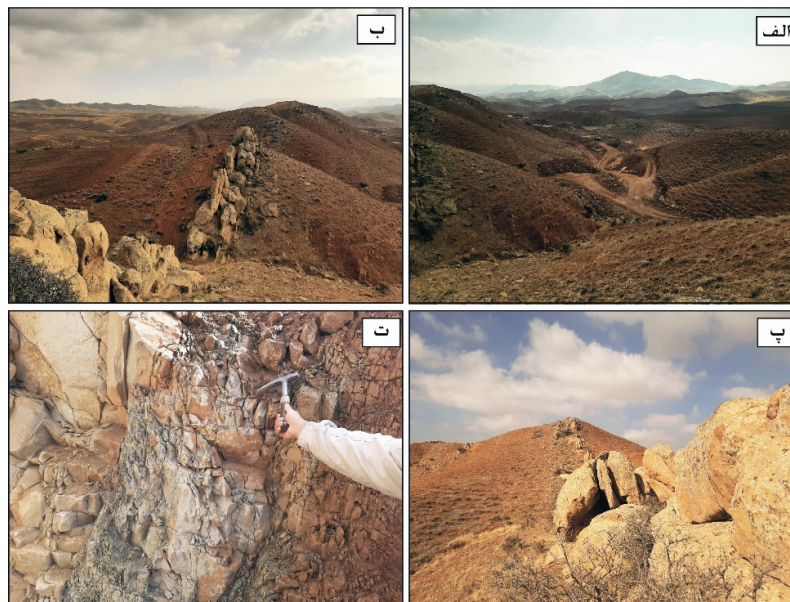
Fig. 1. Regional geological map of Qandi Bolagi region. Adapoted from 1:250,000 scale geological map of Zanjan (Stocklin and Eftekharneshad, 1969) and Takan (Alavi and Amidi, 1976).

گل‌سنگ‌های توده‌ای در بخش‌های مختلف این سازند قابل شناسایی است. البته حضور رخساره‌های تبخیری به همراه رپل‌مارک‌های متقارن و اثر رخساره اسکوینا می‌تواند مؤید تشکیل دریاچه‌ها و باتلاق‌های محلی در پایین‌دست جریان باشد. رخساره‌های سازند قرمز بالایی به

از مهم‌ترین رخساره‌های معرفی شده سازند قرمز بالایی در این منطقه می‌توان به حضور ارتوکنگلومرای چند منشأیی توده‌ای، ماسه‌سنگ‌های با طبقه‌بندی‌های مورب مسطح و مورب عدسی شکل به همراه طبقه‌بندی افقی اشاره نمود که همراه با رخساره‌های ماسه‌سنگ توده‌ای و

عربی تا حاشیه هیمالیا از شبه قاره هند گسترش داشته (ساک، ۲۰۱۸) و مطابق با مطالعات ترموکرونولوژی در زمان الیگوسن تا میوسن میانی رخنمون یافته است (مقدم و همکاران، ۲۰۱۶). بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ زنجان (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۹۶۹) و تکاب (علوی و عمیدی، ۱۹۷۶) و همچنین بررسی‌های صحرایی انجام شده، واحدهای سنگی رخنمون یافته سازند قرمز بالایی توسط واحدهای کنگلومرای پلیوسن و رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده‌اند (شکل ۱). براساس برداشت‌های صحرایی (شکل ۲- الف تا پ) و با توجه به ستون چینه‌شناسی تهیه شده از منطقه قندی بلاگی (شکل ۳- الف)، سازند قرمز بالایی در این منطقه ۲۳۵۴ متر ستبراً داشته و به ۵ بخش تقسیم می‌شود. مرز زیرین این سازند در منطقه قندی بلاگی پوشیده بوده و بر روی آن کنگلومراهای سخت شده به رنگ قرمز آجری مربوط به پلیوسن قرار گرفته است.

طور کلی بیانگر یک تغییر محیط رسوبی قابل توجه با گذشت زمان در گذر میوسن زیرین (سازند قم) به میوسن بالایی (سازند قرمز بالایی) در منطقه زنجان است. این تغییر شرایط رسوبی که با خروج گسترده‌ی زمین از آب دریا در طول میوسن میانی همراه بوده است سبب افزایش فرسایش ارتفاعات و آزاد شدن حجم قابل توجهی از رسوبات تخریبی در بخش‌های مختلف منطقه زنجان شده است. در کنار این توالی رسوبی مربوط به سنوزوئیک، سنگ‌های پرکامبرین متعلق به کمپلکس تکاب در شمال غرب ایران رخنمون قابل توجهی دارد و شامل تنوعی از سنگ‌های آذرین و دگرگونی از جمله شیست‌های رسی، گنیس‌ها، اولترامافیک‌های دگرگون شده، آمفیبولیت، گرانیتوئید و سنگ‌های رسوبی ریز تا متوسط دانه می‌باشد (شکل ۱). این کمپلکس متعلق به سیستم کوهزایی بزرگ نوپروتروزئیک-پالئوزئیک پیشین است که در حاشیه پروتو-تتیس ابرقاره گندوانا فعال بوده و از حاشیه سپر



شکل ۲. تصاویر صحرایی از سازند قرمز بالایی در منطقه قندی بلاگی، جنوب غرب زنجان. الف - مارن‌های قرمز قهوه‌ای مربوط به بخش سوم سازند قرمز بالایی، ب تا د - لایه‌های ماسه‌سنگی متوسط تا ضخیم لایه خاکستری رنگ در بخش سوم سازند قرمز بالایی.

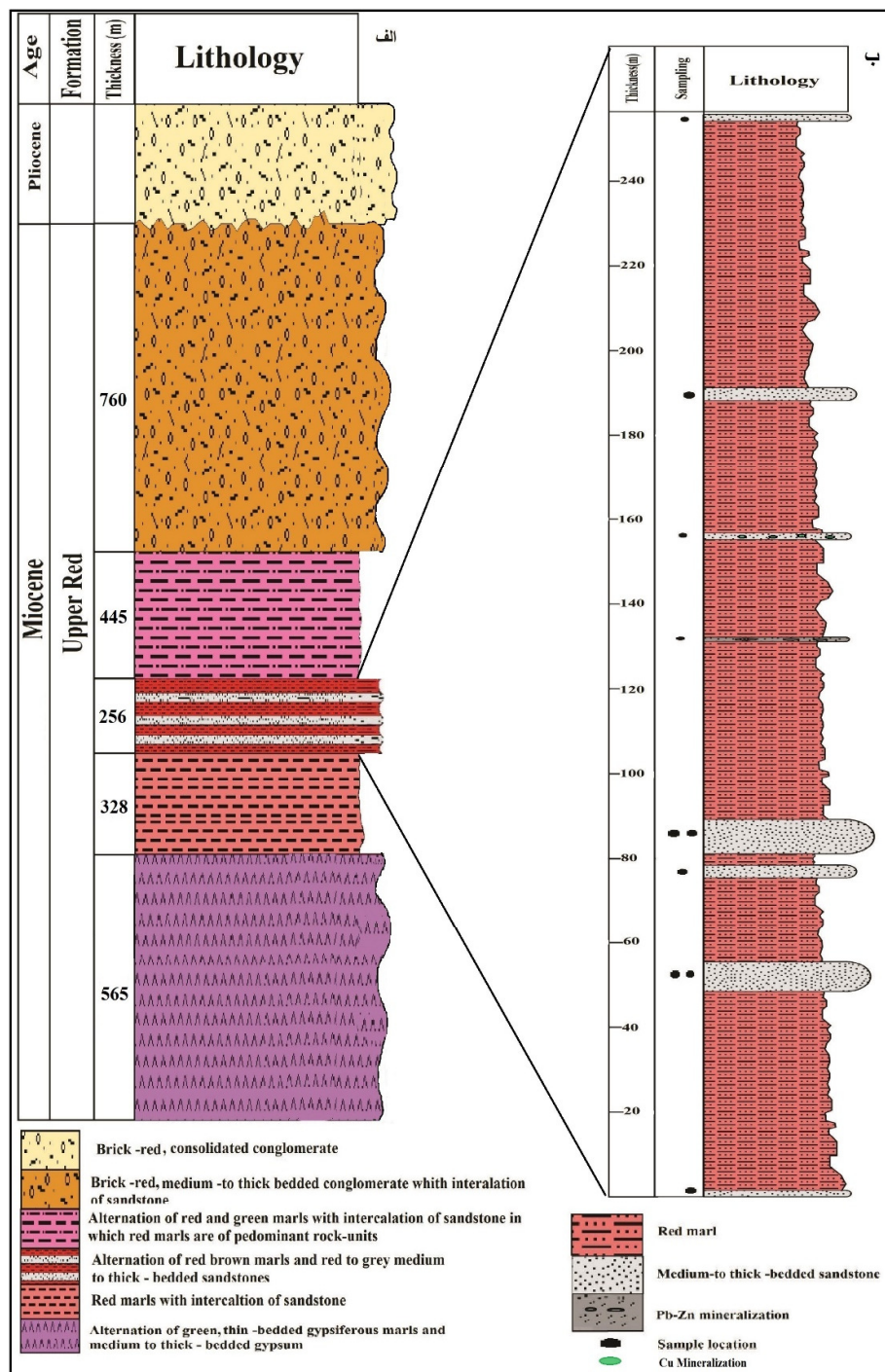
Fig. 2. Outcrop views of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi region, southwest of Zanjan. A - Red-brown marls belonging to the third part of the Upper Red Formation. B to D - Medium to thick-bedded grey sandstone layers in the third part of the Upper Red Formation.

قهوه‌ای و لایه‌های ماسه‌سنگی متوسط تا ضخیم لایه خاکستری و قرمز رنگ با ستبرای ۲۵۶ متر، ۴- تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی با ستبرای ۴۴۵ متر و ۵- کنگلومرای سخت شده به رنگ قرمز آجری با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی با ستبرای ۷۶۰ متر

بخش‌های مختلف سازند قرمز بالایی به ترتیب از پایین به بالا شامل: ۱- تناوب مارن‌های سبز ژئوپس‌دار نازک تا متوسط لایه و لایه‌های متوسط تا ضخیم گچ با ستبرای ۵۶۵ متر، ۲- تناوب مارن‌های قرمز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ متوسط لایه با ستبرای ۳۲۸ متر، ۳- تناوب مارن‌های قرمز

به سمت شمال شرق می‌باشند، که ستون چینه‌شناسی آن در شکل ۳- ب ترسیم شده است. نمونه‌های برداشت شده از توالی مورد مطالعه مربوط به این بخش از سازند قرمز بالایی می‌باشد.

می‌باشد. بخش سوم دارای ۸ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ به ضخامت ۱/۵ تا ۸ متر در تناوب با لایه‌های مارنی قرمز رنگ می‌باشد (شکل ۳- ب). این لایه‌ها دارای امتداد شمال غربی - جنوب شرقی با شیب ۵۰ تا ۷۰ درجه



شکل ۳. الف - ستون چینه‌شناسی سازند قرمز بالایی در منطقه قندی بلاغی. ب - ستون چینه‌شناسی واحد سوم سازند قرمز بالایی در منطقه قندی بلاغی و موقعیت افق‌های ماسه‌سنگی مطالعه شده بر روی آن.

Fig. 3. A- The stratigraphic column of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi region. B: The stratigraphic column of the third unit of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi area and the position of the studied sandstone layers.

سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها

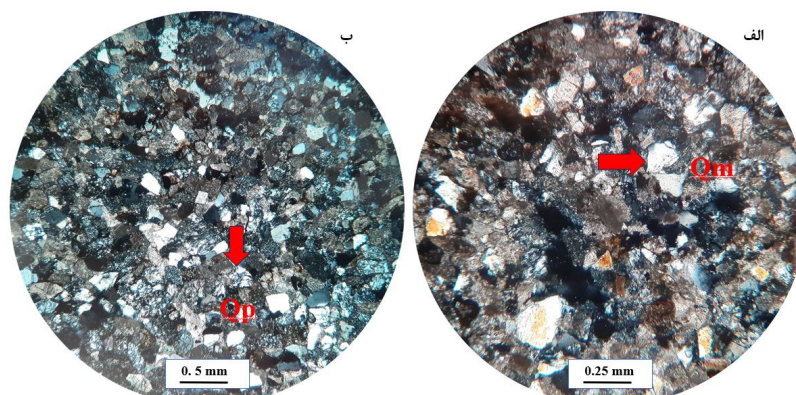
ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی خاکستری تا قرمز رنگ هستند و ذرات تشکیل دهنده آن‌ها عمدتاً بین ۰/۰۷ تا ۰/۳ میلی‌متر با جورشدگی متوسط و دانه‌های زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار می‌باشند. بر اساس ترکیب مودال محاسبه شده (جدول ۱)، کوارتز با میانگین فراوانی ۲۴ درصد یکی از فراوان‌ترین ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی است. کوارتزهای

شناسایی شده عمدتاً از نوع تک‌بلوری با خاموشی‌های موجی‌اند (شکل ۴). خرده‌سنگ‌ها از نظر فراوانی ۲۸ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. که از این میان خرده‌سنگ‌های دگرگونی (شکل ۵- الف)، ۵ درصد، خرده‌سنگ‌های آتشفشانی، ۱ درصد (شکل ۵- ب)، و خرده‌سنگ‌های رسوبی، ۲۲ درصد (خرده‌سنگ‌های آهکی و فسیلی با میزان فراوانی ۹ درصد و خرده‌سنگ‌های چرت ۱۳ درصد) را شامل می‌شوند (شکل ۶).

جدول ۱. ترکیب مودال نمونه‌های ماسه‌سنگی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی که از شمارش نقطه‌ای به‌دست آمده است. (Q: کوارتز، Qm: کوارتز تک‌بلوری، Qp: کوارتز چندبلوری، Qt: کوارتز کل، F: فلدسپات‌ها، Or: اورتوز، Pl: پلاژیوکلاز، Ft: فلدسپات کل، L: خرده‌سنگ‌ها، Lv: خرده‌سنگ‌های آتشفشانی، Lm: خرده‌سنگ‌های دگرگونی، Ls: خرده‌سنگ‌های رسوبی، Cht: چرت، LLS: خرده‌سنگ‌های فسیلی و آهکی، Lss: خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی، Lt: کل خرده‌سنگ‌ها، M: ماتریکس، C: سیمان، P: تخلخل، Gt: کل زمینه، Bt: بیوتیت، Ms: مسکوویت، Chl: کلریت، Opq: کانی‌های کدر).

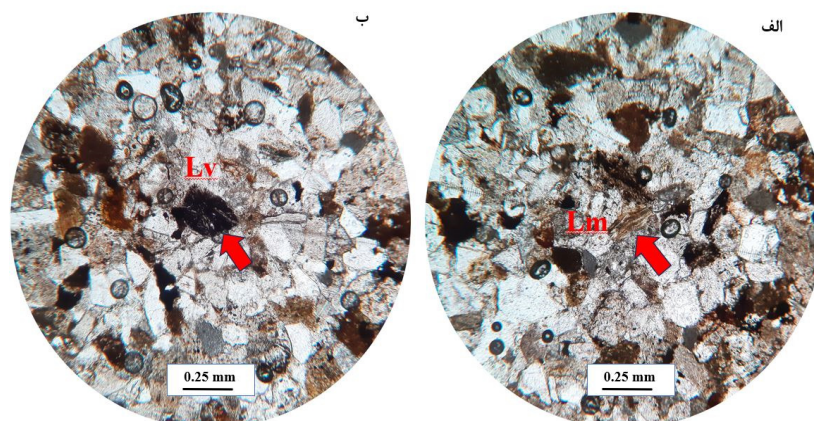
Table 1. Modal composition of sandstone samples of Upper Red Formation sandstones in Qandi Bolagi area which is obtained from point counting. (Q: quartz, Qm: monocrystalline quartz, Qp: polycrystalline quartz, Qt: total quartz, F: feldspars, Or: orthoclase, Pl: plagioclase, Ft: total feldspar, L: rock fragments, Lv: volcanic rock fragments, Lm: metamorphic rock fragments, Ls: sedimentary rock fragments, Cht: chert, LLS: fossil and calcareous rock fragments, Lss: sandstone rock fragments, Lt: total rock fragments, M: matrix, C: cement, P: porosity, Gt: total groundmass, Bt: biotite, Ms: muscovite, Chl: chlorite, Opq: opaque minerals).

Sample No	Q%			F%			L%						Groundmass%				Accessory minerals%				Total %
	Qm	Qp	Qt	Or	Pl	Ft	Lv	Lm	Ls			Lt	M	C	P	Gt	Bt	Ms	Chl	Opq	
									Cht	LLs	Lss										
Gb-o	48	3	51	18	6	24	0	6	18	33	0	57	18	12	126	156	0	0	6	6	300
Gb-1	81	6	87	38	9	47	6	20	46	20	0	92	12	17	9	38	0	3	0	23	290
Gb-2	61	3	64	31	6	37	3	18	31	31	0	83	31	15	55	101	3	0	0	18	306
Gb-3	63	11	74	29	11	40	0	14	46	23	0	83	26	17	29	72	3	0	3	11	286
Gb-4	76	9	85	27	12	39	6	15	55	34	0	110	24	15	12	51	0	0	3	15	303
Gb-5	68	12	80	33	9	42	3	15	45	33	0	96	15	30	12	57	3	0	3	18	299
Gb-6	71	6	77	26	9	35	6	15	50	20	0	91	26	12	29	67	3	0	0	20	293
Gb-7	36	3	39	15	6	21	0	9	21	15	0	45	21	12	152	185	3	0	0	9	302
Gb-8	74	9	83	28	6	34	6	18	49	28	0	101	28	18	15	61	3	0	6	18	306
Gb-9	55	6	61	27	6	33	3	15	33	24	0	75	46	15	46	107	3	0	3	21	303
Gb-3b	71	16	87	34	12	46	3	12	47	28	0	90	34	12	16	62	0	0	6	19	310
BH8.3	68	2	70	30	9	39	0	18	50	27	0	95	27	15	30	72	3	0	0	15	294
Mean	64	7	71	28	8	36	3	15	41	26	0	85	26	16	44	86	2	0.25	2.5	16	299



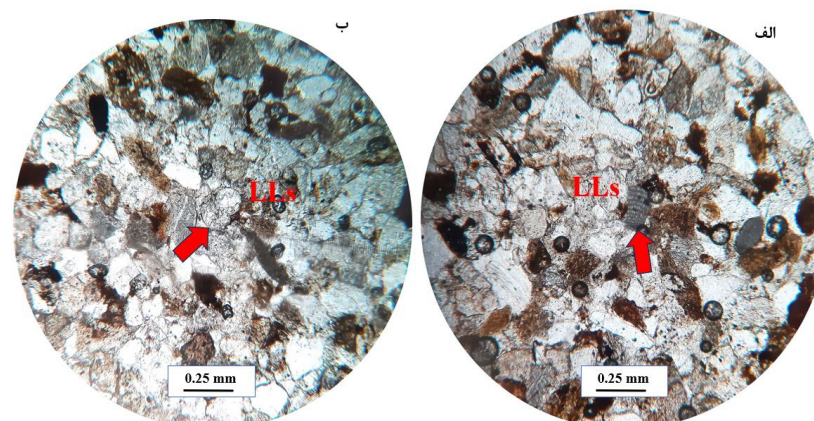
شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزه متقاطع، XPL) از کوارتزهای موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی. الف - کوارتز تک‌بلوری، ب - کوارتز چندبلوری.

Fig. 4. Microscopic images (cross polarized light, XPL) of quartz in the sandstones of the Upper Red Formation in the Qandi Bolagi region. A- Monocrystalline quartz, B- Polycrystalline quartz.



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزه صفحه‌ای، PPL) از انواع خرده‌سنگ‌های آتشفشانی و دگرگونی موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی. الف- خرده‌سنگ‌های دگرگونی، ب- خرده‌سنگ‌های آتشفشانی.

Fig. 5. Microscopic images (plane polarized light, PPL) of various types of volcanic and metamorphic rock fragments in the sandstones of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi region. A- Metamorphic rock fragments, B- Volcanic rock fragments.

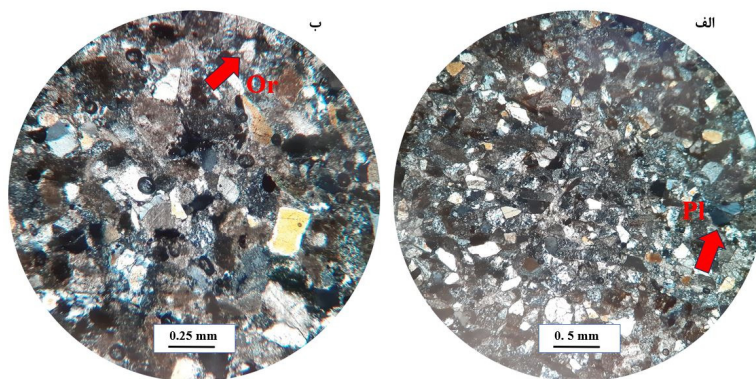


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزه صفحه‌ای، PPL) از خرده‌سنگ‌های رسوبی موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی. الف- جلبک قرمز، ب- فرامینیفر پلانکتون.

Fig. 6. Microscopic images (cross polarized light, PPL) of sedimentary rock fragments in Upper Red Formation sandstones in Qandi Bolagi region. A- Red algae debris, B- Planktonic foraminifera.

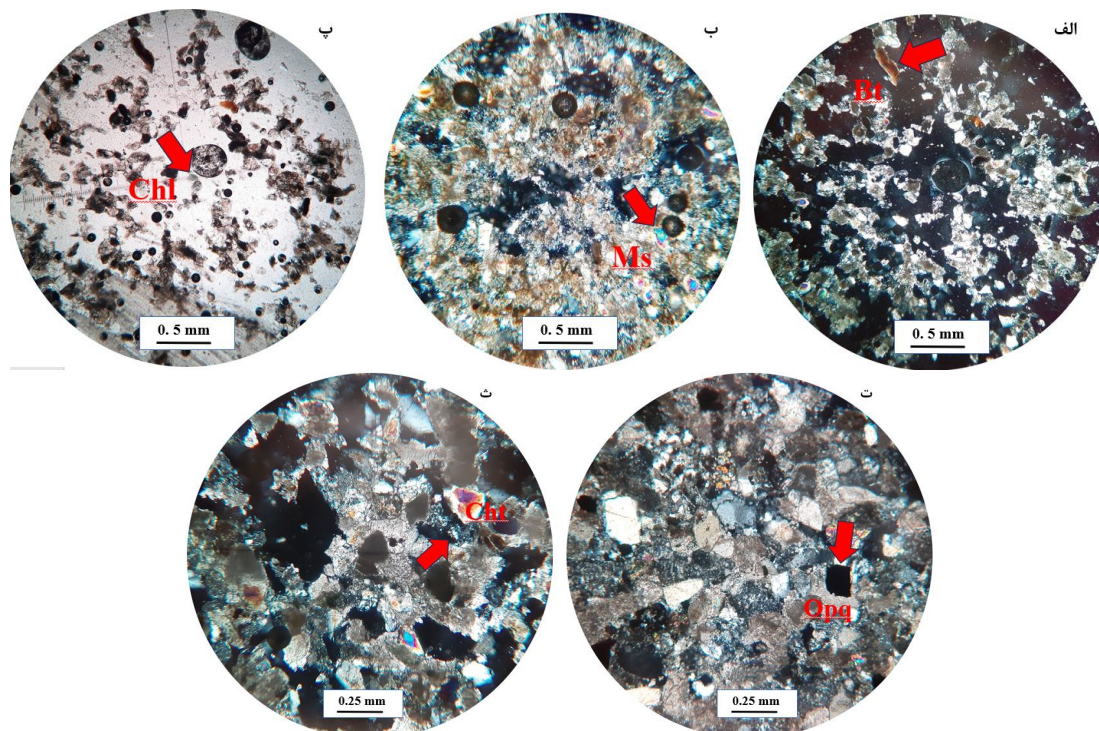
قابل ذکر است در برخی از مقاطع، میزان تخلخل بیشتری نیز (بیش از ۱۰ درصد) شناسایی شده است. براساس درصد فراوانی اجزای تشکیل‌دهنده و با توجه به تقسیم‌بندی ماسه‌سنگ‌ها به روش فولک (۱۹۸۰)، ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت می‌باشند (شکل ۹). این ماسه‌سنگ‌ها فاقد جهت‌یافتگی بوده و از لحاظ گردشگری به‌صورت زاویه‌دار تا نیمه زاویه‌دار می‌باشند. براساس جورشدگی (متوسط) و میزان گردشگری و حضور ماتریکس و گل، این ماسه‌سنگ‌ها از لحاظ بلوغ بافتی، نابالغ در نظر گرفته می‌شوند.

فلدسپات‌ها (پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن) در مجموع حدود ۱۲ درصد از حجم ماسه‌سنگ‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. از دیگر ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها می‌توان به حضور کانی‌های کدر و اکسیدهای آهن (در مجموع با فراوانی ۵ درصد)، کانی‌های بیوتیت و مسکوویت (در مجموع با فراوانی ۱ درصد) اشاره نمود (شکل‌های ۷ و ۸). فضای بین ذرات تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه را ۹ درصد گل کربناته (ماتریکس) و ۵ درصد سیمان کلسیتی روشن (اسپارایت) تشکیل می‌دهد. به‌طور میانگین حدود ۸ درصد تخلخل و فضای خالی در داخل زمینه ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه شناسایی شده است.



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی (نور پلاریزه متقاطع، XPL) از فلدسپات‌های موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی. الف - پلاژیوکلاز، ب - ارتوز.

Fig. 7. Microscopic images (cross-polarized light, XPL) of feldspars in the sandstones of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi region. A- Plagioclase, B- Orthoclase.



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپی (تصویر پ در نور پلاریزه صفحه‌ای، PPL و مابقی تصاویر در نور پلاریزه متقاطع، XPL) از ذرات فرعی موجود در ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی. الف - بیوتیت، ب - مسکوویت، پ - کلریت، ت - کانی کدر، ث - خرده‌های چرت.

Fig. 8. Microscopic images (P image in plane polarized light, PPL and the rest of the images in cross polarized light, XPL) of mior grains in the sandstones of the Upper Red Formation in the Qandi Bolagi region. A- Biotite, B- Muscovite, P- Chlorite, T- Opaque minerals, S- chert fragments.

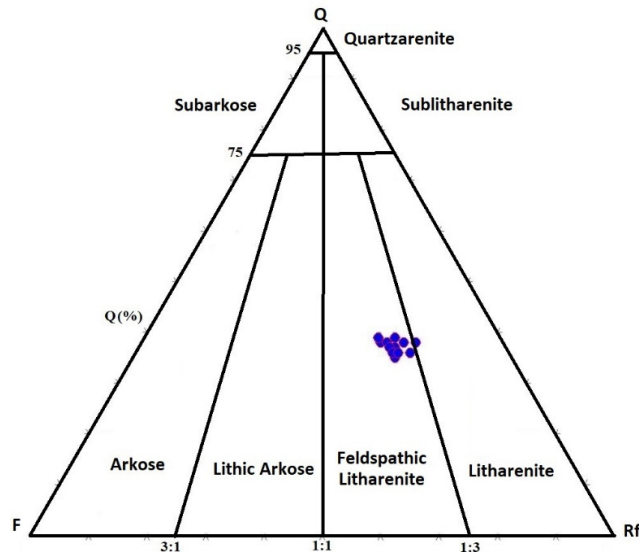
امتدادلغز تقسیم می‌شوند (فریش و همکاران، ۲۰۲۲). براساس نسبت‌های موجود بین مقادیر کوارتزهای تک‌بلوری و کل کوارتزهای موجود، خرده‌سنگ‌ها و فلدسپات‌ها و با توجه به دیاگرام‌های مثلثی Qt-F-L و Qm-F-Lt (دیکینسون، ۱۹۸۵) جایگاه تکتونیکی رسوبات

تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها براساس ترکیب مودال

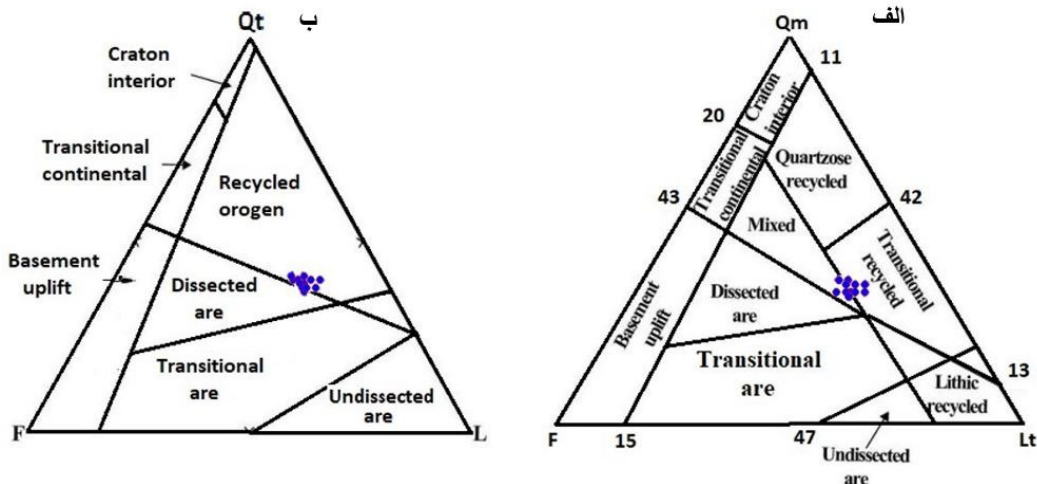
حوضه‌های رسوبی براساس موقعیت قرارگیری در صفحات تکتونیکی به سه دسته حوضه‌های درون صفحات، حوضه‌های حاشیه صفحات واگرا و همگرا، و حوضه‌های

۱۱- الف و ب). دیاگرام‌های مثلثی Lv-Qp-Lvm-Lsm، Qp-Lv-Ls و Lm-Ls مربوط به اینگرسول و سوژک (۱۹۷۹) نیز نتایج حاصل را تأیید می‌کند. نتایج حاصل از این دیاگرام‌ها به ترتیب نشان‌دهنده کوهزایی برخوردی (شکل ۱۲- الف)، کمرندهای برخوردی (شکل ۱۲- ب)، کمریند خط درز (شکل ۱۲- پ) هستند، که همگی اشاره به حوضه‌های فورلندی و برخوردی دارند.

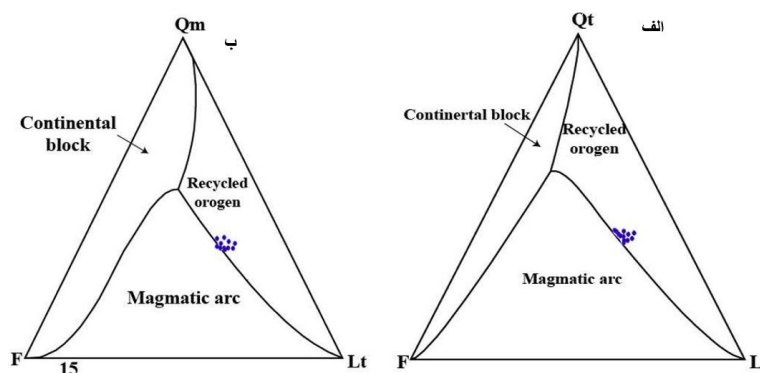
آواری (ماسه‌سنگ‌ها) را می‌توان مشخص کرد. با توجه به فراوانی خرده‌سنگ‌ها (بویژه خرده‌سنگ‌های دگرگونی و رسوبی) نسبت به کوارتزها و فلدسپات‌ها، ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده چرخه مجدد حدواسط (شکل ۱۰- الف) و محدوده کوهزایی با چرخه مجدد (شکل ۱۰- ب) قرار می‌گیرند. در دیاگرام‌های سه‌تایی ولتز (۲۰۰۶) نیز ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده‌های کوهزایی و چرخه مجدد واقع می‌شوند (شکل



شکل ۹. موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاگی بر روی نمودار مثلثی فولک (فولک، ۱۹۸۰).
Fig. 9. The location of Upper Red Formation sandstones in the Qandi Bolagi region on Folk's triangular diagram (Folk, 1980).

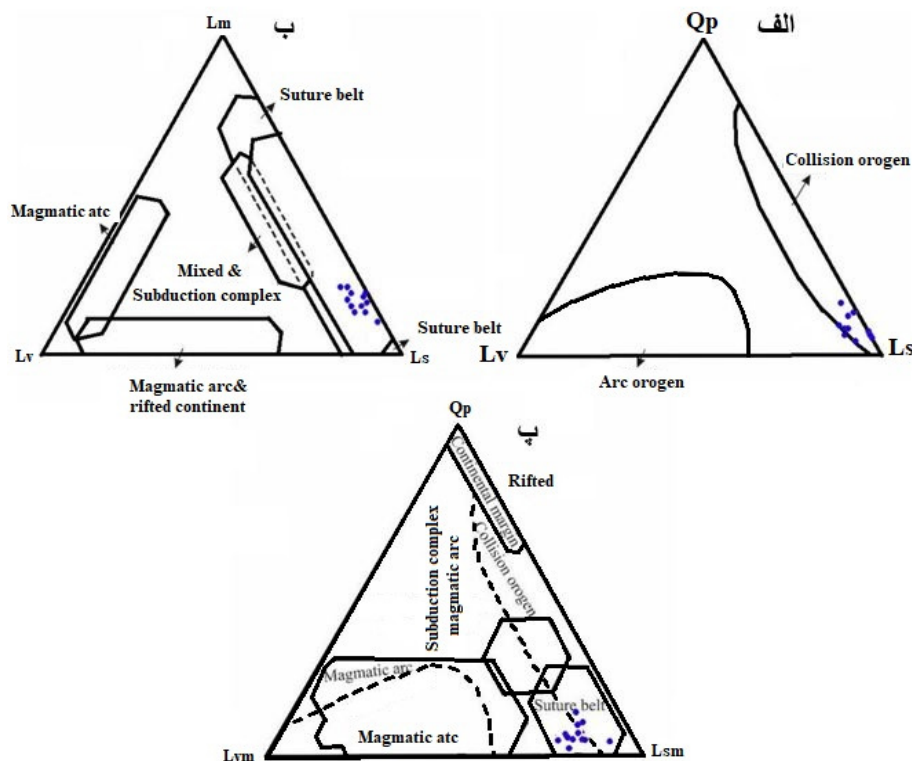


شکل ۱۰. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های مطالعه شده منطقه قندی‌بلاگی بر روی نمودارهای: الف و ب- دیکینسون (۱۹۸۵)، (F: فلدسپات، L: خرده‌سنگ، Lt: خرده‌سنگ کل، Qt: کوارتز کل، Qm: کوارتز تک‌بلوری).
Fig. 10. The tectonic setting of the studied sandstones of the Qandi Bolagi region on the diagrams: A and B - Dickinson (1985), (F: feldspar, L: lithic, Lt: total lithic, Qt: total quartz, Qm: monocrystalline quartz)



شکل ۱۱. الف و ب- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی بلاگی بر روی دیاگرام‌های ولتز (۲۰۰۶). (F: فلدسپات، L: خرده‌سنگ کل، Qt: کوارتز کل، Qm: کوارتز تک‌بلوری).

Fig. 11. A and B- the tectonic setting of the sandstones of Qandi Bolagi region on the diagrams of Weltje (2006). (F: feldspar, L: total lithic, Qt: total quartz, Qm: monocrystalline quartz).



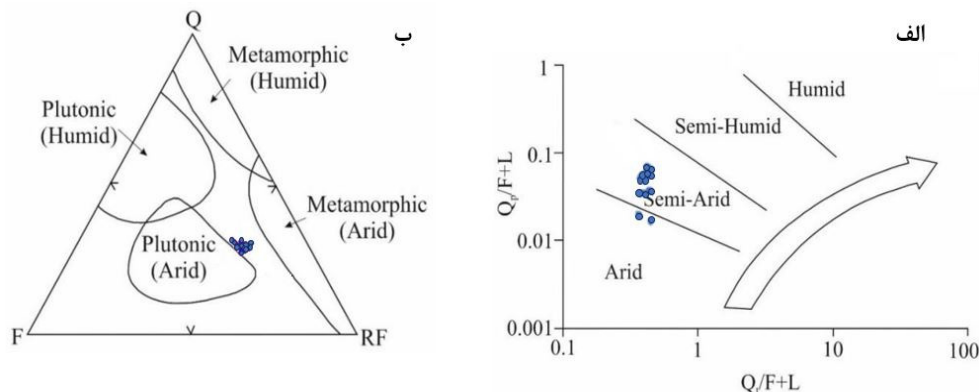
شکل ۱۲. الف تا پ- تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی بلاگی بر اساس دیاگرام‌های مثلثی اینگرسول و سوزک (۱۹۷۹). (Lm: خرده‌سنگ دگرگونی، Ls: خرده‌سنگ رسوبی، Lsm: خرده‌سنگ رسوبی-دگرگونی، Lv: خرده‌سنگ آتشفشانی، Lvm: خرده‌سنگ آتشفشانی-دگرگونی، Qp: کوارتز چندبلوری).

Fig. 12. A to P- Determining the tectonic setting of the sandstones of the Qandi Bolagi region based on the triangular diagrams of Ingersoll and Suzhek (1979). (Lm: metamorphic rock fragments, Ls: sedimentary rock fragments, Lsm: sedimentary-metamorphic rock fragments, Lv: volcanic rock fragments, Lvm: volcanic-metamorphic rock fragments, Qp: polycrystalline quartz).

توبیا و اسود، ۲۰۱۵؛ هو و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طور کلی ترکیب ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند متأثر از تغییرات آب و هوایی نیز باشد (گرزانتی، ۲۰۱۹؛ گرزانتی و همکاران، ۲۰۲۱). آب و هوای گرم و مرطوب باعث توسعه دگرسانی و تخریب

آب و هوا و هوازدگی بر اساس مطالعات پتروگرافی میزان هوازدگی سنگ‌های منشاء توسط عوامل متنوعی همچون ترکیب سنگ مادر، شرایط آب و هوایی، نرخ بالابآمدگی زمین‌ساختی و مدت هوازدگی کنترل می‌شود

موقعیت قرارگیری نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) (شکل ۱۳-الف) و نمودار مثلثی Q-F-RF (ساتنر و همکاران، ۱۹۸۱) (شکل ۱۳-ب) نشان می‌دهد که سنگ منشاء ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک قرار داشته‌اند.



شکل ۱۳. موقعیت ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاگی بر روی الف- نمودار ساتنر و دوتا (۱۹۸۶) و ب- دیگرام سه‌تایی ساتنر و همکاران (۱۹۸۱). (Q: کوارتز، Qt: کوارتز کل، F: فلدسپات، L: خرده‌سنگ، Qp: کوارتز چندبلوری، RF: خرده‌سنگ).

Fig. 13. The position of the sandstones samples of the Qandi Bolagi region on the diagram f Suttner and Dutta (1986) (A); and triangular diagram of Suttner et al. 1981(B). (Q: quartz, Qt: total quartz, F: feldspar, L: lithic, Qp: polycrystalline quartz, RF: rock fragments).

زمین‌شیمی

قندی‌بلاگی، تعداد ۱۰ نمونه از این ماسه‌سنگ‌ها (۱ نمونه ماسه‌سنگ قرمز و ۹ نمونه ماسه‌سنگ خاکستری) انتخاب و به روش XRF مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۲). همانگونه که در این جدول ملاحظه می‌شود، نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه دارای مقادیر SiO_2 بین ۵۱/۶۴ تا ۶۶/۱۴ درصد و Al_2O_3 بین ۷/۵۸ تا ۹/۱۲ درصد می‌باشند. مقادیر بسیاری از اکسیدهای عناصر اصلی آن‌ها کمتر از ۵ درصد در هر نمونه است (جدول ۲).

برای نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه براساس داده‌های زمین‌شیمی از نسبت اکسیدهای اصلی در نمودارهای تفکیکی ماسه‌سنگ‌ها استفاده شد. برپایه نسبت $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ در برابر $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ مطابق با دیگرام پتی‌جان (۱۹۸۷) (شکل ۱۴-الف)، و همچنین براساس دیگرام هرون (۱۹۸۸) براساس نسبت $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O})$ در برابر $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (شکل ۱۴-ب)، ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند، که نتایج مطالعات پتروگرافی را تأیید می‌نماید.

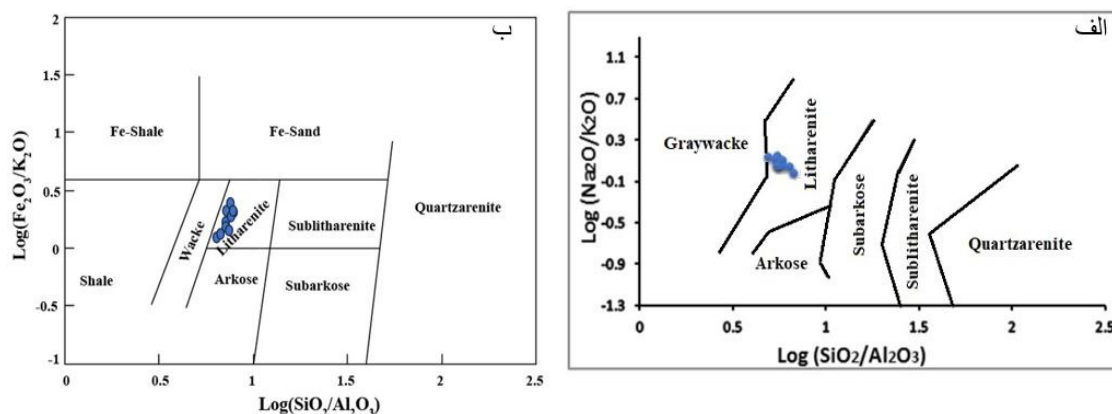
کانی‌های ناپایدار و آب و هوای سرد و خشک سبب حفظ اجزاء ناپایدار می‌شود. بر اساس نسبت مجموع کوارتز به میزان فلدسپات و خرده‌سنگ ($\text{Qt}/(\text{F}+\text{RF})$) و همچنین نسبت کوارتز چندبلوری در مقابل فلدسپات و خرده‌سنگ ($\text{Qp}/(\text{F}+\text{RF})$) می‌توان شرایط آب و هوایی زمان سنگ منشاء رسوبات را به‌دست آورد (ساتنر و دوتا، ۱۹۸۶).

بررسی زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به عنوان ابزاری قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی خاستگاه آن‌ها استفاده می‌شود (قبادی و همکاران، ۲۰۱۴؛ سرباز و همکاران، ۲۰۱۶؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۸؛ نصیری و همکاران، ۲۰۲۰؛ ظاهری و همکاران، ۲۰۲۱). ترکیب اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات و سنگ‌های سیلیسی-آواری نشان‌دهنده عملکرد فرایندهای فرسایش است که اغلب به واسطه اقلیم و زمین‌شناسی ناحیه خاستگاه کنترل می‌شوند. معمولاً مطالعات سنگ‌شناسی این واحدها اطلاعات مهمی را از سنگ اولیه (از عوامل اصلی در بازسازی تکامل تکتونیکی و حوضه رسوب‌گذاری) ارائه می‌کند. علاوه بر این، با توجه به ترکیب شیمیایی رسوبات و سنگ‌های رسوبی سیلیسی-آواری می‌توان خاستگاه و سایر فرایندهای رسوبی مانند هوازدهی، حمل و نقل و دیانز را ارزیابی نمود (مکلان و همکاران، ۱۹۹۳؛ باسیس و همکاران، ۲۰۱۶؛ تاوفیک و همکاران، ۲۰۱۷). برای طبقه‌بندی و مطالعات ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های بخش سوم سازند قرمز بالایی در منطقه

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی بلاگی. تمامی داده‌ها برحسب درصد وزنی می‌باشند.

Table 2. The results of chemical analysis of the main elements of Upper Red Formation sandstones in Qandi Bolagi region. All data are in weight percent.

S. N.	GB-0	GB-1	GB-2	GB-3	GB-3B	GB-4	GB-6	GB-7	GB-8	GB-9	Mean
SiO ₂	55.22	51.64	54.91	56.04	52.58	66.14	63.5	58.98	61.09	59.83	57.99
Al ₂ O ₃	8.09	8.64	8.14	7.58	7.63	8.31	7.58	8.77	8.43	9.12	8.22
CaO	15.08	16.88	16.47	15.53	16.9	9.49	11.99	12.45	11	11.85	13.76
Fe ₂ O ₃	3.31	2.61	0.92	2	2.52	0.7	0.95	2.03	2.46	1.23	1.87
K ₂ O	1.4	1.25	1.23	1.37	1.41	1.51	1.49	1.59	1.37	1.41	1.40
MgO	1.11	0.75	0.37	0.75	0.75	0.79	0.71	1.12	2.02	0.72	0.90
LOI	13.38	15.72	15.58	14.67	16.03	10.74	11.87	12.58	10.92	12.56	13.40
MnO	0.08	0.1	0.08	0.09	0.09	0.05	0.07	0.05	0.11	0.05	0.07
Na ₂ O	1.71	1.81	1.81	1.63	1.66	1.77	1.5	1.87	1.84	1.92	1.75
P ₂ O ₅	0.05	0.06	0.08	0.06	0.05	<0.05	0.05	0.06	0.06	0.09	0.062
TiO ₂	0.44	0.45	0.36	0.29	0.31	0.33	0.3	0.4	0.66	0.45	0.39
SO ₃	0.13	0.1	0.07	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	0.09	0.05	0.07	0.09
BaO	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Total	100	100.1	100.02	100.01	99.93	100	100.01	99.99	100.01	99.3	99.93



شکل ۱۴. موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی بلاگی براساس نمودارهای تفکیکی زمین‌شیمی ماسه‌سنگ‌ها. الف - بر روی نمودار نسبت $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ در برابر $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (پتی‌جان، ۱۹۸۷). ب - بر روی نمودار نسبت $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ در برابر $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (هرون، ۱۹۸۸).

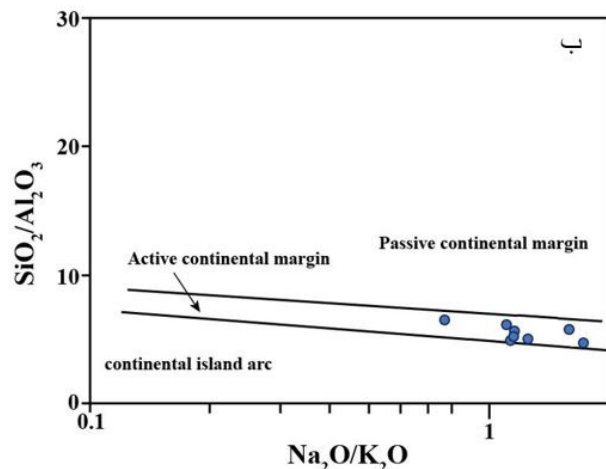
Fig. 14. The location of Upper Red Formation sandstones in the Qandi Bolagi area based on the geochemical separation diagrams of the sandstones. A- On the diagram of the ratio of $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ versus $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ (Pettijohn, 1987). B- On the diagram of the ratio of $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ versus $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ (Heron, 1988).

استفاده شده است، که در زیر به هریک از این نمودارها اشاره می‌شود. باتیا (۱۹۸۳) بر اساس دو متغیر تغییرات نسبی اکسیدهای اصلی در ماسه‌سنگ‌ها جهت تفکیک جایگاه زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی استفاده کرده است. در این تقسیم‌بندی، باتیا (۱۹۸۳) جایگاه زمین‌ساختی را به چهار جایگاه تکتونیکی اصلی جزایر کمانی اقیانوسی (OLA)، جزایر کمانی قاره‌ای (CIA)، حاشیه فعال قاره‌ای (ACM) و حاشیه قاره‌ای غیرفعال (PM) تقسیم کرده است. دیاگرام باتیا (۱۹۸۳) براساس درصد نسبت‌های عناصر $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ در مقابل $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ می‌باشد. براساس این دیاگرام، ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی بلاگی در

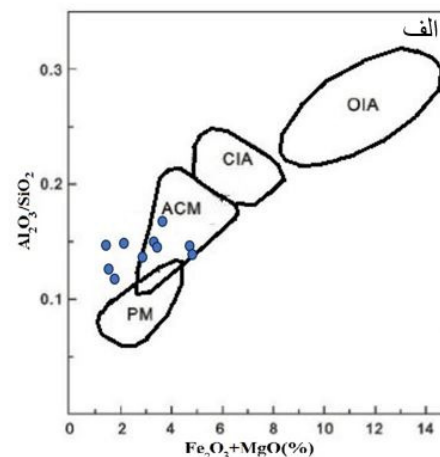
جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌ها براساس آنالیزهای شیمیایی

ترکیب ماسه‌سنگ‌ها توسط نوع سنگ منشأ، مسافت حمل و نقل و فرایندهای دیازنزی کنترل می‌شود، اما در این بین موقعیت زمین‌ساختی حوضه نیز در این امر تأثیرگذار است (کریلتی و همکاران، ۲۰۱۷). برخی از پژوهشگران نظیر باتیا (۱۹۸۳) و کرونینبرگ (۱۹۹۴) بر سودمندی استفاده از ترکیبات شیمیایی عناصر اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ برای به‌دست آوردن جایگاه زمین‌ساختی بر پایه بررسی‌های نموداری تأکید کرده‌اند. در این روش از نمودارهای مختلفی جهت شناخت جایگاه زمین‌ساختی

مشخص کرد. در دیاگرام نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در مقابل $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ (شکل ۱۵-ب)، تمامی نمونه‌های برداشت شده از ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده تکتونیکی مربوط به حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند.



داخل یا نزدیکی محدوده حاشیه فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۵-الف). با استفاده از نمودار روسر و کورش (۱۹۸۸) نیز می‌توان جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه را براساس نسبت اکسیدهای اصلی



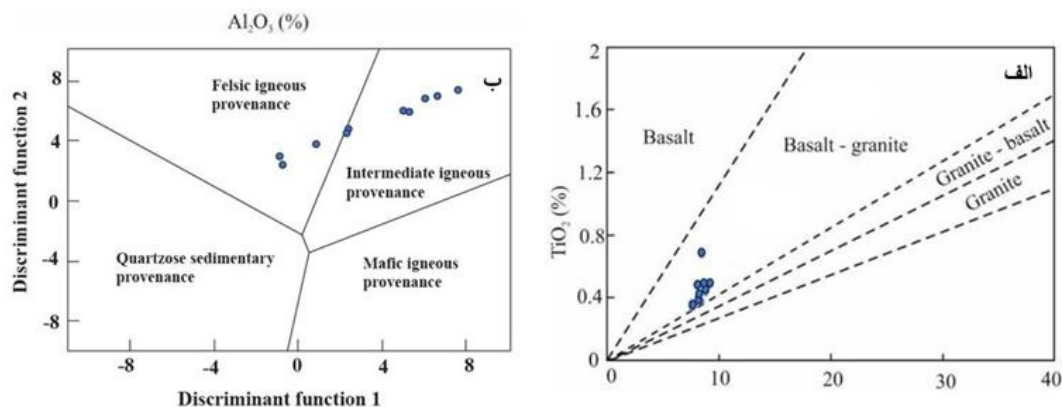
شکل ۱۵. الف- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی بر روی نمودار باتیا (۱۹۸۳). (ACM: حاشیه فعال قاره‌ای، CIA: جزایر کمان قاره‌ای، OIA: جزایر کمان اقیانوسی، PM: حاشیه غیرفعال قاره‌ای)، ب- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی بر روی نمودار روسر و کورش (۱۹۸۸).

Fig. 15. A- The tectonic setting of the sandstones of the Qandi Bolagi region on the diagram of Bhatia (1983). (ACM: active continental margin, CIA: continental arc islands, OIA: oceanic arc islands, PM: passive continental margin), B- tectonic setting of studied sandstones on the diagram of Roser and Korsch (1988).

می‌شوند (دیکینسون، ۱۹۸۵). براساس نسبت Al_2O_3 به TiO_2 در سنگ‌های آواری می‌توان برای تفسیر سنگ منشاء استفاده کرد (پایکاری و همکاران، ۲۰۰۸). براساس این دیاگرام ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی در محدوده بازالت-گرانیت قرار می‌گیرند (شکل ۱۶-الف). همچنین روسر و کورش (۱۹۸۸) جهت تفکیک رسوباتی که منشاء اولیه آن‌ها آذرین مافیک، حدواسط یا فلسیک و یا رسوبات کوارتزی می‌باشد، نموداری پیشنهاد کردند که در این آن اکسیدها به صورت خام در محاسبات مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل آن‌ها براساس تجزیه شیمیایی نمونه‌هایی است که در آن $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ و $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ و $\text{Fe}_2\text{O}_{3(t)}+\text{MgO}$ شاخص‌های بسیار با ارزشی جهت تعیین نوع سنگ منشاء هستند. نتایج حاصل از این دیاگرام بیانگر آن است که می‌توان سنگ منشاء ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی را آذرین فلیسک (اسیدی) تا حدواسط در نظر گرفت (شکل ۱۶-ب).

تعیین سنگ منشاء ماسه‌سنگ‌ها براساس آنالیزهای شیمیایی

امروزه استفاده از روش‌های زمین‌شیمیایی برای تعیین خاستگاه سنگ‌های رسوبی تاکید می‌شود (محمدیاسین و وودی، ۲۰۱۹؛ کاندمیر و همکاران، ۲۰۲۲؛ برزگر و همکاران، ۲۰۲۳). با مطالعه ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی سیلیسی-آواری می‌توان در مورد سنگ منشاء اطلاعات مفیدی به دست آورد (تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵؛ کولرز و پودکوویرو، ۲۰۰۲؛ لین و همکاران، ۲۰۱۹؛ احمد و همکاران، ۲۰۲۲). عناصر موجود در سنگ‌ها بیانگر شرایط با مطالعه ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی سیلیسی-آواری می‌توان در مورد سنگ منشاء اطلاعات مفیدی به دست آورد (کولرز و پودکوویرو، ۲۰۰۲). تشکیل آن‌ها از قبیل هوازدگی، حمل و نقل، ته‌نشست و دیاژنز است (پایکاری و همکاران، ۲۰۰۸). ماسه‌سنگ‌هایی که در مناطق کوهزایی با چرخه دوباره نهشته شده‌اند، از سپرهای رخنمون‌یافته، سکوها و سنگ‌های پی‌سنگی مشتق



شکل ۱۶. موقعیت ماسه‌سنگ‌های منطقه قندی‌بلاغی بر روی نمودارهای تعیین سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها. الف- نمودار نسبت Al_2O_3 به TiO_2 (پایکاری و همکاران، ۲۰۰۸)، ب- دیاگرام تابع تفکیکی روسر و کورش (۱۹۸۸).

Fig. 16. The position of the sandstones of the Qandi Bolagi region on the provenances diagrams of the sandstones. A- Al_2O_3 to TiO_2 ratio diagram (Paikari et al., 2008), B- Roser and Korsch discriminant function diagram (1988).

بخش‌های سیلیکاته سنگ و سیمان‌های دیاژنتیکی سنگ را نشان می‌دهد که می‌بایست با استفاده از نسبت‌های مولی بین CaO و دیگر اکسیدها این مقدار را تصحیح کرد. مقدار CIA رابطه مستقیمی با میزان دگرسانی شیمیایی دارد، به طوریکه میزان پایین CIA بیانگر حذف کاتیون‌های ناپایدار (Al^{3+} , Ti^{4+}) نسبت به اجزای باقیمانده پایدار (Ca , Na , K) در حین هوازگی می‌باشد (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). پایین بودن این مقدار بیانگر میزان پایین دگرسانی شیمیایی است. میزان هوازگی را می‌توان بر اساس دیاگرام سه‌تایی پایکاری و همکاران (۲۰۰۸)، متشکل از نسبت‌های مولی عناصر ($Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO$) مورد بررسی قرار داد. مقدار CIA برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی در حدود ۶۲ است، که بر اساس این نمودار می‌توان بیان نمود که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه تحت تأثیر هوازگی شیمیایی درجه متوسطی در شرایط آب و هوای نیمه خشک قرار داشته‌اند (شکل ۱۷-الف). در نمودار SiO_2 در مقابل $Al_2O_3 + Na_2O + K_2O$ (ساتر و دوتا، ۱۹۸۶)، نیز ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه آب و هوای خشک تا نیمه خشک را نشان دهند (شکل ۱۷-ب). به طور کلی و با در نظر گرفتن نتایج حاصل از این پژوهش و حضور میان‌لایه‌های گچی و دیگر واحدهای تبخیری در منطقه مورد مطالعه شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه خشک در منطقه قابل پیش‌بینی بوده و این رسوبات تحت تأثیر دگرسانی شیمیایی پایین قرار داشته‌اند.

در این نمودار تابع تفکیکی^۱ شماره‌های ۱ و ۲ به صورت زیر جهت استفاده در دیاگرام مورد استفاده قرار می‌گیرد. t : میزان اکسید آهن کل را نشان می‌دهد.

Discriminant Function 1: = $-1.733 TiO_2 + 0.607 Al_2O_3 + 0.76 Fe_2O_{3(t)} - 1.5 MgO + 0.616 CaO + 0.509 Na_2O - 1.224 K_2O - 9.09$

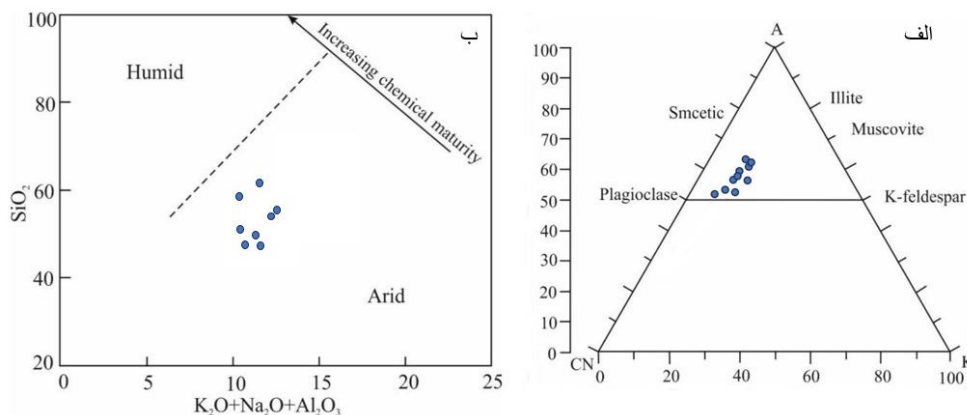
Discriminant Function 2: = $TiO_2 + 0.07 Al_2O_3 + 0.25 Fe_2O_{3(t)} - 1.142 MgO + 0.438 CaO + 1.475 Na_2O + 1.426 K_2O - 6.861$

تعیین هوازگی و آب و هوای سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها بر اساس آنالیزهای ژئوشیمیایی

از عوامل تأثیرگذار در ترکیب شیمیایی می‌توان به شدت هوازگی اشاره نمود. ترکیب شیمیایی سنگ‌های رسوبی به شکل پیچیده‌ای تحت تأثیر ماهیت سنگ‌های رسوبی، شدت و مقدار هوازگی، چرخه رسوبی دوباره، میزان جورشدگی و دیاژنز است (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۳؛ صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). به همین منظور در ارزیابی انواع خاستگاه رسوبات، اثرگذاری هوازگی و دیاژنز مورد بررسی قرار می‌گیرد. از شاخص‌های بررسی شدت هوازگی می‌توان به اندیس هوازگی شیمیایی^۲ (CIA) که از فرمول $CIA: [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + NaO + K_2O)] \cdot 100$ به دست می‌آید، اشاره نمود. در محاسبات این اندیس CaO^* کلسیم موجود در بخش‌های سیلیکاته سنگ مورد نظر می‌باشد در حالی که آنالیزهای شیمیایی مقدار CaO موجود در

² Chemical Index of Alteration

¹ Discriminant function



شکل ۱۷. الف- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در محدوده قندی بلاگی بر روی نمودار SiO_2 در مقابل $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (ساتنر و دوتا، ۱۹۸۶). ب- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در محدوده قندی بلاگی بر روی نمودار مثلثی A-CN-K (پایکاری و همکاران، ۲۰۰۸).
Fig. 17. A- The position of Upper Red Formation sandstones in the Qandi Bolagi area on the diagram of SiO_2 versus $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ (Suttner and Dutta, 1986). **B-** The position of the sandstones of the Upper Red Formation in the studied area on the A-CN-K triangular diagram (Paikaray et al., 2008).

بحث

بالآمدگی سریع نواحی منشأ و تراکم حجمی رسوبات میوسن میانی همراه بوده است. ثبت این تکامل توپوگرافیک در شرایط آب و هوایی خشک با توجه به نتایج مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی این پژوهش، نشان می‌دهد که تغییر در ترکیب رسوبات سازند قرمز بالایی به صورت عمده تحت تأثیر نوع سنگ منشأ و فعالیت‌های زمین‌ساختی بوده است و شرایط آب و هوایی نقش زیادی در تغییرات سنگ‌شناسی توالی‌های تخریبی سازند قرمز بالایی در منطقه زنجان نداشته است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای پتروگرافی و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی، حضور مقدار بالای خرده‌سنگ (به ویژه خرده‌سنگ رسوبی و دگرگونی) و کوارتزهای با خاموشی موجی و چندبلوری بیانگر منشأهای سیلیسی آواری ریز تا متوسط دانه، دگرگونی و کربناته مرتبط با جایگاه زمین‌ساختی برخوردی در زمان رسوب‌گذاری توالی‌های میوسن میانی تا بالایی در منطقه زنجان است. ترکیب به دست آمده برای سنگ‌های منشأ توالی مورد مطالعه و همچنین نتایج آنالیز برای جریان دیرینه (بالاتو و همکاران، ۲۰۱۷؛ قاسملوی‌تکانتپه و همکاران، ۲۰۲۳) نشان می‌دهد که این رسوبات عمدتاً از سنگ‌های کربناته سازند قم (میوسن زیرین) و کمپلکس دگرگونی تکاب (پرکامبرین) که در بخش‌های شمال غرب منطقه رخنمون دارند منشأ گرفته‌اند (شکل ۱). مطالعات انجام شده توسط (مقدم و همکاران، ۲۰۱۶) نشان می‌دهد که مجموعه دگرگونی تکاب به سن پرکامبرین قبل از نهشته شدن

توالی‌های رسوبی آواری میوسن میانی تا بالایی (متعلق به سازند قرمز بالایی) واحد لیتوستراتیگرافی اصلی پرکننده حوضه‌های رسوبی همزمان با برخورد در حوضه‌های رسوبی -تکتونیکی شمال غرب ایران (بویژه منطقه زنجان) را تشکیل می‌دهند (بالاتو و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات انجام شده بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در شمال و شمال غرب ایران، بیانگر رژیم‌های تکتونیکی و سنگ-منشأهای متنوع برای این توالی‌ها بوده است (هورتون و همکاران، ۲۰۰۸؛ بالاتو و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۲۰۱۷؛ قاسملوی‌تکانتپه و همکاران، ۲۰۲۳). داده‌های حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که پس از خاتمه ماگماتیسم کمانی در امتداد منطقه فروانش نئوتتیس در حدود ۳۶ میلیون سال پیش، یک تغییر رگرسیون زمین‌ساختی در منطقه رخ داده است. این رخداد بیانگر یک زون برخوردی در منطقه می‌باشد (بالاتو و همکاران، ۲۰۱۱). این تغییر شکل گسترده و افزایش توپوگرافی در نهایت سرعت فرسایش و بارهای رسوبی در حوضه فورلند را برای تشکیل سازند قرمز بالایی در میوسن میانی تسریع کرده است. نتایج به دست آمده از مطالعات ترموکرونولوژیکی نیز بیانگر فرسایش زمین‌ساختی سریع البرز در طی میوسن میانی است (گست و همکاران، ۲۰۰۶)، که با تغییر شرایط رسوب‌گذاری از کربنات‌های دریایی سازند قم (میوسن زیرین) به رسوبات تخریبی قاره‌ای سازند قرمز بالایی با

۸ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ است که به صورت متناوب با لایه‌های مارنی قرمز رنگ قرار گرفته‌اند. نتایج مطالعات سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های این سازند در بُرش مورد مطالعه نشان می‌دهد این واحدهای ماسه‌سنگی از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت هستند. به نظر می‌رسد که ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً تحت تأثیر سنگ منشأ قرار داشته و چرخه‌های رسوبی تأثیر چندانی در ترکیب آن‌ها نداشته است. بر اساس نتایج مطالعات زمین‌شیمیایی، سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه قندی‌بلاغی از نوع آذرین فلیسک تا حدواسط است. با توجه به نسبت‌های مختلف بین عناصر اصلی و ذرات آوارای، جایگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها، حاشیه فعال قاره‌ای و حوضه‌های فورلندی است. نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی و وجود شواهدی نظیر بلوغ شیمیایی پایین، گنبد‌های نمکی و واحدهای تبخیری بیانگر این است که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در هنگام نهشته شدن تحت تأثیر آب و هوای نیمه خشک و هوازدگی شیمیایی درجه متوسط قرار داشته‌اند.

References

- Abbassi, N., Khoshyar, M., Lucas, S. G., & Esmaeili, F (2021) Extensive vertebrate tracksite from the Upper Red Formation (middle-late Miocene), west Zanjan, northwestern Iran. *Fossil Record*, 24: 101-116. doi.org/10.5194/fr-24-101-2021, 2021.
- Abbassi, N., Shakeri, S., & Rabbani, J (2024) Miocene Proboscidean footprints from the Upper Red Formation, Avaj area, Central Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 34: 19-34 (In Persian with English abstract). doi.org/10.22071/gsj.2023.404716.2096.
- Aghanabati, A (2004) *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, 586 p (in Persian).
- Ahmad, F., Amir, M., Quasim, M. A., Absar, N., Hasnat, A., & Masood Ahmad, A. H (2022) Petrography and geochemistry of the Middle Jurassic Fort Member Sandstone, Jaisalmer Formation, Western India: Implications for weathering, provenance, and tectonic setting. *Geological Journal*, 57: 1741-1758. doi.org/10.1002/gj.4372.
- Ahmadi-Ghomi, F., Rafiei, B., & Sadr, A. H (2018) Revision of the Miocene Upper Red Formation in the Avaj-Abegarm area, west of Iran. *Applied Sedimentology*, 6(12): 40-61 (In Persian with English abstract). 10.22084/psj.2018.2925.
- Alavi, M., & Amidi, M (1976) Geological map of Takab with 1:250000 scale. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

سازند قرمز بالایی و از ۲۷ میلیون سال پیش در منطقه مورد مطالعه رخنمون یافته است. واحد دگرگونی تکاب تحت تأثیر گسلش و چین‌خوردگی به صورت فعال در حال بالا آمدن است و به نظر می‌رسد تغییر شکل در واحدهای سنوزوئیک منطقه (نظیر سازند قرمز بالایی) به دنبال تکامل واحدهای زیرین آن باشد (بیرالوند و همکاران، ۲۰۲۳). نتیجه این پژوهش به وضوح بیان می‌کند که سنگ منشأهای توالی تخریبی سازند قرمز بالایی در تمامی بخش‌های حوضه رسوبی البرز یکسان نبوده و در بخش‌های مرکزی و شرقی این حوضه با نواحی مورد مطالعه در این پژوهش (البرز غربی) کاملاً متفاوت است. به طوریکه در بخش‌های مرکزی و شرقی حوضه رسوبی البرز سنگ‌های ولکانیکی ائوسن (سازند کرج) و فرسایش زمین‌ساختی کوه‌های البرز در طی میوسن آغازین واقع در بخش‌های شمالی منطقه نقش عمده‌ای در تأمین رسوبات سازند قرمز بالایی ایفا نموده است (امینی، ۲۰۰۲؛ هورتون و همکاران، ۲۰۰۸؛ رضایی و همکاران، ۲۰۱۵)، در حالی که نبود خرده‌سنگ‌های آتشفشانی متعلق به سازند کرج در توالی مورد مطالعه از سازند قرمز بالایی در این پژوهش بیانگر نشأت گرفتن رسوبات عمدتاً از توالی‌های دگرگونی و کربناته واقع در بخش‌های شمال غربی منطقه است (شکل ۱). مطالعات صورت گرفته توسط بالاتو و همکاران (۲۰۱۱) و (۲۰۱۷)، حقیقی و همکاران (۲۰۱۹) و قاسملو و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان می‌دهد که این منطقه (زنجان) هنگام برخورد صفحه عربستان با صفحه اورسیا در جایگاه فورلندی قرار داشته است. این برخورد موجب تسریع در بالا آمدن حوضه‌های کم عمق دریایی و سبب افزایش سرعت تجمع رسوبات و روند ناپایداری فرسایش شده است. در نتیجه فرسایش کمپلکس تکاب و کربنات‌های میوسن زیرین که در بخش‌های شمال غرب منطقه رخنمون قابل توجهی دارند رسوبات تخریبی فراوانی با ضخامت قابل توجهی ایجاد کرده است تا سازند قرمز بالایی با ترکیب سنگ‌شناسی مارن با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی را تشکیل دهد.

نتیجه‌گیری

سازند قرمز بالایی در بُرش قندی‌بلاغی در حدود ۲۳۵۴ متر ستبرا داشته، که بر اساس ترکیب سنگ‌شناسی به ۵ مختلف بخش تقسیم می‌گردد. بخش سوم این سازند دارای

- Amini, A (1997) Provenance and Depositional Environment of the Upper Red Formation, Central Zone Iran. Ph. D. thesis, Manchester University, 320 p.
- Amini, A (2002) Sandstone petrofacies expressions of source and tectonic controls on sedimentation in a back-arc basin, Central Zone, Iran. *Iranian International Journal of science*, 3: 43-67.
- Baghbanan, O., Jafari-Rad, A., Sheikhzakariaee, S. J., & Nezafati, N (2022) Geology, geochemistry, and genesis of Gheshlagh Cu deposit, Tarom-Hashtjin zone, Zanjan, northwestern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (44), doi.org/10.1007/s12517-021-08740-6.
- Ballato, P., Cifelli, F., Heidarzadeh, G., Ghassemi, M. R., Wickert, A. D., Hassanzadeh, J., Dupont-Nivet, G., Balling, P., Sudo, M., Zeilinger, G., Schmitt, A. K., Mattei, M., & Strecker, M. R (2017) Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: insights from middle-late Miocene foreland-basin deposits. *Basin Research*, 29: 417-446. doi.org/10.1111/bre.12180.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Friedrich, A., & Tabatabaei, S. H (2008) Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran. *Tectonics*, 27 (6): 1-20. doi.org/10.1029/2008TC002278.
- Ballato, P., Uba, C. E., Landgraf, A., Strecker, M. R., Sudo, M., Stockli, D. F., Friedrich, A., & Tabatabaei, S. H (2011) Arabia-Eurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 123: 106-131. doi.org/10.1130/B30091.1.
- Barzegar, M., Jafarzadeh, M., Najafzadeh, A., Khaleghi, F., & Mahari, R (2023) Petrography and geochemistry of Doroud formation sandstones in the Zal section, Eastern Azarbaijan: implication on provenance, tectonic setting and paleoweathering. *Applied Sedimentology*, 11(21): 62-78 (In Persian with English abstract).
- Bassis, A., Hinderer, M., & Meinhold, G (2016) New insights into the provenance of Saudi Arabian Palaeozoic sandstones from heavy mineral analysis and single-grain geochemistry. *Sedimentary Geology*, 333: 100-114. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.12.009.
- Bhatia, M. R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 91(6): 611-726. doi.org/10.1086/628815.
- Biralvand, M., Ballato, P., Balestrieri, M. L., Mohajjel, M., Sobel, E. R., Dunkl, I., Montegrossi, G., Ghassemi, M. R., Glodny, J., & Strecker, M. R (2023) Low-Temperature Thermochronologic Response to Magmatic Reheating: Insights From the Takab Metallogenic District of NW Iran, (Arabia-Eurasia Collision Zone). *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 24(1), doi.org/10.1029/2022GC010561.
- Critelli, S., Muto, F., Perri, F., & Tripodi, V (2017) Interpreting provenance relations from sandstone detrital modes, southern Italy foreland region: Stratigraphic record of the Miocene tectonic evolution. *Marine and Petroleum Geology*, 87: 47-59. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.01.026.
- Cullers, R. L., & Podkovyrov, V. N (2002) The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia. *Precambrian Research*, 117: 157-183. doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00079-7.
- Dickinson, W. R (1985) Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstone. In: Zuffa, G.G., (Eds.), *Provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company, 407: 333-363. doi.org/10.1007/978-94-017-2809-6_15.
- Dozy, J. J (1955) A sketch of post-Cretaceous volcanism in central Iran. *Leidsche Geologische Mededelingen*, 20(1): 48-57.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphill, 159 p.
- Frisch, W., Meschede, M., & Blakey, R. C (2022) *Plate Tectonics, Continental Drift and Mountain Building*. Springer International Publishing, Second Edition, 245 p. doi.org/10.1007/978-3-030-88999-9.
- Gansser, A (1955) New aspects of the geology in Central Iran. In: *Proceedings of the 4th World Petroleum Congress, Rome, Section I/A/5*, 279-300.
- Garzanti, E (2019) Petrographic classification of sand and sandstone. *Earth-Science Reviews*, 192: 545-563.
- Garzanti, E., He, J., Barbarano, M., Resentini, A., Li, C., Yang, L., Yang, S., & Wang, H (2021) Provenance versus weathering control on sediment composition in tropical monsoonal climate (South China) - 2. Sand petrology and heavy minerals. *Chemical Geology*, 564: 119997.
- Ghasemlooytakantapeh, S., Zohdi, A., & Lakirouhani, A (2023) Petrography and geochemistry of the Miocene Upper Red Formation sandstones in NW Iran; with an application to the origin and tectonic setting. *Marine and Petroleum Geology*, 153: 106275. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106275.
- Ghasemlou, A (2018) Geology, geochemistry and genesis of sediment-hosted Hamzelou Cu mineralization (NE Mahneshan). Msc thesis, University of Zanjan, 133 p.

- Ghasemlou, A., Zohdi, A., Kouhestani, H., & Mokhtari, M. A. A (2020) Lithostratigraphy, petrography and trace elements geochemistry of the middle part sandstone of the Upper Red Formation in the Hamzelou region (NW Zanjan). *Applied Sedimentology*, 15(15): 65-78 (In Persian with English abstract). 10.22084/psj.2020.19230.1206.
- Ghobadi, M. H., Rafiei, B., Heydari, M., Mousavi, S., & Sfandari, M (2014) The geochemistry and provenance of Aghajari sandstones in Khouzestan province. *Applied Sedimentology*, 2(3), 48-61 (In Persian with English abstract).
- Ghorbani, M (2019) *Lithostratigraphy of Iran*. 296 p. Springer.
- Ghorbani, M (2021) *The Geology of Iran: Tectonic, Magmatism and Metamorphism*, 441 p. Springer. doi.org/10.1007/978-3-030-71109-2.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S., & Hassanzadeh, J (2006) Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere*, 2: 35-52. doi.org/10.1130/GES00019.1.
- Haghighi, A., Nabatian, G., Kouhestani, H., Azimzadeh, A. M., Zohdi, A (2019) Mineralization, Mineralogy, Structure, Texture and Genesis of Ortasu Pb-Zn Deposit, NW Zanjan. *Journal of Economic Geology*, 11(3): 359-386 (In Persian with English abstract). 10.22067/econg.v11i3.68921.
- Herron, M. M (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58(5): 820-829. doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G. J., Gillis, R. J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M. D., Zamanzadeh, S. M., & Grove, M (2008) Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics*, 451: 97-122. doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.063.
- Hou, Q., Mou, C., Han, Z., Wang, Q., Tan, Z., & Ge, X (2019) Petrography and geochemistry of the Lower Silurian sandstones from the Angzangou Formation in the North Qilian Belt, China: implications for provenance, weathering and tectonic setting. *Geological Magazine*, 157: 477-496.
- Ingersoll, R. V., & Suczek, C. A (1979) Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar and Bengal fans, DSDP sites 211 and 218. *Journal of Sedimentary Research*, 49(4): 1217-1228. doi.org/10.1306/212F78F1-2B24-11D7-8648000102C1865D.
- Ingersoll, R. V., Bulard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., & Sares, S. W (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of Gazzi-Dickinson point counting method. *Journal of sedimentary Petrology*, 54: 103-116.
- Jafarzadeh, M., Shoghani-Motlagh, M., Mousivand, F., Criniti, S., & Critelli, S (2022) Compositional and Geochemical Signatures of Oligocene volcanoclastic sandstones of Abbasabad-Kahak area, NE Iran: Implications for provenance relations and paleogeography. *Marine and Petroleum Geology*, 139: 105605. doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105605.
- Kandemir, R., Özyurt, M., & Karsli, O (2022) Sedimentological and geochemical characteristics of Lower Jurassic Sandstones from Gümüşhane, NE Turkey: implications for source to sink processes, paleoenvironmental conditions, provenance and tectonic settings. *International Geology Review*, 64: 1719-1742. doi.org/10.1080/00206814.2021.1958383.
- Kroonenberg, S. B (1994) Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part A*, 69-18.
- Lasemi, Y (1991) Depositional environment of the Upper Red Formation in the east of Tehran. The 9th National Geosciences Congress, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian with English abstract).
- Lin, N. H., Guo, Y., Wai, S. N., Tamehe, L. S., Wu, Z., Naing, N. M., & Zhang, J (2019) Sedimentology and geochemistry of Middle Eocene-Lower Oligocene sandstones from the western Salin Sub-Basin, the Central Myanmar Basin: Implications for provenance, source area weathering, paleo-oxidation and paleo-tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 173: 314-335. doi.org/10.1016/j.jseas.2019.01.030.
- Loftus, W. K (1855) On geology of portions of the Turco-Persian frontier and of the districts adjoining. *Quarterly journal of the Geological Society of London*, 11(1): 247-245. doi.org/10.1144/GSL.JGS.1855.011.01-02.33.
- Mahari, R (1997) Facies and sedimentary environment of Upper Red Formation in the northwest of the country. Ph.D. thesis, Islamic Azad University Science and Research Branch (In Persian with English abstract).
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., & Hanson, G. N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A., (Eds.), *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Special Paper-geological Society of America, 284: 21-40.
- Moghadam, H. S., Li, X. H., Stern, R. J., Ghorbani, G., & Bakhshizad, F (2016) Zircon U-Pb ages and Hf-O isotopic composition of migmatites from the Zanjan-Takab complex, NW Iran: Constraints on partial melting of metasediments.

- Lithos, 240-243: 34-48. doi.org/10.1016/j.lithos.2015.11.004.
- Mohammedyasin, M. S., & Wudie, G (2019) Provenance of the Cretaceous Debre Libanos Sandstone in the Blue Nile Basin, Ethiopia: Evidence from petrography and geochemistry. Sedimentary Geology, 379: 46-59. doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.10.008.
- Morley, C. K., Kongwung, B., Waples, D., Warren, J., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., & Kazemi, H. (2008) Impact of structural history and style on the petroleum system of the Central Basin in the Saveh-Qom area, Iran, in Proceedings GEO 2008, European Association of Geoscientists & Engineers, 246-248. doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.246.251.
- Nasiri, Y., Zirjanizadeh, S., Forouzandeh, S. K., Taghdisi-Nikbakht, S., & Sedaghatnia, M (2020) Petrography and geochemistry of sandstones of the Padeha Formation in Aso section; Lut block, eastern central Iran, implication for provenance analysis. Applied Sedimentology, 8(16): 122-138 (In Persian with English abstract).
- Nesbitt, H. W., & Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites. Nature, 299: 715-717. doi.org/10.1038/299715a0.
- Paikaray, S., Banerjee, S., & Mukherji, S (2008) Geochemistry of shales from the Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and paleoweathering. Journal of Asian Earth Sciences, 32(1): 34-48. doi.org/10.1016/j.jseae.2007.10.002.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R (1987) Sand and Sandstone, 2nd Edition, Springer, New York. 553 p.
- Pourdivanbeigi-Moghaddama, S., Salehi, M.A., Jafarzadeh, M., & Zohdi, A (2020) Provenance, palaeoweathering and tectonic setting of the Ediacaran Bayandor Formation in NW Iran: implications for the northern Gondwana continental margin during the late Neoproterozoic. Journal of African Earth Sciences, 161: 103670. doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103670.
- Rajabzadeh, A., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A., & Zohdi, A (2019) Stratigraphy, sedimentary facies and tectonic setting of sandstones of the middle part of the Upper Red Formation at Chehrabad deposit section, northwest of Zanjan. Sedimentary Facies, 12(1): 75-90 (In Persian with English abstract). 10.22067/sed.facies.v12i1.67349.
- Rajabzadeh, A., Kouhestani, H., Mokhtari, M. A., & Zohdi, A (2020) Petrography and geochemistry of major and trace elements of the Upper Red Formation at Chehrabad Pb-Zn deposit, northwest of Zanjan, implication for provenance and tectonic setting. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 29: 49-60 (In Persian with English abstract). doi.org/10.22071/gsj.2018.99539.1271.
- Rajak, P. K., Prabhakar, N., & Banerjee, S (2024) Tracing source and palaeo-weathering conditions of quartzose sandstone in the Cretaceous Cambay Basin: A combined petrographical, geochemical and geochronological approach. Geological Journal, 59: 762-783. doi.org/10.1002/gj.4891.
- Rezaei, K., & Foroughi-Shadbad, S (2018) S Petrography and geochemistry of Miocene red clastic sediments in Taleqan area, northwest of Karaj. Sedimentary Facies, 11(1): 69-90 (In Persian with English abstract). 10.22067/sed.facies.v11i1.59092.
- Rezaei, K., Foroughi-Shadbad, S., & Asadi, A (2015) Petrography and geochemistry of sandstone of upper Red Formation in Hasan-Abad area-SW Tehran. Applied Sedimentology, 3(6): 43-56 (In Persian with English abstract).
- Roser, B. P., & Korsch, R. J (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. Chemical geology, 67 (1-2): 119-139. doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1.
- Sadati, S. N., Yazdi, M., Mao, J., Behzadi, M., Adabi, M. H., Lingang, X., Zhenyu, C., & Mokhtari, M. A. A (2016) Sulfide mineral chemistry investigation of sediment-hosted stratiform copper deposits, Nahand-Ivand area, NW Iran. Ore Geology Reviews, 72: 760-776. doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.09.018.
- Saki, A (2018) Evidences for formation of the Precambrian crust in the Takab complex, northwest Iran (review). Petrological Journal, 9(2): 163-182 (In Persian with English abstract). 10.22108/ijp.2018.107439.1060.
- Salehi, M. A., Sebdani, Z. M., Pakzad, H. R., Bahrami, A., Fürsich, F. T., & Heubeck, C. (2018) Provenance and palaeogeography of uppermost Triassic and Lower Cretaceous terrigenous rocks of central Iran: Reflection of the Cimmerian events. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen, 288: 49-77. doi: 10.1127/njgpa/2018/0723.
- Sarbaz, N., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Khanehbad, M., & Mahanipour, A (2016) Provenance and tectonic setting of Kashafrud Formation in the Navia section (Western Bojnourd), based on petrography and geochemistry studies of sandstones. Applied Sedimentology, 4(8): 89-102 (In Persian with English abstract). 10.22084/psj.2016.1826.

- Shahidi, A., & Baharfirooz, K (2001) Geological map of Halab with 1:100000 scale. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Sharafi, M., Moussavi-Harami, R, Mahboubi, A., & Jafarzadeh, M (2018) Petrography and Geochemistry of the sandstones of the Jeirud Formation in the Central Alborz: Application for Provenance and Tectonic setting. *Applied Sedimentology*, 6(12): 1-24 (In Persian with English abstract). 10.22084/psj.2018.14126.1151.
- Stahl, A. F (1911) Persian, *Handbuch der Regionalen Geologie*, 5(6): 1-46.
- Stocklin, J., & Eftekharneshad, J (1969) Geological map of Zanjan with 1:250000 scale. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Suttner, L. J., & Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3): 329-345.
- Suttner, L. J., Basu, A., & Mack, G. H (1981) Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Research*, 51(4): 1235-1246. doi.org/10.1306/212F7E73-2B24-11D7-8648000102C1865D.
- Tawfik, H. A., Salah, M. K., Maejima, W., Armstrong-Altrin, J. S., Abdel-Hameed, A. T., & El Ghandour, M. M (2017) Petrography and geochemistry of the Lower Miocene Moghra sandstones, Qattara Depression, north Western Desert, Egypt. *Geological Journal*, 53: 1938-1953. doi.org/10.1002/gj.3025.
- Taylor, S. R., & McLennan, S. M (1985) The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 p. doi:10.1017/S0016756800032167.
- Tobia, F. H., & Aswad, K. J (2015) Petrography and geochemistry of Jurassic sandstones, Western Desert, Iraq: implications on provenance and tectonic setting. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 2771-2784. doi.org/10.1007/s12517-014-1392-0.
- Weltje, G. J (2006) Ternary sandstone composition and provenance: an evaluation of the Dickinson model. In: Bucciatti A. Mateu-Figueras G. and Pawlowsky-Glahn V. (Eds.), *Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice*. Geological Society of London Special Publications, 264: 79-99. doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.264.01.07.
- Zaheri, M., Rafiei, B., & Alipoor, R (2021) Petrography and geochemistry of the Neogene continental redbeds in the Eshtehard area, Alborz Province, Iran: insights into tectonic setting, provenance and paleoclimate. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(18): 1946. doi.org/10.1007/s12517-021-08236-3.

Stratigraphy, provenance and tectonic setting of Qandi Bolagi sandstone in the middle part of the Upper Red Formation (SW Zanjan)

M. Abbasi ¹, A. Zohdi ^{2*}, H. Kouhestani ², M. A. A. Mokhtari ² and A. Salsani ³

1- M. Sc. student, Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Managing director of Simin Madan Alborz Company, Zanjan, Iran

* afshin.zohdi@znu.ac.ir

Received: 2024.8.14 Accepted: 2024.10.29

Abstract

The Qandi Bolagi area, where the Upper Red Formation has a significant expansion, is located in the northwest of Zanjan province, and in the Central Iranian zone. The Upper Red Formation (URF) in this area with 2354 meters thickness mainly divided into two parts. The lowermost parts of the URF consist of colorful marl and separated from the Qom Formation by a gypsum layer. The upper parts include red and green marls with alternating layers of red to greenish-gray sandstone and conglomerate. Petrographic studies of the sandstones in the Qandi Bolag region, which hosts Pb-Zn mineralization, indicate the presence of quartz particles (mainly undulose extinction) with an abundance of about 24%, feldspar (mainly orthoclase) with an abundance of 12%, and metamorphic and sedimentary pebbles with an abundance of 28%. According to Folk's classification, it can be stated that the studied sandstones are mainly fine- to medium-grained immature calcareous feldspathic litharenite to litharenite. The obtained data consider the source rock of these sandstones in a semi-arid climate and from intermediate to felsic rocks, which are mainly derived from carbonate rocks belonging to the Qom Formation, fine to medium-grained siliciclastic rocks, metamorphic rocks, cherts and intermediate to felsic igneous rocks exposed in the area (belonging to the Takab complex). Based on common triangular diagrams, the tectonic position of these sandstones is considered the active continental margin and the foreland basin.

Keywords: Geochemistry, Foreland basin, Miocene, Takab complex, Zanjan

Introduction

The studied area is located in the northwestern part of Iran (Central Iran Zone), which was located in the active margin of the continental collision zone between the Eurasian and Arabian plates during the Cenozoic period, therefore, it has undergone significant changes. The result of these changes is the formation of diverse sediments with significant thickness like the Upper Red Formation (Ballato et al., 2008), which is considered as a suitable cap rock in Sarajeh and Alborz gas fields due to the presence of layers of evaporite and marl rocks. The sandstone parts of this formation also host numerous sedimentary deposits such as copper, lead and zinc in many areas of northwestern Iran, especially in Zanjan. Therefore, it is important to study the stratigraphic and petrographic sequence of this formation in the Central Iran Zone, and the study of these sandstone units provides valuable information about the conditions of the geodynamic characteristics of the region.

Material and Methods

To outline the provenance and tectonic setting of the clastic sequences of the Upper Red Formation (Miocene) in the Zanjan region, a suitable stratigraphic outcrop of this formation in the Qandi Bolagi region, which hosts lead and zinc mineralization, in terms of stratigraphy, sedimentology and geochemical studies have been considered. First, available information from the study area such as satellite images and geological maps such as the 1:100,000 geological map of Halab (Shahidi and Baharfiroozi, 2001), related reports and paper were reviewed. More than 30 samples were taken from the sandstone units, and 12 microscopic thin sections were selected for point counting. Next, in order to determine the provenance, tectonic position and paleoclimate of the area of formation of Upper Red Formation sandstones, 10 samples of sandstones with the lowest amount of weathering and calcium carbonate were selected and sent to the laboratory of Zarazma

Company in Tehran to measure the main oxides by XRF method.

Discussion of Results & Conclusions

The deposits of the Qandi Bolagi area mainly belong to the Eocene to Quaternary sequences, which include sandstones, shales and tuffs of the Eocene, clastic rocks of the Lower Red Formation (Oligocene), carbonate rocks of the Qom Formation (Lower Miocene) and finally, the clastic-evaporitic rocks of the Upper Red Formation belong to the Middle to Upper Miocene. In addition to this sedimentary sequence, the Precambrian rocks belonging to the Takab complex in northwestern Iran have a significant outcrop and include a variety of igneous and metamorphic rocks including schists, gneisses, amphibolite, and granitoids along with fine to medium sedimentary rocks. The Upper Red Formation with 2354 meters thickness consist of five different parts (mainly red and green marl with interlayers of sandstone). The sandstones of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi area are grey to red, and their constituent particles are mainly between 0.07 and 0.3 mm with medium sorting and angular to semi-angular roundness. According to the constituent grains and the classification of sandstones according to Folk (1980), the sandstones of the Upper Red Formation in Qandi Bolagi region are considered as a feldspathic litharenite and litharenite. The data obtained from the

petrographic and geochemical analyzes of the major elements, the presence of a high amount of rock fragments (especially sedimentary and metamorphic rock fragments) and polycrystalline quartz with undulose extinction indicate fine- to medium grain siliciclastic, metamorphic and carbonate source rocks for the studied sandstone. The sandstone of the Upper Red Formation is related to the collisional tectonic setting (foreland basin) during the Middle to Upper Miocene in Zanzan region. The composition obtained for the source rocks of the studied sandstones as well as the results of paleocurrent analysis (Ballato et al., 2017; Ghasemlooytakantapeh et al., 2023) show that these sediments are mainly originated from carbonate rocks of the Qom Formation (Lower Miocene) and Takab Metamorphism complex (Precambrian) in the northwestern parts of the studied region (Halab). The result of this research clearly states that the source rocks of the Upper Red Formation is not the same in all parts of the Iran and in the central and eastern parts of Alborz sedimentary basin is completely different from the studied area (SW Zanzan). As, in the central and eastern parts of the Alborz sedimentary basin, the Eocene volcanic rocks (Karaj Formation) and the tectonic erosion of the Alborz Mountains during the early Miocene, played a major source in the formation of the Upper Red Formation.