

چینه نگاری، رخساره‌های رسوبی و جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهر آباد، شمال باختر زنجان

علی رجب‌زاده^۱، حسین کوهستانی^۲، میرعلی اصغر مختاری^۳، افشین زهدی^۳

۱- کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

*پست الکترونیک: afshin.zohdi@znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۹

چکیده

منطقه چهرآباد در شمال خاور ماه‌نشان و در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال باختر زنجان قرار دارد. واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه متعلق به سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی می‌باشند. سازند قرمز بالایی در این منطقه ۹۸۰ متر ستبراً داشته و از ۳ بخش اصلی تشکیل شده است. این بخش‌ها به ترتیب شامل واحدهای تبخیری با ستبرای ۲۳۵ متر در پایین، تناوبی از گل سنگ و ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا قرمز رنگ با ستبرای ۵۹۰ متر در بخش میانی و افق‌هایی از گل سنگ‌های سبز با میان‌لایه‌های ژیبس با ۱۵۵ متر ستبراً در بخش بالایی می‌باشد. توالی انتخاب شده جهت مطالعات چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی مربوط به بخشی از قسمت دوم سازند قرمز بالایی با ۲۳۱ متر ستبراً می‌باشد. این توالی شامل هفت لایه ماسه‌سنگ خاکستری و قرمز رنگ است که به صورت متناوب با واحدهای گل سنگی قرمز رنگ قرار گرفته‌اند. بر پایه مطالعات پتروگرافی، این ماسه‌سنگ‌ها به طور میانگین حاوی ۲۱٪ کوارتز، ۱۰٪ فلدسپات و ۲۵٪ خردسنگ بوده و از نوع فلدسپاتیک لیت آرنایت و لیت آرنایت می‌باشند. بر اساس شواهدی نظیر چینه‌بندی متقاطع، حضور آثار گیاهی، نبود رسوبات گراولی، ریپل مارک‌های متقارن و آثار موجودات حفار و شناسایی ۷ رخساره ماسه‌سنگی - گل سنگی (St و Sp، Sr، Sh، Sm، Fm، Fl) در منطقه چهرآباد می‌توان بیان داشت که محیط رسوبی این واحدهای سنگی، رودخانه‌های مئاندری ماسه‌ای با پیچش زیاد نزدیک به محیط ساحل می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز مودال و بررسی نسبت بین کوارتزها، خردسنگ‌ها و فلدسپات‌ها، موقعیت تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها حاشیه‌های فعال قاره‌ای و بر پایه اطلاعات ژئوشیمیایی و نسبت‌های SiO_2/Al_2O_3 در مقابل K_2O/Na_2O ، حاشیه‌های فعال قاره‌ای و حوضه‌های فورلندی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رخساره‌های رسوبی؛ جایگاه تکتونیکی؛ ماسه‌سنگ؛ سازند قرمز بالایی؛ چهرآباد؛ زنجان.

مقدمه

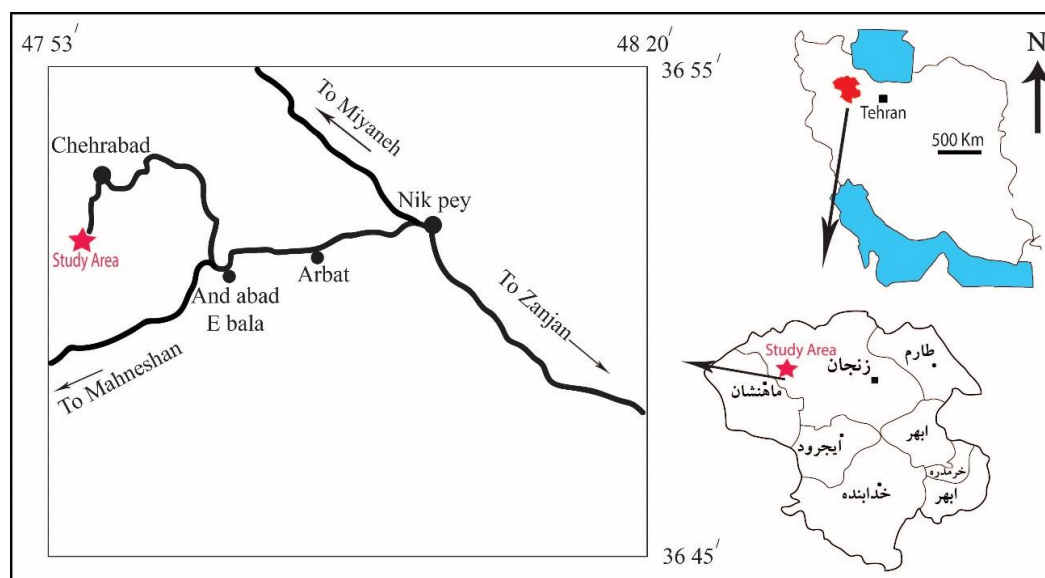
رسوبی دارای اختصاصات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌شناختی مخصوص به خود است و با محیط‌های اطراف خود تفاوت دارد (موسوی حرمی، ۱۳۹۱). اطلاعاتی نظیر ویژگی‌های بافتی و ساختی و دیگر شواهد

سنگ‌های رسوبی آواری، به‌ویژه ماسه‌سنگ‌ها اطلاعات با ارزشی در مورد محیط رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه می‌کنند (Rieser et al., 2005). این سنگ‌ها در محیط‌های رسوبی متفاوتی تشکیل می‌شوند. هر محیط

تعیین جایگاه زمین ساختی حوضه‌های رسوب گذاری آواری نیز استفاده می‌شود (Bhatia & Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1990; Roser & Korsch, 1988). سازند قرمز بالایی به‌عنوان تنها پوش سنگ سیستم‌های مخزنی حوضه ایران مرکزی، در میدان‌های گازی سراج و البرز می‌باشد (برای مثال Morley *et al.*, 2008). این سازند گسترش قابل توجهی در منطقه شمال باختری ایران داشته و میزبان کانسارهای مس و سرب - روی رسوبی متعددی می‌باشد (برای مثال: Sadati *et al.*, 2016).

در این پژوهش سنگ‌شناسی و چینه‌نگاری، محیط رسوبی و جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهارآباد بحث شده است. این منطقه در شمال خاور ماه‌نشان و در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال باختر زنجان با مختصات $36^{\circ} 50' 20''$ عرض شمالی و $47^{\circ} 52' 08''$ طول خاوری واقع شده است (شکل ۱).

صحرائی توسط Miall (2000, 1996) تحت عنوان رخساره‌های سنگی معرفی شده است که یکی از ابزارهای مفید در تفسیر محیط‌های رسوبی سیلیسی آواری محسوب می‌گردد. این رخساره‌های سنگی که ناشی از تغییرات رژیم جریان و یا در مقیاس بزرگ‌تر تغییرات در محیط رسوبی می‌باشند، در شرایط مختلف رسوبی نهشته می‌شوند (Miall, 2006; Kumar *et al.*, 2007). لذا شناخت رخساره‌های سنگی به تفسیر فرآیندهای هم‌زمان با رسوب گذاری کمک می‌کند (Catuneanu, 2003). همچنین برای بازسازی محیط رسوبی دیرینه می‌توان از این رخساره‌ها بهره بُرد (Catuneanu, 2006). بررسی‌های سنگ‌نگاری و تحلیل رخساره‌ای به منظور تعیین مدل رسوبی سنگ‌های سیلیسی آواری و بررسی جایگاه تکتونیکی این رسوبات نیز مورد توجه قرار گرفته است. امروزه علاوه بر روش‌های پیشین که بر مبنای داده‌های تجزیه مودال ارائه شده‌اند، از داده‌های ژئوشیمیایی برای



شکل ۱: راه‌های دسترسی، به محدوده مورد مطالعه که با علامت ستاره مشخص شده است.

انجام شده است. ابتدا بر اساس نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ ماه‌نشان (لطفی، ۱۳۸۰) و تصاویر ماهواره‌ای، بُرش مناسبی از بخش دارای لایه‌های ماسه‌سنگی از سازند

روش مطالعه

این پژوهش بر پایه مجموعه داده‌های حاصل از سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی، رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی

جدول ۱: علائم اختصاری استفاده شده در جدول‌ها و شکل‌های این نوشتار (برگرفته از Dickinson, 1985 و Whitney & Evans, 2010)

Qm non	Non- undulouse monocrycrystalline quartz
Qm un	Undulouse monocrycrystalline quartz
Qp	Polycrystalline quartz
Qp>3	Qp>3 crystal units per grain
Qp 2- 3	Qp 2- 3 crystal units per grain
Cht	Chert
Qt	Total Quartz grains (Qm + Qp)
Q	Total (Qm non + Qm un) and Qpq used for Folk (1980) classification (Qm + Qp)
Pl	Plagioclase
Or	Potassium feldspar (Orthoclase)
F	Total feldspar grains (Pl+ Or)
Lv	Volcanic- metavolcanic rock fragments
Ls	Sedimentary rock fragments
LLs	Carbonate (reworked fossils and limeclasts include mudstone) rock fragments
Lm	Metamorphosis rock fragments
Lt	Total siliciclastic lithic fragments
Lsm	Metasedimentray
Lvm	Metavolcanic
RF	Total unstable rock fragments and chert used for Folk (1980) classification
Gt	Groundmass
M	Matrix
C	Cement
P	Pore
Cal	Calcite
Acc	Accessory minerals
I.O	Iron oxide
Mus	Muscovite
Pyr	Pyroxene
Bt	Biotite
Cu	Copper
Op	Opaque
Chl	Chlorite

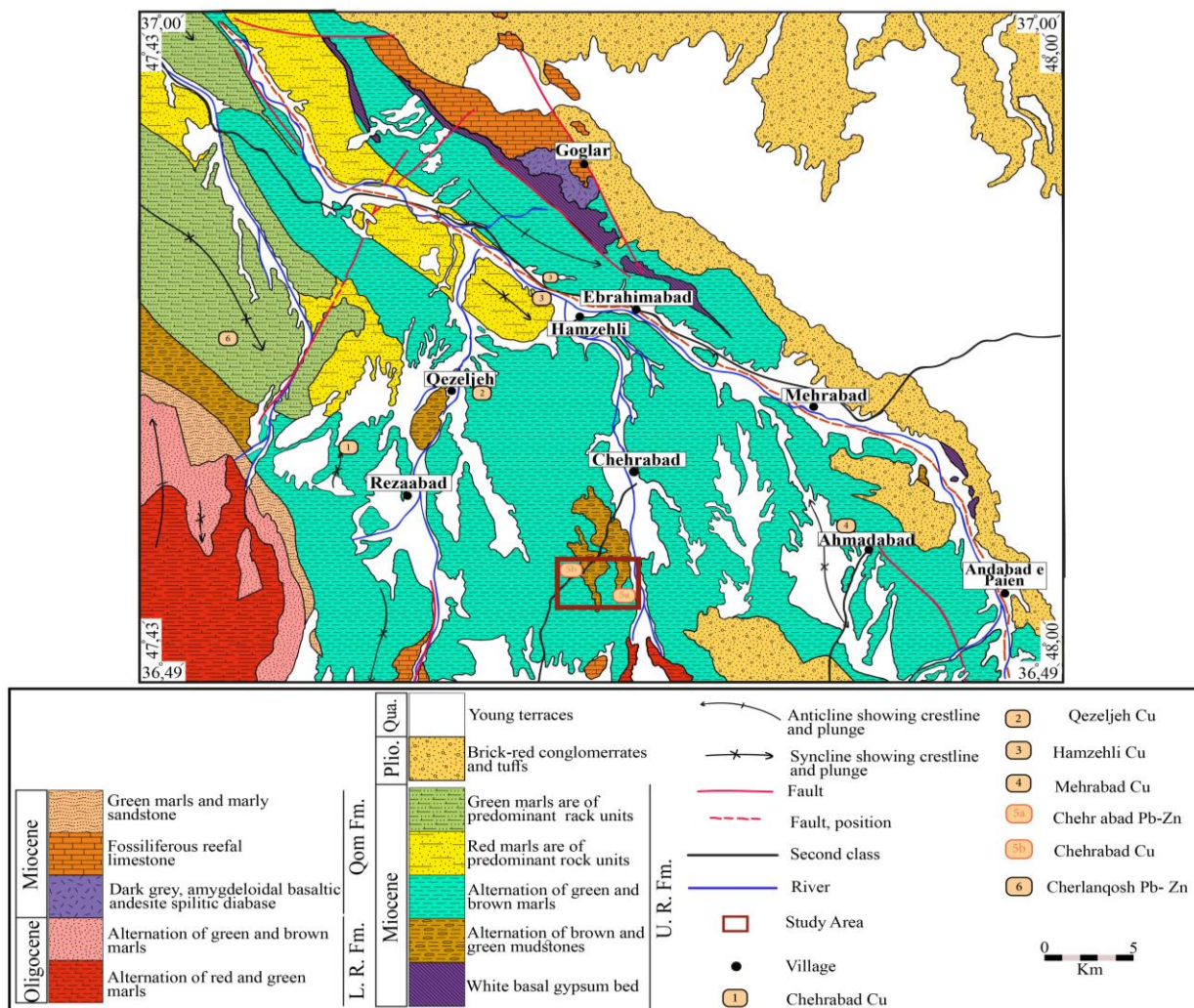
در قسمت ابتدایی و سنگ آهک‌های بیومیکرایی تا بیومیکرواسپارایتی ریفی فسیل‌دار در قسمت میانی می‌باشد. مارن‌های قهوه‌ای تا سبز رنگ و ماسه‌سنگ‌های مارنی، قسمت انتهایی این سازند را تشکیل می‌دهند. لطفی (۱۳۸۰) سازند قرمز بالایی در منطقه ماه‌نشان را به دو بخش کلی تفکیک کرده است. بخش اول شامل مارن‌های قهوه‌ای و سبز همراه با طبقات میکروکنگلومرایی و ماسه‌سنگ درشت‌دانه و گل‌سنگ‌های قرمز و بخش دوم شامل گل‌سنگ و شیل قرمز تیره‌رنگ با تناوبی از لایه‌های ماسه سنگی نازک لایه می‌باشد.

براساس مطالعات صحرایی انجام شده، سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد ۹۸۰ متر ستبراً داشته و به ۳ بخش قابل تقسیم است. این بخش‌ها به ترتیب شامل واحدهای تبخیری

قرمز بالایی در منطقه چهرآباد انتخاب شد. سپس طی بازدیدهای صحرایی، ضخامت لایه‌های ماسه‌سنگی اندازه‌گیری و رنگ آن‌ها مشخص شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل رخساره‌های رسوبی، ساختمان‌های رسوبی، ویژگی‌های هندسی و تغییرات جانبی و عمودی موجود در تمامی لایه‌ها، به‌طور کامل برداشت گردید. رخساره‌های سنگی به روش Miall (1985, 1996, 2000) نام‌گذاری شدند. در ادامه، از نمونه‌های برداشت شده ۲۲ مقطع نازک، تهیه و مورد بررسی‌های میکروسکوپی قرار گرفت. در هر مقطع ۲۵۰ نقطه به روش گزی - دیکینسون که توسط Ingersoll *et al* (1984) بیان شده است، شمارش گردید. به‌منظور بررسی ذرات آواری ماسه‌سنگ‌ها و تعیین موقعیت تکتونیکی آن‌ها، ۹ نمونه از ماسه‌سنگ‌های با کمترین میزان هوازدگی و کربنات کلسیم انتخاب و به روش XRF در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز گردید. علائم اختصاری اجزای شمارش شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

براساس تقسیمات پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران (Stöcklin, 1968)، منطقه چهرآباد در پهنه ایران مرکزی قرار دارد. از نظر زمین‌شناسی، واحدهای سنگی دارای بروز در این منطقه به سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی تعلق دارند (شکل ۲). سازند قرمز زیرین از نوع نهشته‌های قاره‌ای پلایایی و شامل طبقات آواری قرمز رنگ و مارن‌های رنگارنگ می‌باشد که برحسب فراوانی مارن‌های قهوه‌ای و سبز قابل تقسیم است (آقاباتی، ۱۳۸۳). این سازند در قسمت جنوب باختری منطقه مورد مطالعه رخنمون داشته و ستبرای کلی آن حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر می‌باشد. سازند قم در منطقه مورد مطالعه به ترتیب از قاعده به سمت بالا شامل آندزیت بازالتی تا بازالت ساب‌آلکالین

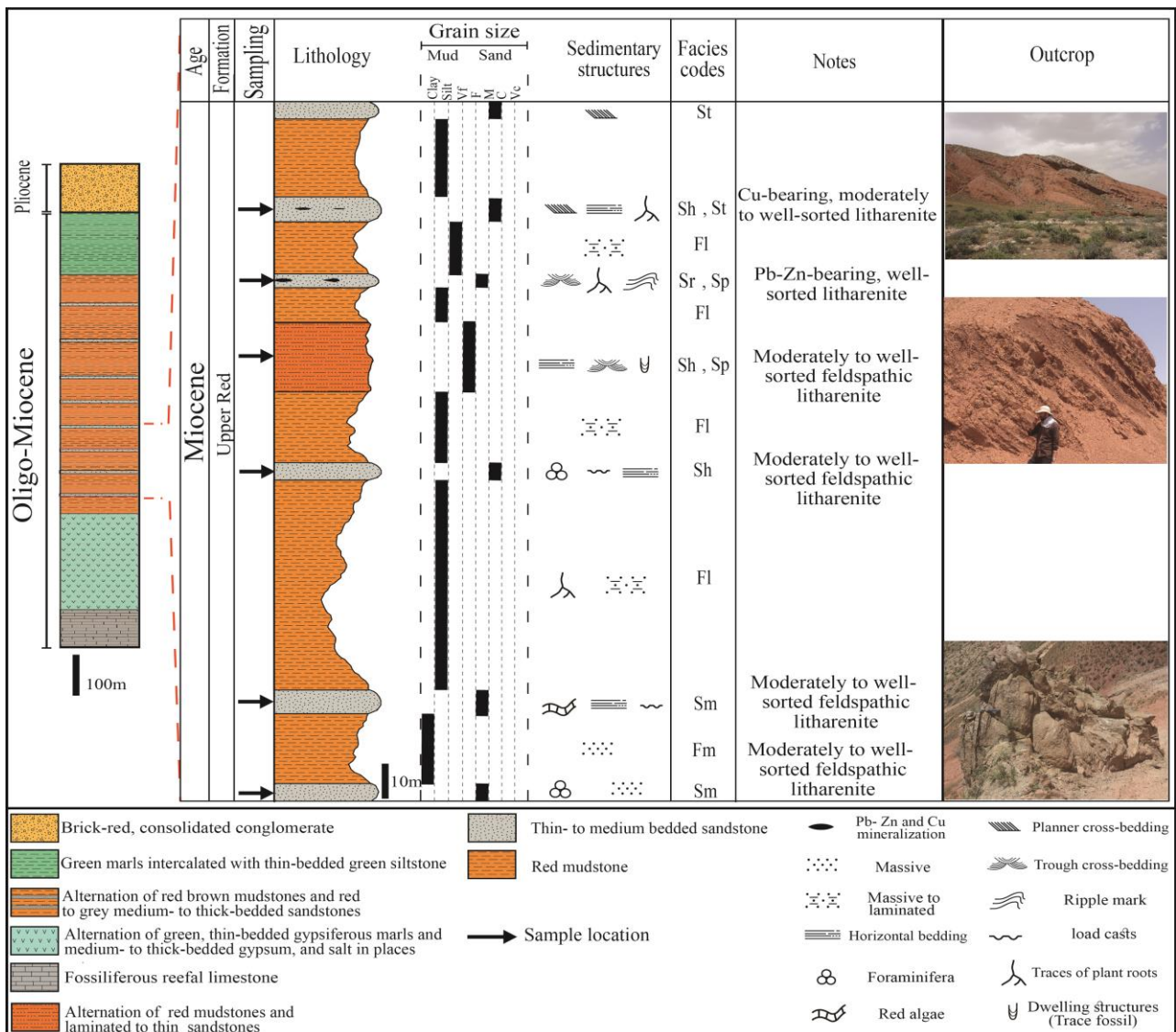


شکل ۲: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان و موقعیت منطقه مورد مطالعه (مستطیل قرمز) بر روی آن (برگرفته از لطفی، ۱۳۸۰؛ با اندکی تغییرات)

مطالعات دقیق رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی بر روی این لایه‌های ماسه‌سنگی انجام شده است. توالی سنگ‌شناسی این قسمت از سازند قرمز بالایی در بُرش مطالعه شده بر اساس مطالعات چینه‌شناسی از قاعده به سمت بالا به شرح زیر است:

واحد اول از ۳۰ متر گل سنگ قرمز رنگ فاقد لایه‌بندی و توده‌ای تشکیل شده است. این لایه بر روی تبخیری‌های بخش زیرین قرار گرفته و اندازه ذرات آن در حد گل می‌باشد. واحد دوم شامل ۵ متر ماسه‌سنگ خاکستری ریزدانه و توده‌ای فاقد لایه‌بندی است. این لایه، اولین لایه ماسه‌سنگی مورد مطالعه است. واحد سوم حدود ۲۰ متر

با ستبرای ۲۳۵ متر در پایین، تناوبی از گل سنگ و ماسه سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ با ستبرای ۵۹۰ متر در بخش میانی و افق‌هایی از گل سنگ سبز با میان‌لایه‌های ژپس با ۱۵۵ ستبرای در بخش بالایی می‌باشند. توالی انتخاب شده جهت مطالعات چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی، بخشی از توالی میانی سازند قرمز بالایی به ستبرای ۲۳۱ متر است که دارای بیشترین توالی ماسه‌سنگی با تنوع و تراکم زیاد می‌باشد. بر اساس نتایج پیمایش‌های صحرائی، بخش میانی دارای هفت لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ است که به صورت متناوب با گل سنگ‌های قرمز قرار دارند (شکل ۳).



شکل ۳: توالی چینه‌شناسی قسمت ماسه‌سنگی و گل‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد

که در قسمت زیرین آن قالب‌های وزنی وجود دارد، تشکیل شده است. واحد هفتم شامل ۲۰ متر گل‌سنگ قرمزرنگ با لامینه‌بندی ظریف و علائم موجی شکل است. اندازه ذرات این لایه بیشتر در حد سیلت می‌باشد. واحد هشتم شامل ۲۰ متر لایه ماسه‌سنگی قرمزرنگ با آثار موجودات حفار و میان‌لایه‌هایی از گل‌سنگ است. این لایه ماسه‌سنگی دارای لایه‌بندی مسطح و لایه‌بندی مورب عدسی شکل بوده و اندازه ذرات آن ریز می‌باشد. واحد نهم از ۱۰ متر لایه گل‌سنگی قرمزرنگ با لامینه‌بندی ظریف و علائم موجی شکل تشکیل شده است. اندازه ذرات

لایه گل‌سنگی قرمزرنگ توده‌ای و فاقد لایه‌بندی است که اندازه ذرات آن بیشتر در حد رس و اندکی سیلت می‌باشد. واحد چهارم شامل ۷ متر ماسه‌سنگ خاکستری توده‌ای با لایه‌بندی ضعیف و مسطح می‌باشد که اندازه ذرات آن ریز تا متوسط بوده و در قاعده آن آثار قالب‌های وزنی مشاهده می‌شود. واحد پنجم از ۶۰ متر گل‌سنگ قرمزرنگ تشکیل شده است. این بخش به صورت توده‌ای و دارای اندکی لامینه‌بندی ظریف است و اندازه ذرات آن در حد رس تا سیلت می‌باشد. واحد ششم از ۵ متر لایه ماسه‌سنگی خاکستری ریز تا متوسط دانه با لایه‌بندی مسطح

این واحد گل سنگی در حد سیلت است. واحد دهم متشکل از ۵ متر ماسه سنگ خاکستری و قرمز رنگ می باشد که کانه زایی سرب - روی در آن رخ داده است. این لایه دارای چینه بندی متقاطع، ریپل مارک و آثار گیاهی می باشد. اندازه ذرات در این لایه ریز تا متوسط است. واحد یازدهم شامل ۱۳ متر گل سنگ قرمز رنگ بوده و دارای لامینه بندی ظریف می باشد که اندازه ذرات آن در حد سیلت است. واحد دوازدهم متشکل از ۹ متر لایه ماسه سنگی خاکستری و قرمز رنگ حاوی کانه زایی مس می باشد. در این لایه، آثار گیاهی و قالب وزنی وجود دارد. این لایه به صورت لایه بندی مورب مسطح و لایه بندی مسطح مشاهده می شود. اندازه ذرات ماسه سنگ در این لایه متوسط تا درشت می باشد. واحد سیزدهم شامل ۲۲ متر گل سنگ قرمز رنگ است. واحد چهاردهم از ۵ متر ماسه سنگ خاکستری رنگ تشکیل شده که دارای قالب وزنی و لایه بندی مورب مسطح می باشد. اندازه ذرات ماسه سنگ در این لایه متوسط تا درشت می باشد.

پتروگرافی

ماسه سنگ های منطقه چهارآباد به رنگ خاکستری تا قرمز بوده و اندازه ذرات آن ها عمدتاً از ۰/۱۲۵ تا ۰/۵ میلی متر (۱ تا ۳ φ) تغییر می کند. ذرات آواری این ماسه سنگ ها جهت یافتگی ضعیفی دارند. با توجه به عوامل جورشدگی و گردشگی و همچنین مقادیر ناچیز رس (کمتر از ۵ درصد) این ماسه سنگ ها از نظر بلوغ بافتی، احتمالاً نیمه بالغ تا بالغ می باشند.

بر اساس ترکیب مودال محاسبه شده (جدول های ۲ و ۳)، کوارتز یکی از فراوان ترین ذرات (۲۱ درصد حجمی) تشکیل دهنده ماسه سنگ های توالی مورد مطالعه می باشد. کوارتزهای موجود از نوع چندبلوری و تک بلوری بوده و دارای خاموشی مستقیم و موجی می باشند. به طور میانگین

کوارتزهای تک بلوری ۱۶ درصد، چندبلوری ۵ درصد و کوارتزهای با خاموشی مستقیم ۱۳ درصد و خاموشی موجی ۸ درصد کل کوارتزهای موجود در مقاطع میکروسکپی را تشکیل می دهند. در این کوارتزها، رشد ثانویه نیز قابل مشاهده است. خُرده سنگ ها دیگر ذرات آواری تشکیل دهنده ماسه سنگ های این منطقه می باشند. خُرده سنگ ها که ۲۵ درصد فضای کل مقاطع را فرا گرفته اند، شامل ۳ دسته خُرده سنگ های رسوبی، دگرگونی و آذرین بیرونی هستند. خُرده سنگ های رسوبی ۱۳ درصد کل خُرده سنگ ها را تشکیل می دهند و شامل ۱۱ درصد چرت و کمتر از ۲ درصد خُرده سنگ کربناته و ماسه سنگی می باشند. خُرده سنگ دگرگونی ۱۱ درصد و خُرده سنگ آذرین بیرونی کمتر از ۱ درصد کل خُرده سنگ ها را شامل می شوند. فلدسپات ها (ارتوز و پلاژیو کلاز) ۱۰ درصد کل فضای مقاطع را فرا گرفته اند. ارتوز، فراوان ترین فلدسپات موجود در ماسه سنگ های مورد مطالعه است. از دیگر ذرات موجود در این ماسه سنگ ها می توان به کانی های کدر (۱۵ درصد)، اکسید آهن (۳ درصد)، پیروکسن و فیلسیلیکات ها (کمتر از ۱ درصد) اشاره کرد. شکل ۴ تصاویر میکروسکپی از ماسه سنگ های مورد مطالعه در منطقه چهارآباد و شکل ۵ موقعیت ماسه سنگ های توالی مورد مطالعه را بر روی نمودار مثلثی Folk (1980) نشان می دهد.

رخساره های سنگی و محیط رسوبی

بر اساس شواهد صحرایی و ویژگی های بافتی و ساختی، هفت رخساره ماسه سنگی - گل سنگی در منطقه چهارآباد قابل شناسایی است. بر اساس این مطالعات، هیچ رخساره کنگلومرایی در توالی مطالعه شده شناسایی نگردید. رخساره های شناسایی شده به شرح زیر می باشند.

جدول ۲: نتایج نقطه شماری اجزای تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد

Sample No.	Q				F				L			Groundmass			Other minerals						SUM		
	Qm	Qp		Qnon	Qun	Or	Pl	Lv	Lm	Ls			M	C	P	Bt	Pyr	Chl	Ms	I.O		Cu	Op
		Qp>3	1<Qp<4							Cht	LLs	Lsst											
CH6	36	8	8	37	15	25	8	0	23	35	8	0	5	55	20	1	1	2	2	10	0	5	252
CH7	49	7	8	42	23	20	10	5	23	33	5	0	0	68	5	2	0	2	1	8	0	5	251
CH9	43	5	4	30	22	20	8	3	25	30	5	0	0	43	40	1	0	3	1	5	0	15	251
CH18	60	4	6	48	22	20	8	0	43	23	5	0	0	35	5	0	0	5	3	23	0	13	253
CH23	43	9	8	38	22	23	10	0	43	18	5	3	5	53	10	1	0	5	1	10	0	5	252
CH24	33	10	12	34	21	23	10	5	35	28	8	3	0	50	8	1	1	3	1	10	0	13	254
CH20	39	5	7	32	18	18	3	3	33	25	8	0	3	55	28	1	3	2	5	8	0	10	250
CH4	36	8	9	33	20	20	5	0	40	35	5	0	8	25	10	3	3	3	5	0	35	253	
CH Ab	31	4	5	27	13	18	5	3	13	25	3	0	0	5	48	1	0	2	2	5	0	83	253
CH49	36	7	8	32	19	20	8	3	23	25	8	3	0	33	25	1	0	2	2	8	20	23	254
CH41	38	7	7	31	22	18	3	3	33	28	3	3	3	23	18	1	0	2	2	10	20	33	249
CH47	42	5	8	34	21	20	3	0	30	28	15	3	0	43	8	0	0	3	3	10	13	20	250
CH40	32	5	8	28	17	18	3	0	23	28	3	5	3	33	30	1	0	2	2	8	0	50	253
CH38	39	6	5	29	21	18	3	0	30	25	5	3	0	28	23	1	0	2	2	5	0	58	253
CH33	39	7	10	34	21	23	8	3	33	33	3	3	0	18	23	1	0	2	2	8	0	40	250
CH32	43	4	5	31	22	20	5	0	30	28	3	3	5	20	20	0	0	1	1	5	0	58	249
CH31	43	3	7	33	19	20	5	0	33	28	5	3	0	33	15	1	0	2	2	5	0	48	250
CH28	39	8	6	32	21	18	3	0	25	28	3	3	0	20	30	0	1	2	2	8	0	58	254
CH15	40	6	9	35	20	15	5	3	28	33	0	3	0	10	15	0	1	2	2	10	0	70	251
CH13	36	4	5	28	17	18	3	0	15	33	3	0	5	23	68	0	0	1	1	5	0	33	250
CH12	34	3	5	26	16	15	3	0	28	23	0	0	0	18	43	0	0	3	0	8	0	70	253
CH3	34	6	6	29	19	13	5	0	20	33	0	3	0	15	55	0	0	1	1	10	0	48	250

جدول ۳: درصد ترکیب مودال نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در بُرش چهرآباد که از شمارش نقطه‌ای به‌دست آمده است.

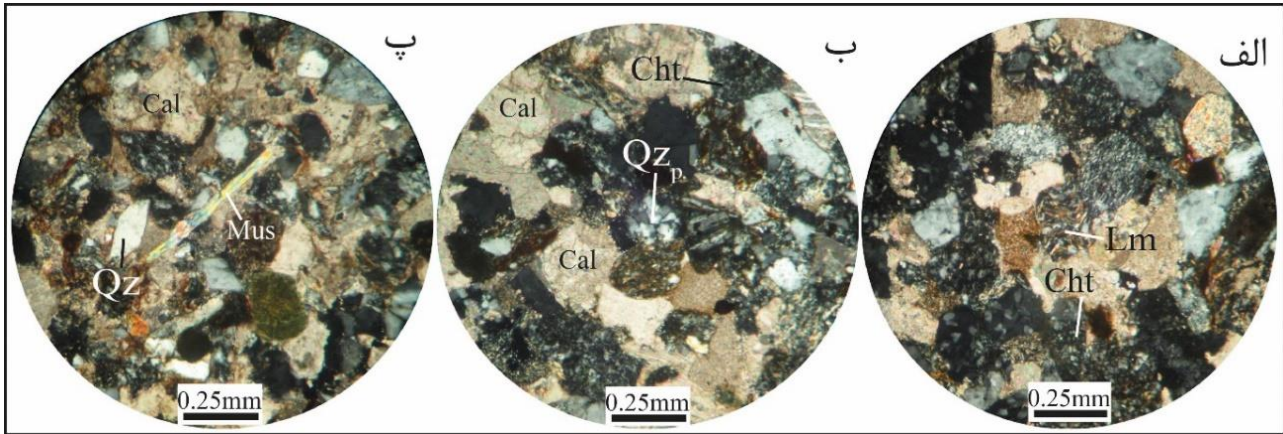
Sample No.	Q%				F%				L%			Groundmass%			Accessory minerals%						SUM (%)				
	Qm	Qp		Qpt	Qnon	Qun	Qt	Or	Pl	Lv	Lm	Ls			M	C	P	Bt	Pyr	Chl		Ms	I.O	Cu	Op
		Qp>3	1<Qp<4									Cht	LLs	Lsst											
CH6	68	16	16	32	71	29	21	10	3	0	9	14	3	0	2	22	8	0.25	0.75	0.75	4	0	2	100	
CH7	76	11	13	24	65	35	26	8	4	2	9	13	2	0	0	27	2	0.75	0	0.75	0.5	3	0	2	100
CH9	82	10	8	18	58	42	21	8	3	1	10	12	2	0	0	17	16	0.5	0	1	0.5	2	0	6	100
CH18	86	6	8	14	68	32	28	8	3	0	17	9	2	0	0	14	2	0	0	2	1	9	0	5	100
CH23	72	15	13	28	63	37	24	9	4	0	17	7	2	1	2	21	4	0.5	0	2	0.5	4	0	2	100
CH24	60	19	21	40	61	39	22	9	4	2	14	11	3	1	0	20	3	0.25	0.25	1	0.5	4	0	5	100
CH20	77	9	14	23	64	36	20	7	1	1	13	10	3	0	1	22	11	0	1	1	2	3	0	4	100
CH4	68	15	17	32	62	38	21	8	2	0	16	14	2	0	3	10	4	1	1	1	2	0	14	100	
CH Ab	78	10	12	22	67	33	16	7	2	1	5	10	1	0	0	2	19	0.5	0	0.75	0.75	2	0	33	100
CH49	71	13	16	29	63	37	20	8	3	1	9	10	3	1	0	13	10	0.5	0	0.75	0.75	3	8	9	100
CH41	72	14	14	28	59	41	21	7	1	1	13	11	1	1	1	9	7	0.5	0	0.75	0.75	4	8	13	100
CH47	77	8	15	23	62	38	22	8	1	0	12	11	6	1	0	17	3	0	0	1	1	4	5	8	100
CH40	71	12	17	29	62	38	18	7	1	0	9	11	1	2	1	13	12	0.5	0	0.75	0.75	3	0	20	100
CH38	77	13	10	23	58	42	20	7	1	0	12	10	2	1	0	11	9	0.5	0	0.75	0.75	2	0	23	100
CH33	70	12	18	30	61	39	22	9	3	1	13	13	1	1	0	7	9	0.5	0	0.75	0.75	3	0	16	100
CH32	82	8	10	18	59	41	21	8	2	0	12	11	1	1	2	8	8	0	0	0.5	0.5	2	0	23	100
CH31	81	6	13	19	63	37	21	8	2	0	13	11	2	1	0	13	6	0.5	0	0.75	0.75	2	0	19	100
CH28	74	14	12	26	60	40	21	7	1	0	10	11	1	1	0	8	12	0	0.5	0.75	0.75	3	0	23	100
CH15	72	11	17	28	64	36	22	6	2	1	11	13	0	1	0	4	6	0	0.5	0.75	0.75	4	0	28	100
CH13	79	10	11	21	63	37	18	7	1	0	6	13	1	0	2	9	27	0	0	0.5	0.5	2	0	13	100
CH12	80	8	12	20	62	38	17	6	1	0	11	9	0	0	0	7	17	0	0	1	0	3	0	28	100
CH3	72	14	14	28	61	39	19	5	2	0	8	13	0	1	0	6	22	0	0	0.5	0.5	4	0	19	100

رخساره ماسه‌سنگی با طبقه‌بندی مورب مسطح (Sp)

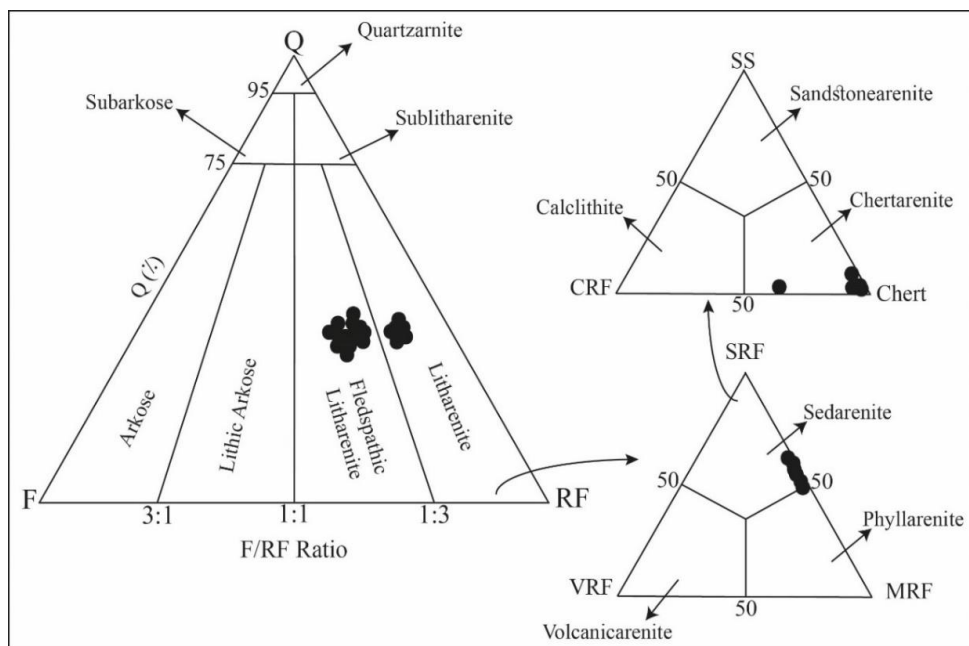
ویژگی اصلی این رخساره وجود طبقه‌بندی مورب مسطح موازی و گوه‌ای می‌باشد. این رخساره در بخش‌های بالایی توالی مورد مطالعه مشاهده شده و حدود ۱۰ متر از توالی مورد نظر را به خود اختصاص می‌دهد. اندازه ذرات این رخساره، متوسط تا درشت با جورشدگی خوب می‌باشد. ماسه‌سنگ‌های این رخساره به رنگ خاکستری هستند و در آن‌ها آثار گیاهی وجود دارد (شکل ۶الف).

رخساره ماسه‌سنگی با طبقه‌بندی مورب عدسی شکل (St)

این رخساره به صورت بدنه‌های عدسی شکل مشاهده شده و حدود ۱۸ متر ستبراً دارند. این رخساره در لایه‌های چهارم و پنجم ماسه‌سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ منطقه قابل مشاهده است. رخساره St در بعضی قسمت‌ها همراه با لایه‌بندی مسطح دیده می‌شود. اندازه ذرات این رخساره ماسه‌سنگی متوسط تا درشت با جورشدگی خوب بوده و دارای آثار گیاهی می‌باشد (شکل ۶ب).



شکل ۴: تصاویر میکروسکوپی (نور رنگی) از ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در منطقه چهرآباد: الف) لیت‌آرنایت؛ ب- پ) فلدسپاتیک‌لیت‌آرنایت



شکل ۵: موقعیت ماسه‌سنگ‌های توالی مورد مطالعه در منطقه چهرآباد بر روی نمودار مثلثی Folk (1980)

مشاهده است (شکل ۶ث).

رخساره ماسه‌سنگی با لامیناسیون مورب ریپلی (Sr) این ساختار دارای اثرات حرکت‌های جریانی و ریپل‌مارک می‌باشد. این ریپل‌ها روی سطح بالایی بدنه ماسه‌سنگ‌ها مشاهده شده و از نوع ریپل‌های متقارن با خط‌الرأس مستقیم می‌باشند. این رخساره در لایه پنجم توالی مورد مطالعه قابل مشاهده است. اندازه ذرات در ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ این رخساره ریز تا متوسط است. ستبرای ماسه‌سنگ‌های این رخساره حدود ۱ متر می‌باشد (شکل ۶پ).

رخساره ماسه‌سنگی با چینه‌بندی افقی (Sh)

مهم‌ترین ساختار رسوبی در این رخساره، لایه‌بندی و لامیناسیون مسطح است. این رخساره در لایه‌های سوم و چهارم توالی مورد مطالعه قابل مشاهده است. ماسه‌سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ این رخساره حدود ۱۵ متر ستبرای دارند. اندازه ذرات در آن ریز تا متوسط (لایه سوم) و بسیار ریز تا ریز (لایه چهارم) با جورشدگی خوب می‌باشد. رخساره Sh گاه روی ماسه‌سنگ‌های با لایه‌بندی مورب (Sp) قرار داشته و در برخی از قسمت‌ها، در بالا و پایین گل‌سنگ‌های سرخ توده‌ای (Fm) نیز قابل

رخساره ماسه‌سنگی توده‌ای (Sm)

لایه‌های ابتدایی توالی مورد مطالعه بیشتر دارای این رخساره بوده و در آن‌ها آثار موجودات حفار وجود دارد (شکل ۶ت - ج). این نوع از ماسه‌سنگ‌های خاکستری رنگ توده‌ای، با لایه‌بندی ضعیف مسطح نیز قابل مشاهده بوده و در قاعده آن‌ها قالب‌های وزنی وجود دارد. ستبرای کلی این رخساره حدود ۱۳ متر و اندازه ذرات آن ریز تا متوسط می‌باشد.

رخساره سیلت‌سنگی و گل‌سنگی دارای لامینه (Fl)

این رخساره قرمز رنگ است و بیشتر در بخش‌های میانی توالی مورد نظر مشاهده می‌شود. ساختار رسوبی موجود در آن لامینه‌بندی ظریف و علائم موجی خیلی کوچک توده‌ای است. اندازه ذرات تشکیل دهنده رخساره Fl، در حد سیلت و رس می‌باشد (شکل ۶ج). این رخساره حجم قابل ملاحظه‌ای از توالی مورد مطالعه را که در حدود ۱۰۰ متر می‌باشد، در بر گرفته است.

رخساره گل‌سنگی توده‌ای (Fm)

رخساره Fm بیشتر در لایه‌های گل‌سنگی قرمز رنگ ابتدایی توالی مورد مطالعه مشاهده شده و دارای آثار موجودات حفار و ریشه گیاهان است (شکل ۸ح). این رخساره به صورت توده‌ای بوده و اندازه ذرات در آن در حد رس و گاه سیلت می‌باشد. این رخساره در مجموع حدود ۷۰ متر از توالی مورد نظر را تشکیل می‌دهد.

مدل رسوبی سازند قرمز بالایی در منطقه مورد مطالعه

توالی مورد مطالعه بخشی از ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی به سن میوسن است. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه در زمان گذر الیگوسن به میوسن، تغییرات زیادی از یک محیط دریایی (سازند قم) به محیط ساحلی تا قاره‌ای (سازند قرمز بالایی) مشاهده می‌شود که بیانگر پایین آمدن سطح آب دریاها در مقیاس

کلی و گسترده است به طوری که با گذشت زمان عناصر محیط رسوبی و شکل هندسی آن‌ها به‌طور کامل تغییر کرده است. ویژگی‌هایی مانند گل‌سنگ‌های قرمز رنگ، ماسه‌سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ با ترکیب سنگ‌شناسی فلدسپاتیک‌لیت آرنایت، چینه‌بندی متقاطع، توالی‌های ریزشونده به سمت بالا، حضور آثار گیاهی و رسوبات قرمز رنگ که بیانگر محیط اکسیدان می‌باشد، می‌توانند دال بر محیط رسوبی رودخانه‌ای باشند. اندازه ریز تا متوسط ذرات ماسه‌سنگی، جهت یافتگی ضعیف ذرات ماسه‌سنگی و نبود رسوبات گراولی احتمالاً نشان‌دهنده محیط رودخانه‌ای نوع مئاندری با شیب کم و جریانی آرام است. همچنین وجود ریپل‌مارک‌های متقارن و آثار موجودات حفار دریایی بیانگر رسوب‌گذاری بخشی از این واحدهای سنگی در نزدیکی یک محیط جزرومدی می‌باشد.

علاوه بر این اطلاعات، برپایه مطالعات صحرایی و آنالیز رخساره‌ای، رخساره‌های شناسایی شده در بُرش کانسار چهرآباد شامل Fl، Fm، Sm، Sh، Sr، Sp و St هستند. هر یک از این رخساره‌ها متناسب با ویژگی‌های که دارند بیانگر شرایط رسوب‌گذاری خاصی هستند. رخساره St بیشتر در سرعت‌های پایین جریان آب و در اثر حرکت ریپل‌ها و مگاریپل‌های سه‌بعدی با خط‌الرأس سینوسی تشکیل می‌شود (Lee & Chough, 1996؛ Miall, 2006؛ Therrin, 2006؛ Ghosh *et al.*, 2006). رخساره Sp در اثر حرکت مگاریپل‌های دوبعدی و با خط‌الرأس مستقیم تشکیل شده (Tucker, 2001) و نشان‌دهنده سرعت پایین جریان است (Harms *et al.*, 1982). رخساره Sr با ریپل‌هایی که از نوع موجی با خط‌الرأس مستقیم هستند بیانگر عملکرد جریان‌های جزرومدی می‌باشند (Dalrymple *et al.*, 1992؛ Miall, 2006؛ Therrin, 2005؛ Higgs *et al.*, 2012).



شکل ۱: رخساره‌های سنگی منطقه چهارآباد؛ الف) رخساره ماسه‌سنگی مورب مسطح (Sp)؛ ب) رخساره‌های ماسه‌سنگی مورب عدسی‌شکل و چینه‌بندی افقی (St, Sh)؛ پ) رخساره ماسه‌سنگی با لامیناسیون مورب ریپلی (Sr)؛ ت) رخساره ماسه‌سنگی توده‌ای (Sm)؛ ث) رخساره ماسه‌سنگی با چینه‌بندی افقی و رخساره گل‌سنگی توده‌ای (Sh, Fm)؛ ج) رخساره ماسه‌سنگی توده‌ای با آثار موجودات حفار (Sm)؛ چ) رخساره سیلت‌سنگی و گل‌سنگی دارای لامینه (Fl)؛ ح) رخساره گل‌سنگی توده‌ای (Fm).

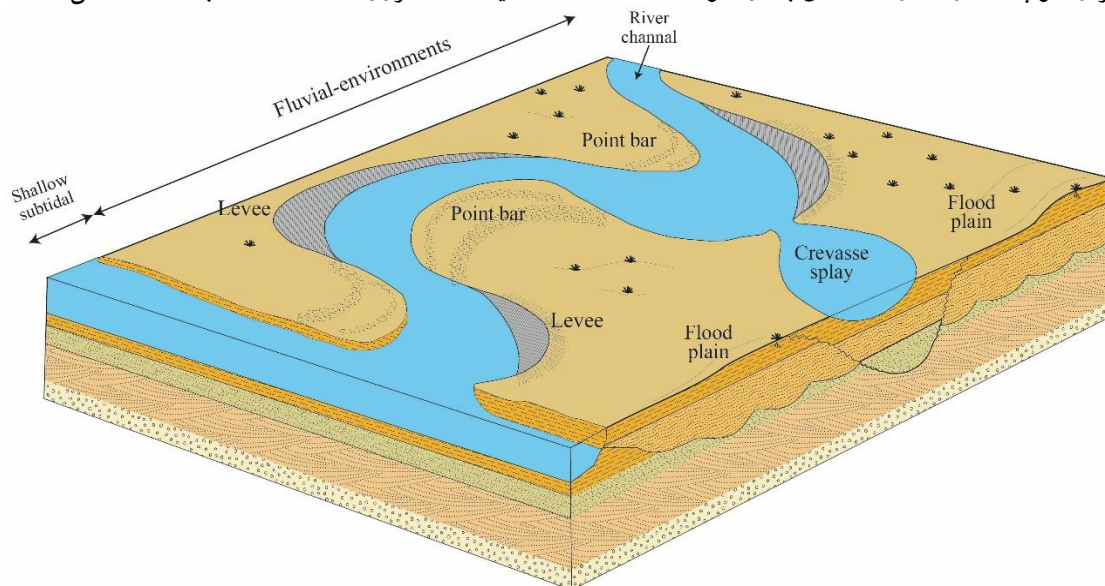
Lee & Chough, Nichols, 1999؛ Jo *et al.*, 1997
 2006). همچنین با توجه به اندازه ذرات تشکیل دهنده،

این رخساره در سرعت‌های پایین و زیاد جریان آب تشکیل
 می‌شود (Allen, 1984؛ Todd, 1989؛ Maizels, 1989؛

(Miall, 2000) و اندازه ذرات آن بیشتر در حد سیلت می باشد (Oplustil *et al.*, 2005). ضخامت کم رخساره Fm بیانگر رسوب گذاری بار معلق در دشت سیلابی و یا پوشش گلی روی سدها در داخل رودخانه می‌باشد (Miall, 2006).

این نوع رسوب گذاری ذرات دانه ریز بیانگر رژیم جریان پایینی می‌باشد (Tewari *et al.*, 2011). رخساره‌های گل سنگی Fm و Fl مجموعه‌ای از رسوبات دانه ریز در حد سیلت و رس هستند که ممکن است در مواقع سیلاب در دشت سیلابی به طور آهسته به شکل افقی و گاهی مورب با مقیاس کوچک و علائم موجی ظریف نهشته می‌شوند. با توجه به شواهد صحرایی و ویژگی‌های هر یک از رخساره‌ها و بر مبنای تقسیم‌بندی Miall (1996)، نهشته‌های توالی مطالعه شده را می‌توان به محیط رودخانه‌های مئاندری ماسه‌ای دارای پیچش زیاد که تحت تأثیر محیط‌های جزرومدی هستند، نسبت داد (شکل ۷).

ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمدتاً در رژیم جریان‌های با سرعت نسبتاً بالا تشکیل شده است. رخساره Sh ممکن است در قسمت بالایی پشته‌های کانالی و یا در داخل کانال تشکیل شود (Miall, 1996, 2000؛ Khalifa & Catuneanu, 2008). رخساره Sm به علت رسوب گذاری سریع ذرات (Harms *et al.*, 1982؛ Miall, 2000)، رسوب گذاری سریع طی فروکش جریان‌های سیلابی (Miall, 2006؛ Tewari *et al.*, 2011) و فروریختن دیواره‌های کانال (Miall, 2000) تشکیل شده و باعث از بین رفتن لامیناسیون می‌گردد. رسوبات رخساره‌های ماسه‌سنگی Sm، Sh، Sr، Sp و St را براساس ویژگی‌های که دارند می‌توان جزو نهشته‌های کانالی که غالباً در پوینت بارها نهشته می‌شوند در نظر گرفت. البته رخساره‌های Sr و St به طور مستقل می‌توانند بیانگر محیط ساحلی و جزرومدی باشند. رخساره Fl در سرعت‌های پایین جریان آب و در اثر رسوب گذاری ذرات معلق به وجود آمده



شکل ۷: مدل رسوبی پیشنهادی برای قسمت ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد

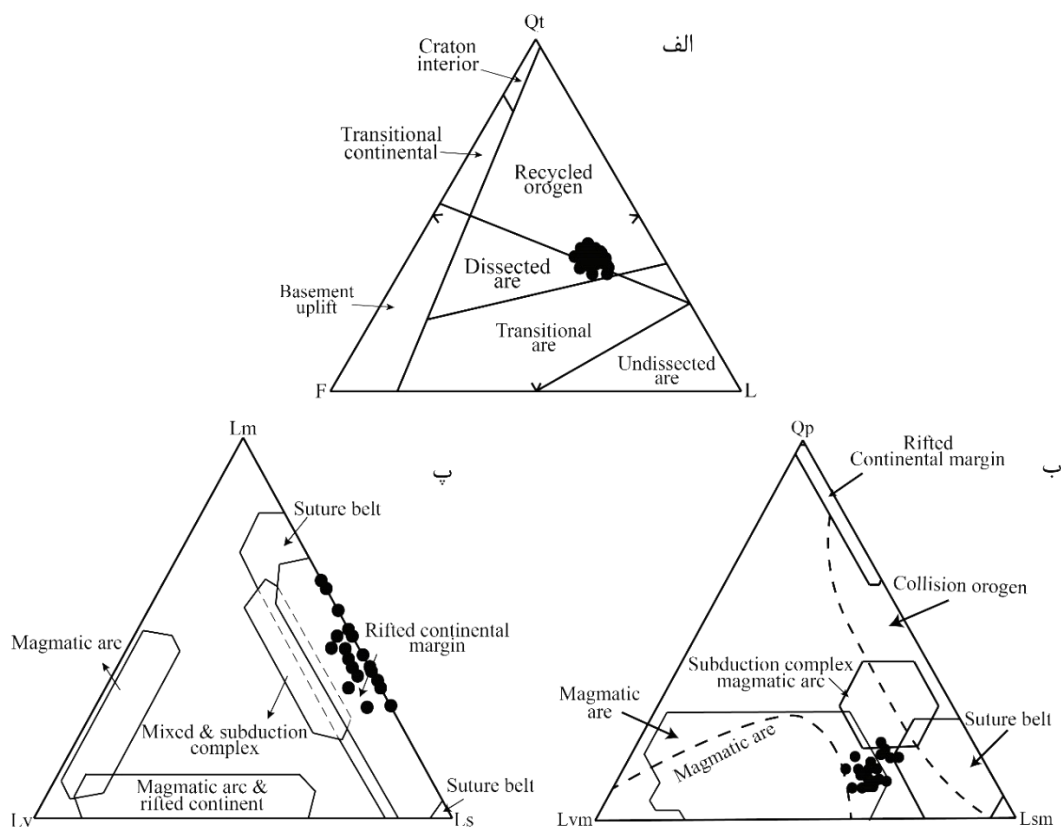
(1963) و بر اساس نسبت‌های موجود بین مقادیر مجموعه کوارتزها، خُرده‌سنگ‌ها و فلدسپات‌ها، می‌توان جایگاه تکتونیکی رسوبات سیلیسی آواری را تعیین کرد. برای

جایگاه تکتونیکی و جغرافیای دیرینه

با توجه به ارتباط نزدیک موجود بین تکتونیک و ترکیب رسوبات در حوضه‌های مختلف (Krumbein & Sloss,)

فراوانی بیشتر خُرده سنگ نسبت به کوارتز و به ویژه نسبت به فلدسپات که بیانگر فعالیت های تکتونیک می باشد و براساس نتایج به دست آمده از نمودارهای رسم شده، می توان اظهار داشت که جایگاه تکتونیک ماسه سنگ های مورد مطالعه حاشیه فعال قاره ای است.

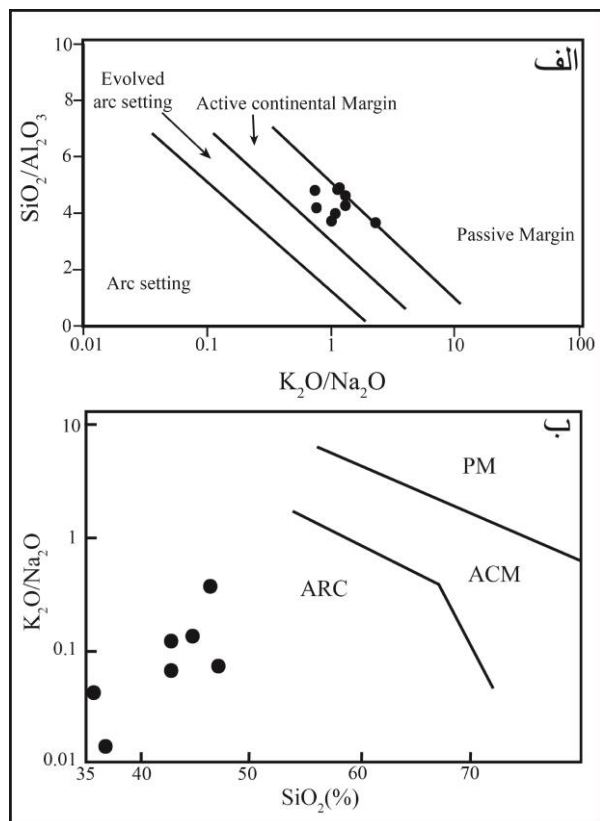
تعیین جایگاه تکتونیک ماسه سنگ های بخش میانی سازند قرمز بالایی از نتایج مطالعات پتروگرافی و نمودارهای مثلثی Qt-F-L متعلق به Dickinson & Suczek (1979)، Lv-Lm-Ls و Qp-Lvm-Lsm متعلق به Ingersoll & Suczek (1979) استفاده گردید (شکل ۸). با توجه به



شکل ۸: جایگاه تکتونیک ماسه سنگ های مورد مطالعه در منطقه چهارآباد براساس نمودارهای مثلثی؛ الف) Dickinson & Suczek (1979)، ب - پ) Ingersoll & Suczek (1979).

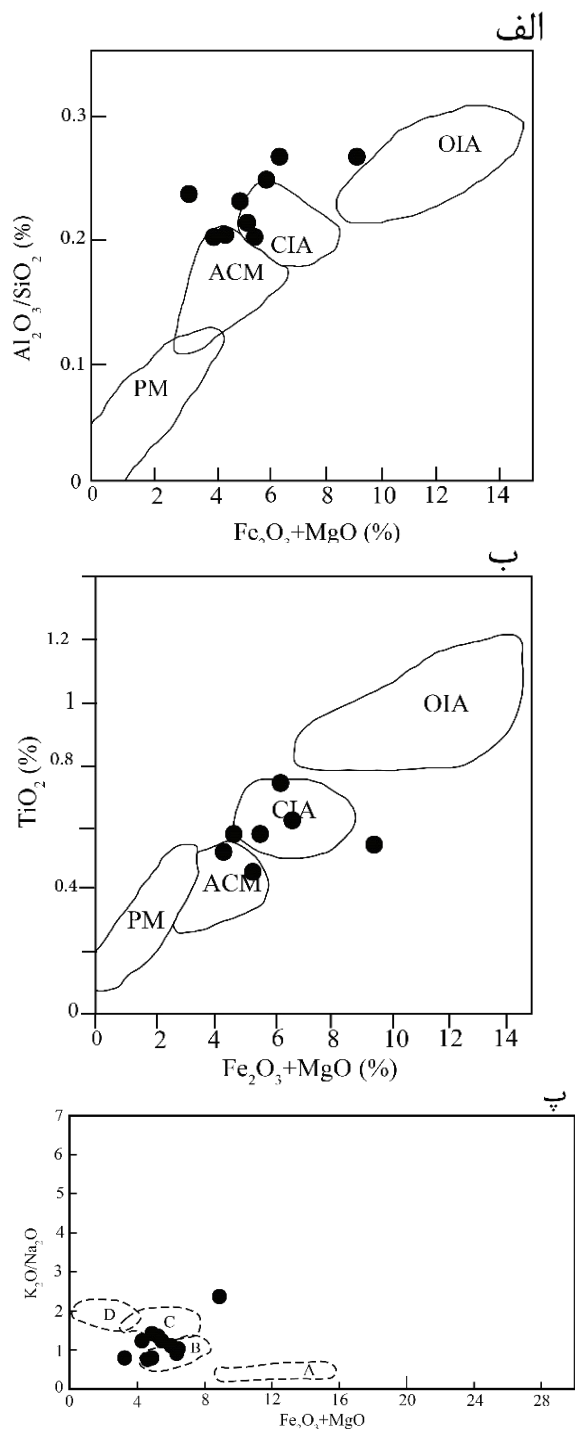
همچنین بر پایه نسبت های SiO_2/Al_2O_3 به K_2O/Na_2O و SiO_2 به K_2O/Na_2O ، نمونه ها در محدوده حاشیه فعال قاره ای و حاشیه جزایر کمانی اقیانوسی قرار گرفته اند (شکل ۱۰). این نتایج با اطلاعات به دست آمده از آنالیز مودال انطباق دارند. همچنین Ballato *et al.* (2016) بر اساس مجموعه اطلاعات رخساره ای، تکتونیک و ژئوشیمیای (ایزوتوپی)، محیط تکتونیک در زمان رسوب گذاری سازند قرمز بالایی در شمال و شمال باختر ایران را یک محیط تکتونیک فعال و فورلندی در نظر گرفته اند.

علاوه بر نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی، جایگاه تکتونیک ماسه سنگ های مزبور براساس داده های اکسیدهای اصلی (جدول ۳) و با استفاده از نمودارهای دو متغیره تعریف شده توسط Bhatia (1983) و Roser & Korsch (1986) نیز تعیین شده است. با توجه به نمودارهای Bhatia (شکل ۹) بر پایه نسبت های Al_2O_3/SiO_2 به TiO_2, Fe_2O_3+MgO در مقابل Fe_2O_3+MgO و نسبت K_2O/Na_2O در مقابل Fe_2O_3+MgO ، بیشتر نمونه ها در داخل یا نزدیکی محدوده حاشیه فعال قاره ای تا جزایر کمانی قاره ای قرار می گیرند.



شکل ۱۰: جایگاه تکتونیکی قسمت ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد در نمودارهای Roser & Korsch (1986): PM: حاشیه غیرفعال قاره‌ای؛ ACM: حاشیه فعال قاره‌ای؛ ARC: حاشیه جزایر کمانی اقیانوسی.

بوده است. به دنبال فراخاست عمومی زمین و فرسایش شدید، مواد تخریبی در حوضچه‌های داخلی و در محیط‌های قاره‌ای نهشته شده‌اند. لذا نهشته‌های میوسن دارای مواد قاره‌ای - آواری و سُرخ رنگ (سازند قرمز بالایی) است. همچنین بر اساس نقشه جغرافیای دیرینه زمان میوسن (Schuster & Wielandt, 1999) منطقه مورد مطالعه به طور تقریبی در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی قرار گرفته است که بیانگر آب و هوای نیمه‌خشک می‌باشد (شکل ۱۱). با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعات صحرائی و حضور گنبد‌های نمکی، میان‌لایه‌های گچی و دیگر واحدهای تبخیری موجود در سازند قرمز بالایی در منطقه مورد مطالعه می‌توان بیان داشت که شرایط آب و هوایی در زمان رسوب‌گذاری سازند قرمز بالایی،



شکل ۹: جایگاه تکتونیکی قسمت ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد بر روی نمودارهای Bhatia (1983): ACM (C)؛ حاشیه فعال قاره‌ای؛ CIA (B)؛ جزایر کمانی قاره‌ای؛ OIA (A)؛ کمانی اقیانوسی؛ PM (D)؛ حاشیه غیرفعال قاره‌ای.

رخداد زمین ساختی پیرنئن باعث تغییر در جغرافیای دیرینه ایران شده که با پس‌روی گسترده دریای آزاد و شکل‌گیری خشکی‌های گسترده در ایران مرکزی همراه

بخشی از قسمت میانی این سازند به سترای ۲۳۱ متر دارای هفت لایه ماسه سنگی قرمز تا خاکستری رنگ است که به صورت متناوب با طبقات گل سنگی قرمز قرار دارند. براساس مطالعات میکروسکوپی انجام شده، واحدهای ماسه سنگی سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد از نوع فلدسپاتیک لیت آرنایت و لیت آرنایت (عمدتاً چرت آرنایت) می باشند. براساس پیمایش های صحرائی و بررسی ساختمان های رسوبی و رخساره های سنگی، ۵ رخساره ماسه سنگی (Sm، Sh، Sp، St و Sr) و ۲ رخساره گل سنگی (Fm و Fl) در سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهارآباد قابل شناسایی است. محل اصلی نهشته شدن این رخساره ها محیط های رودخانه ای پوینت بار، دشت سیلابی و احتمالاً کروس های پهن بوده است. رخساره های Sm، Sh، Sp، St و Sr که جزو نهشته های کانالی هستند، غالباً در پوینت بارها و رخساره های Sr و Sh و Fl احتمالاً در کروس های پهن نهشته شده اند. رخساره های Fm و Fl که مجموعه ای از رسوبات دانه ریز در حد سیلت و رس هستند نیز در دشت سیلابی تشکیل شده اند. لذا می توان نهشته های مورد مطالعه را به یک محیط رودخانه ای مثاندردی ماسه ای دارای پیچش زیاد و عوامل سدی نسبت داد. شواهدی مانند وجود ریپل مارک های متقارن و چین بندی های متقاطع نیز می تواند بیانگر محیط ساحلی و جزرومدی باشد. این مطلب نشان می دهد محیط رسوب گذاری از بخش انتهایی کانال رودخانه ای تا ابتدای محیط دریایی در حال تغییر بوده است. بر اساس داده های حاصل از نقطه شماری و مطالعات ژئوشیمیایی و نسبت بین کوارتزها، خُرده سنگ ها و فلدسپات ها، جایگاه تکتونیکی ماسه سنگ های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهارآباد، حاشیه های فعال قاره ای می باشد.

نیمه خشک تا نیمه مرطوب بوده است. لذا این شرایط با موقعیت جغرافیای دیرینه منطقه مورد مطالعه در عرض جغرافیایی میوسن انطباق دارد. جایگاه تکتونیکی فورلندی و وجود واحدهای تخریبی آواری بیانگر ارتفاعات و محیط های قاره ای می باشد. همچنین حضور گنبد های نمکی و واحدهای تبخیری نشان دهنده وجود حوضچه های درون قاره ای است. بر همین اساس می توان نتیجه گرفت که این منطقه هنگام برخورد صفحه عربستان با اورسیا در جایگاه فورلندی قرار داشته است. این تصادم موجب تسریع در بالا آمدن حوضه های کم عمق دریایی و سبب افزایش سرعت تجمع رسوبات و روند ناپایداری فرسایش شده است. این تصادم همچنین باعث شکل گیری پهنه بندی مرتفع جغرافیایی شمال باختری ایران شده است. در نتیجه فرسایش این ارتفاعات، رسوبات فراوانی در حوضه های رودخانه ای بر روی نهشته های سازند قم در پهنه ایران مرکزی نهشته شده و سازند قرمز بالایی را تشکیل داده اند.



شکل ۱۱: موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه جغرافیای دیرینه زمان میوسن (با اندکی تغییرات از Schuster & Wielandt, 1999)

نتیجه گیری

سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد از ۳ بخش اصلی تبخیری در قسمت زیرین، تناوب گل سنگ و ماسه سنگ در قسمت میانی و طبقاتی از گل سنگ های سبز با میان لایه های تبخیری در قسمت بالایی تشکیل شده است.

منابع

- آقائباتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- لطفی، م. ۱۳۸۰. نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۱. رسوب‌شناسی. انتشارات آستان قدس رضوی، به‌نشر، ۴۷۶ ص.
- Allen, J.R.L., 1984. Sedimentary structures: their character and physical basis. *Developments in sedimentology, Amsterdam, Elsevier*, 663 p.
- Ballato, P., Cifell, 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., 2016. Tectono-sedimentary evolution of the northern Iranian Plateau: Insights from middle-late Miocene foreland-basin deposits. *Basin Research*, 29: 417–476.
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91: 611–627.
- Bhatia, M.R., & Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181–193.
- Catuneanu, O., 2003. Sequence stratigraphy of clastic systems. *Geological Association of Canada, Short Course Notes*, 248 p.
- Catuneanu, O., 2006. Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam, First Edition. *Elsevier*, 375 p.
- Dalrymple, R.W., Zaitline, B.A. & Boyd, R., 1992. Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, 62: 1130–1146.
- Dickinson, W.R., 1974. Plate tectonics and sedimentation. In: Dickinson, W.R., (ed.), *Tectonics and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special publication*, 22: 1–27.
- Dickinson, W.R., 1985. Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstone. In: Zuffa, G.G., (ed.), *Provenance of Arenites. Reidel Publishing Company*, 407: 333–363.
- Dickinson, W.R., & Suczek, C., 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164–2182.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary Rocks. Austin, Texas, *Hemphill*, 159 p.
- Gani, R.M. & Alam, M.M., 2004. Fluvial facies architecture in small scale river system in the Upper Dupi Tila formation, North east Bengal basin, Bangladesh. *Journal of Asian Earth Sciences*, 24: 225–236.
- Ghosh, P., Sarkar, S., & Maulik, P., 2006. Sedimentology of a muddy alluvial deposit, Triassic Denwa Formation, India. *Sedimentary Geology*, 191: 3–36.
- Harms, J.C., Southard, J.B. & Walker, R.G., 1982. Structures and sequence in clastic rock. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course*, Chapter 1, 55 p.
- Higgs, K.E., King, P.R., Raince, J.I., Sykes, R., Browne, G.H., Grouch, E.M., & Baur, J.R., 2012. Sequence stratigraphy and controls on reservoir sandstone distribution in an Eocene marginal marine-coastal plain fairway, Taranaki Basin, New Zealand. *Marine and Petroleum Geology*, 32: 110–137.
- 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 Petrology*, 49: 1217–1228.
- Ingersoll, R.V., Bulard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, 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.
- Jo, H.R., Rhee, C.W., & Chough, S.K., 1997. Distinctive characteristics of a stream flow-dominated alluvial fan deposit, Sanghori area, Kyongsang Basin (Early Cretaceous), southeastern Korea. *Sedimentary Geology*, 110 (1-2): 51–79.
- Khalifa, M.A., & Catuneanu, O., 2008. Sedimentology of the fluvial and fluvio- marine facies of the Bahariya Formation, Bahariya oasis, Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 51 (2): 89–103.
- Krumbein, W.C., & Sloss, L.L., 1963. Stratigraphy and sedimentation: 2nd edition. San Francisco, *W.H. Freeman and Co.*, 660 p.

- Kumar, R., Suresh, N., Sangode, S.J., Kumaravel, V., 2007. Evolution of the Quaternary alluvial fan system in the Himalayan foreland basin, Implications for tectonic and climatic decoupling. *Quaternary International*, 159: 6–20.
- Lee, H.S., & Chough, S.K., 2006. Lithostratigraphy and depositional environments of the Pyeongan Super group (Carboniferous-Permian) in the Taebaek area Mideast Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26: 339–352.
- Maizels, J.K., 1989. Sedimentology, paleoflow dynamics and flood history of Jökulhlaup deposits: Paleohydrology of Holocene sediment sequences in southern Iceland Sandur deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 59: 204–223.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., McCulloch, M.T., & Maynard, J.B., 1990. Geochemical and Nd–Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic association. *Geochimical et Cosmochimical Acta*, 54: 2015–2050.
- Miall, A.D., 1985. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Review*, 22: 261–308.
- Miall, A.D., 1996. *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Berlin, Springer-Verlag, 582 p.
- Miall, A.D., 2000. Principle of sedimentary basin analysis, 3rd edition. Springer-Verlag, New York, 668 p.
- Miall, A.D., 2006. *The Geology of fluvial deposits: Sedimentary facies, basin analysis, Petroleum Geology* (4th printing). Springer-Verlag, New York, 582 p.
- Morley, C.K., Kongwung, B., Waples, D., Warren, J., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H. & Rawanchaikul, M., 2008. Impact of structural history and style on the petroleum system of the Central Basin in the Saveh-Qom area, Iran. *8th Middle East Geosciences Conference, GEO 2008, Geo-Arabia*, 13, 206.
- Nichols, G.J., 1999. Sedimentology and stratigraphy. Oxford, United Kingdom, Blackwell Science, 355 p.
- Oplustil, S., Martínek, K., & Tasáryová, Z., 2005. Facies and architectural analysis of fluvial deposits of the Nýřany Member and the Týnec Formation (Westphalian D–Barruelian) in the Kladno-Rakovník and Pilsen basins. *Bulletin of Geosciences*, 80 (1): 45–66.
- Rieser, A.B., Neubauer, F., Liu, Y., & Ge, X., 2005. Sandstone provenance of north-western sectors of the intra-continental Cenozoic Qaidam basin, western China: Tectonic and climate control. *Sedimentary Geology*, 177: 1–18.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94: 635–650.
- 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: 119–139.
- Sadati, S.N., Yazdi, M., Mao, J., Behzadi, M., Adabi, M.H., Lingang, X., Zhenyu, C., & Muktari, 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.
- Schuster, F., & Wielandt, U., 1999. Oligocene and early Miocene coral faunas from Iran, paleoecology and paleobiogeography. *International Journal of Earth Sciences*, 88: 571–581.
- Tewari, P., Rajkonwar, C., Lalchawimawii, Lalnunluanga, P., Malsawma, J., Ralte, V.Z., & Patel, S.J., 2011. Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram India and their palaeoenvironmental significance. *Journal of Earth System Science*, 120: 1127–1143.
- Therrien, F., 2005. Palaeoenvironments of the Latest Cretaceous (Maastrichtian) dinosaurs of Romania: insights from fluvial deposits and paleosols of the Transylvanian and Hateg Basins. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 218: 15–56.
- Todd, S. P., 1989. Stream-driven, high-density gravelly traction carpets; possible deposits in the Trabeg conglomerate formation, SW Ireland and some theoretical considerations of their origin. *Sedimentology*, 36 (4): 513–530.
- Tucker, M. E., 2001. *Sedimentary Petrology*, 3rd edition. Oxford, Blackwell, 260 p.
- Whitney, D.L., & Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95: 185–187.

Stratigraphy, sedimentary facies and tectonic setting of sandstones of the middle part of the Upper Red Formation at Chehrabad deposit section, northwest of Zanjan

Rajabzadeh, A.¹, Kouhestani, H.², Mokhtari, M.A.A.², Zohdi, A.³

- 1- M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
2- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran
3- Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

*Email: afshin.zohdi@znu.ac.ir

Introduction

The Upper Red Formation (URF), with the age of Miocene, is mainly composed of clastic sediment including: interbedded marl, sandstones and slightly conglomerate layers as well as some evaporate layers mostly in lower parts of the formation. The lithology, color and thickness of this formation are variable in different locality (Aghanabati, 2004). This formation is the only cap rock for the Qum Formation in the Central Iran zone especially into the Sarajeh and Alborz gas-fields (e.g., Morley et al., 2008). The URF has a significant distribution in the northwestern of Iran and hosts significant Cu and Pb-Zn deposits (e.g.; Sadati et al., 2016). The constituents of this formation, particularly in the sandstone layers, provides valuable information in relation to sedimentary environment and the geodynamic location of this formation (Rieser et al., 2005). In this research, based on the facies analysis (Miall, 1996, 2000), modal analysis and geochemical data, sedimentary environment and tectonic setting of these clastic layers in Chehrabad deposit section, northwest of Zanjan, are interpreted.

Materials and methods

This research is based on a detail study of lithology, sedimentology and geochemical data of the URF. During field observations, the thickness of sandstone layers and their colors were clearly defined. In order to interpret the sedimentary environments of this formation, a detail lithofacies have been analyzed during this study. Lateral and vertical variations in all layers have been considered. About 23 thin sections from collected samples are studied by polarize microscope at the University of Zanjan. In each thin section, the 250-points, based on Gazzi-Dickinson method, were counted. To investigate the tectonic setting of these sandstones, 9 samples with the least amount of weathering and calcium carbonate were selected for geochemical analyses by XRF methods.

Discussion

Chehrabad area is located in the northeast of Mahneshan, approximately 75 km, northwest of Zanjan. Rock units exposed in this area belongs to the Lower Red, Qom and Upper Red formations. The thickness of URF in this area is about 980 m and consists mainly of three main units. These units, from bottom to top, consist of evaporate layers, alternation of mudstone and grey to red sandstone and finally mudstone with interbedded gypsum layers with thickness of 235, 590, and 155 m respectively. The studied sequence is a part of the middle portion of the URF, with 231 m thickness and has the highest amounts of sandstone layers. Based on the field observation, the middle parts of the formation including 7 grey to red color sandstone, which are alternate with the red mudstones. The sandstones in the Chehrabad area are grey to red and have poor imbrication. According to the sorting and roundness parameters of the grains and also the low amounts of clay matrix (less than 5%), these sandstones are perhaps to be mature in terms of texture maturity. Based on the types of sandstone grains and the Folk (1980) classification, the URF sandstones in the study area is classified as feldspathic litharenite to litharenite. Facies analyses, the color of layers, presence of cross-bedding and plants fragments, lack of gravel grains, all represent an oxidized continental environment, such as a fluvial system with a highly sinuous channels (meandering river). Also, the presence of symmetric ripple marks and marine trace fossils indicate that the sedimentation of some parts of this formation have taken place to a tidal condition and most likely close to coastal environment. In addition, based on field studies and

facies analysis, identified lithofacies in Chehrabad area include Fl, Sm, Sh, Sr, Sp, St and Fm. According to the characteristics of each facies and based on the method of Miall (1996), these sandstone were deposited in a fluvial and tidal depositional systems. The results of petrography and geochemical studies have been used to interpret the tectonic setting of sandstones in the middle parts of the URF. Based on triangular diagrams of Dickinson and Suczek (1979) (Qt-F-L) and Ingersoll and Suczek (1979) (Qp-Lvm-Lsm and Lv-Lm-Ls), also using binary variables graphs of Bhatia (1983) and Roser and Korsch (1986), the tectonic setting of these sandstones is active continental margins and probably foreland basin.

Conclusion

The URF in the Chehrabad area consists of 3 parts and the thickness of middle part of this formation is about 231 m, with 7 sandstone layers, which alternation with red mudstone beds. Based on microscopic studies, these sandstones are classified as feldspathic litharenite to litharenite. Based on field evidences and the presence of cross-bedding, plants fragments, lack of gravel grains, symmetric ripple marks, presence of trace fossils and also the type of facies, seven lithofacies (including: Fl, Sm, Sh, Sr, Sp, St and Fm) are recognized. The data obtained from point-count and geochemical studies clearly show that the tectonic setting of these sandstones in the Chehrabad area is an active continental margin.

Acknowledgement

The authors are grateful to the University of Zanjan Grant Commission for research funding. We acknowledge their support. Constructive reviews by three Sedimentary Facies reviewers greatly benefited the paper.

Keyword; Sedimentary facies; tectonic setting; sandstone; Upper Red Formation; Chehrabad; Zanjan.

References

- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. *Geological Survey of Iran*, 606 pp. (in Persian).
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology*, 91: 611–627.
- Dickinson, W.R., & Suczek, C., 1979. Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164–2182.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of sedimentary Rocks. Austin, Texas, *Hemphill*, 159 p.
- 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 Petrology*, 49: 1217–1228.
- Ingersoll, R.V., Bulard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, 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.
- Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Berlin, *Springer-Verlag*, 582 p.
- Miall, A.D., 2000. Principle of sedimentary basin analysis, 3rd edition. *Springer-Verlag*, New York, 668 p.
- Morley, C.K., Kongwung, B., Waples, D., Warren, J., Julapour, A.A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H. & Rawanchaikul, M., 2008. Impact of structural history and style on the petroleum system of the Central Basin in the Saveh-Qom area, Iran. *8th Middle East Geosciences Conference, GEO 2008, Geo-Arabia*, 13, 206.
- Rieser, A.B., Neubauer, F., Liu, Y., & Ge, X., 2005. Sandstone provenance of north-western sectors of the intra-continental Cenozoic Qaidam basin, western China: Tectonic and climate control. *Sedimentary Geology*, 177: 1–18.
- Roser, B.P., & Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology*, 94: 635–650.
- Sadati, S.N., Yazdi, M., Mao, J., Behzadi, M., Adabi, M.H., Lingang, X., Zhenyu, C., & Moktari, 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.