

چینه‌نگاری سنگی، پتروگرافی و زمین‌شیمی عناصر کمیاب ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو (شمال‌باختر زنجان)

آیسان قاسملو^۱، افشین زهدی^{۲*}، حسین کوهستانی^۳ و میرعلی اصغر مختاری^۴

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

۲- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

۳ و ۴- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان

نویسنده مسئول: afshin.zohdi@znu.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۶

دریافت: ۹۸/۷/۸

چکیده

در این پژوهش، ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در فاصله ۷۰ کیلومتری شمال‌باختر زنجان مورد مطالعه قرار گرفته است. بخش میانی سازند قرمز بالایی ۹۴۵ متر ستبراً داشته و به ۴ بخش تقسیم می‌گردد. این بخش‌ها شامل تناوب واحدهای تبخیری و مارن‌های سبز با میان‌لایه‌های ژیبس‌دار با ستبرای ۳۰۰ متر، تناوب مارن‌های قرمز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی قرمز و خاکستری رنگ و میکروکنگلومرا (با فراوانی ناچیز) با ستبرای ۳۵۵ متر، تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ با ستبرای ۱۵۰ متر و تناوب مارن‌های سبز-خاکستری با میان‌لایه‌های ژیبس با ستبرای ۱۴۰ متر می‌باشند. ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً دربرگیرنده انواع خردسنگ‌های رسوبی، دگرگونی و آتشفشانی، کوارتزهای عمدتاً تک‌بلوری با خاموشی مستقیم و به میزان کمتر فلدسپات عمدتاً از نوع ارتوز می‌باشد و در فضای بین این ذرات، سیمان کربناته و به میزان کمتر ماتریکس شناسایی شده است. ماسه‌سنگ‌ها از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و به میزان کمتر لیت‌آرنایت (عمدتاً چرت‌آرنایت) بوده و بلوغ بافتی، این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً به صورت نیمه‌بالغ تا بالغ می‌باشند. لایه‌های میکروکنگلومرای نیز از نظر ترکیب سنگ‌شناسی مشابه با ماسه‌سنگ‌ها بوده و به صورت کنگلومرای خارج سازندی، ارتوکنگلومرا (زمینه کمتر از ۱۵ درصد) و از نوع چند منشأیی تقسیم‌بندی می‌شوند. براساس اجزای اصلی تشکیل‌دهنده و نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر کمیاب، جایگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها مناطق برخوردی و کوهزایی با چرخه مجدد است. هم‌چنین با توجه به داده‌های به‌دست آمده در این تحقیق، سنگ مادر ماسه‌سنگ‌ها بیش‌تر مربوط به سنگ‌های آذرین حدواسط تا فلسیک بوده و تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌خشک قرار داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: چینه‌نگاری سنگی، زمین‌شیمی، جایگاه تکتونیکی، بخش میانی سازند قرمز بالایی، زنجان

پیشگفتار

رسوبات آواری محسوب می‌شوند. امروزه علاوه بر داده‌های تجزیه مودال (دیکینسون، ۱۹۸۵)، از داده‌ها و نتایج بدست آمده از مطالعات زمین‌شیمیایی نیز برای تعیین سنگ‌شناسی ناحیه مادر (داس و همکاران، ۲۰۰۶؛ براسیالی و همکاران، ۲۰۰۷)، جایگاه تکتونیکی (روسر و کورش، ۱۹۸۸؛ قبادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ سرباز و همکاران، ۱۳۹۵؛ شرفی و همکاران، ۱۳۹۷ و احمدی قمی و همکاران، ۱۳۹۷)، هوازدگی شیمیایی (فدو و همکاران، ۱۹۹۵؛ هسلر و لوو، ۲۰۰۶؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۴) و زمین‌ساخت حوضه‌های رسوب‌گذاری آواری (باتیا و کروک، ۱۹۸۶؛ مک‌لنن، ۱۹۹۰) استفاده می‌شود. در این پژوهش، براساس اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها و داده‌های زمین‌شیمیایی و هم‌چنین با

سنگ‌های رسوبی آواری اطلاعات ارزشمندی در مورد محیط‌رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه می‌کنند (ریسر و همکاران، ۲۰۰۵). این سنگ‌ها در محیط‌های رسوبی متفاوتی که هر کدام دارای خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مخصوص به خود هستند، تشکیل می‌شوند (موسوی‌حرمی، ۱۳۹۱). ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری متأثر از عواملی مانند فعالیت‌های تکتونیکی، ویژگی‌های سنگ مادر، درجه هوازدگی، اثرات دیازتزی، حمل و نقل، اقلیم و پستی و بلندی می‌باشد (مک‌براید، ۱۹۸۵؛ ون اینانتن، ۲۰۰۴؛ ویت‌مور و همکاران، ۲۰۰۴) که از این بین، موقعیت تکتونیکی حوضه رسوبی و منطقه مادر مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده ترکیب

در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. برای نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها از جدول تقسیم‌بندی فولک (۱۹۸۰) استفاده شده است.

زمین‌شناسی منطقه و چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در فاصله حدود ۷۰ کیلومتری شمال‌باختر زنجان با مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 54' 45''$ تا $36^{\circ} 56' 34''$ عرض شمالی و $47^{\circ} 49' 1''$ تا $47^{\circ} 51' 49''$ طول خاوری قرار دارد. منطقه حمزه‌لو در تقسیمات پهنه‌های زمین‌ساختی- رسوبی ایران (علوی، ۱۹۹۱)، در بخش شمال‌باختری پهنه ایران مرکزی واقع شده است. این منطقه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان (لطفی، ۱۳۸۰) را در بخش‌های شمال تا شمال‌باختری آن به خود اختصاص داده است (شکل ۱). واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه مربوط به زمان‌های الیگوسن تا میوسن بوده و شامل سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی می‌باشند. سازند قرمز زیرین از نوع نهشته‌های قاره‌ای پلایا و شامل طبقات آواری قرمز رنگ و مارن‌های رنگارنگ می‌باشد که برحسب فراوانی مارن‌های قهوه‌ای و سبز قابل تقسیم است (آقانیاتی، ۱۳۸۳). سازند قم به ترتیب از قاعده به سمت بالا متشکل از آندزیت‌های بازالتی تا بازالت‌های ساب‌آلکانل در قسمت ابتدایی، آهک‌های بیومیکرایتی تا بیومیکرواسپارایتی ریفی نازک تا متوسط لایه در بخش میانی و مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های مارنی در بخش انتهایی سازند می‌باشد (لطفی، ۱۳۸۰).

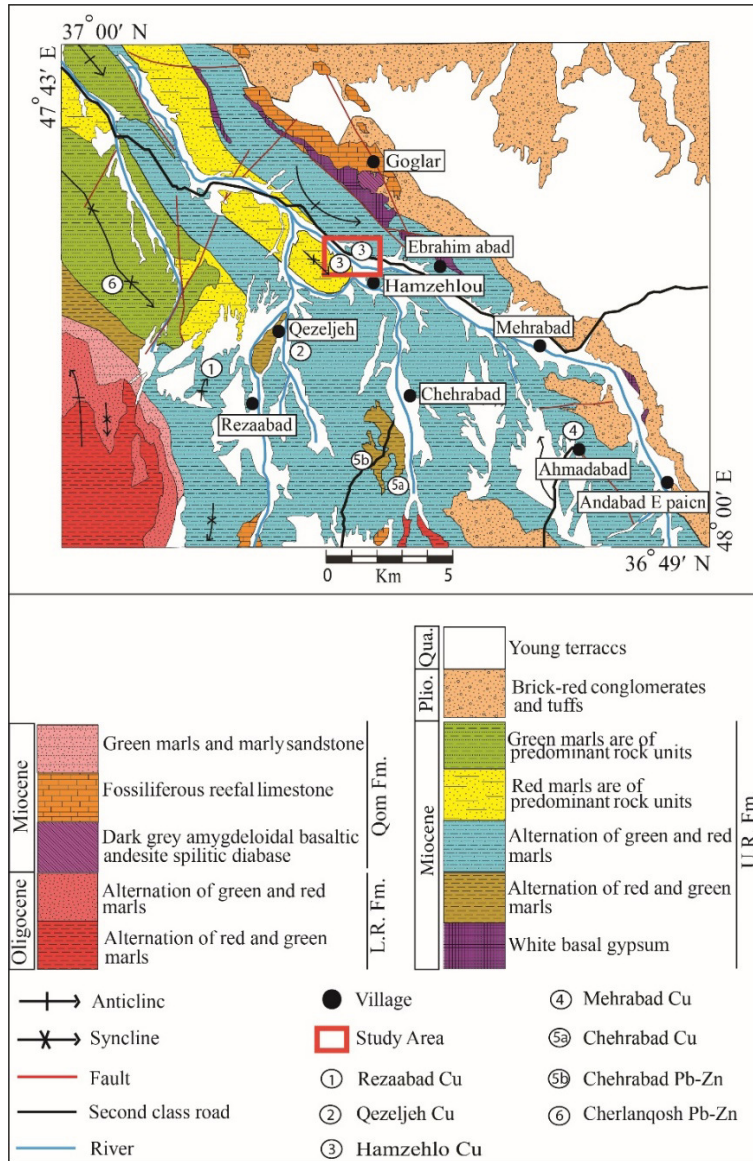
ترسیم انواع مختلف دیاگرام‌های تفکیک‌کننده سعی شده است جایگاه تکتونیکی، نوع سنگ مادر و آب و هوای دیرین سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در برش کانسار مس حمزه‌لو تعیین گردد.

روش مطالعه

در این پژوهش ابتدا براساس نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان (لطفی، ۱۳۸۰)، تصاویر ماهواره‌ای و سپس انجام بازدیدهای صحرایی، بهترین رخنمون از بخش میانی سازند قرمز بالایی در محدوده حمزه‌لو انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. در طی مطالعات صحرایی، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، رنگ، ضخامت، مرز و داخل لایه‌های ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی بررسی شد. در این مرحله، از لایه‌های ماسه‌سنگی نمونه‌برداری شد. سپس، از نمونه‌های برداشت‌شده، ۲۹ مقطع نازک تهیه و مورد بررسی‌های میکروسکوپی قرار گرفت. در هر مقطع نازک، به‌طور متوسط ۲۵۰ نقطه به روش گزی-دیکینسون که توسط اینگرسول و همکاران (۱۹۸۴) بیان شده است، شمارش گردید. به‌منظور بررسی‌های زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها و تعیین برخاستگاه و موقعیت تکتونیکی آن‌ها، تعداد ۱۰ نمونه از ماسه‌سنگ‌ها با کمترین میزان هوازدگی انتخاب و به روش *ICP-MS* در آزمایشگاه شرکت زرآزما در تهران آنالیز گردید. برای ترسیم دیاگرام‌های مورد نظر از نرم‌افزارهای *GCDkit Jgpet Adobe illustrator* و *Excel* استفاده شده است. علائم اختصاری استفاده شده

جدول ۱. علائم اختصاری استفاده شده در جداول و تصاویر (اقتباس از دیکینسون، ۱۹۸۵؛ ویتنی و اوانس، ۲۰۱۰)

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



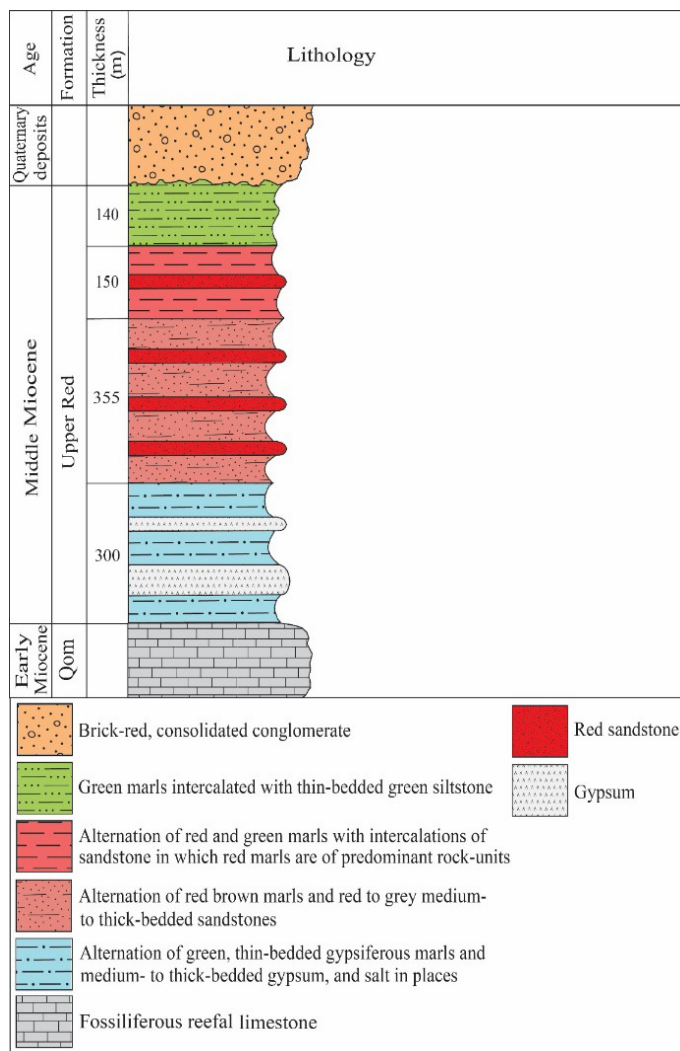
شکل ۱. بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان و موقعیت منطقه مورد مطالعه (مستطیل قرمز) بر روی آن (با اندکی تغییرات از لطفی، ۱۳۸۰).

۱۴۰ متر می‌باشد (شکل ۲). در بخش دوم سازند قرمز بالایی، ۶ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ وجود دارد که به‌طور متناوب با لایه‌های سخت نشده و سست مارنی قرمز رنگ حاوی کربنات کلسیم دانه‌ریز، قرار گرفته‌اند (شکل ۳). اطلاعات برداشت شده از این بخش، به‌طور کامل در شکل ۴ ارائه شده است. همانگونه که در این شکل نیز مشخص است این بخش، از سیکل‌های به سمت بالا ریزش‌ونده تشکیل شده است. به‌طوریکه این سیکل‌ها در قسمت تحتانی از لایه‌های میکروکنگلومرای به ضخامت حدود ۱ متر تشکیل شده و به سمت بالا به صورت تدریجی به لایه‌های ماسه‌سنگی و در نهایت مارن

براساس مطالعات صحرایی انجام شده، بخش میانی سازند قرمز بالایی در این منطقه ۹۴۵ متر ستبراً داشته و به ۴ بخش قابل تقسیم است. این بخش‌ها به‌ترتیب از پایین به بالا شامل: ۱- تناوب واحدهای تبخیری متوسط تا ضخیم‌لایه و مارن‌های سبز نازک‌لایه حاوی ژئیس خاکستری رنگ با ستبرای ۳۰۰ متر، ۲- تناوب مارن‌های قرمز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ قرمز و خاکستری رنگ با ستبرای ۳۵۵ متر، ۳- تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ خاکستری رنگ با ستبرای ۱۵۰ متر و ۴- تناوب مارن‌های سبز- خاکستری با میان‌لایه‌های نازک‌لایه سیلت‌سنگ سبزرنگ با ستبرای

پلیوسن و تراس‌های رودخانه‌ای کوتاه‌تری، جوان‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در این منطقه هستند که با ناپیوستگی زاویه‌دار، بخش میانی سازند قرمز بالایی را می‌پوشانند (شکل ۱).

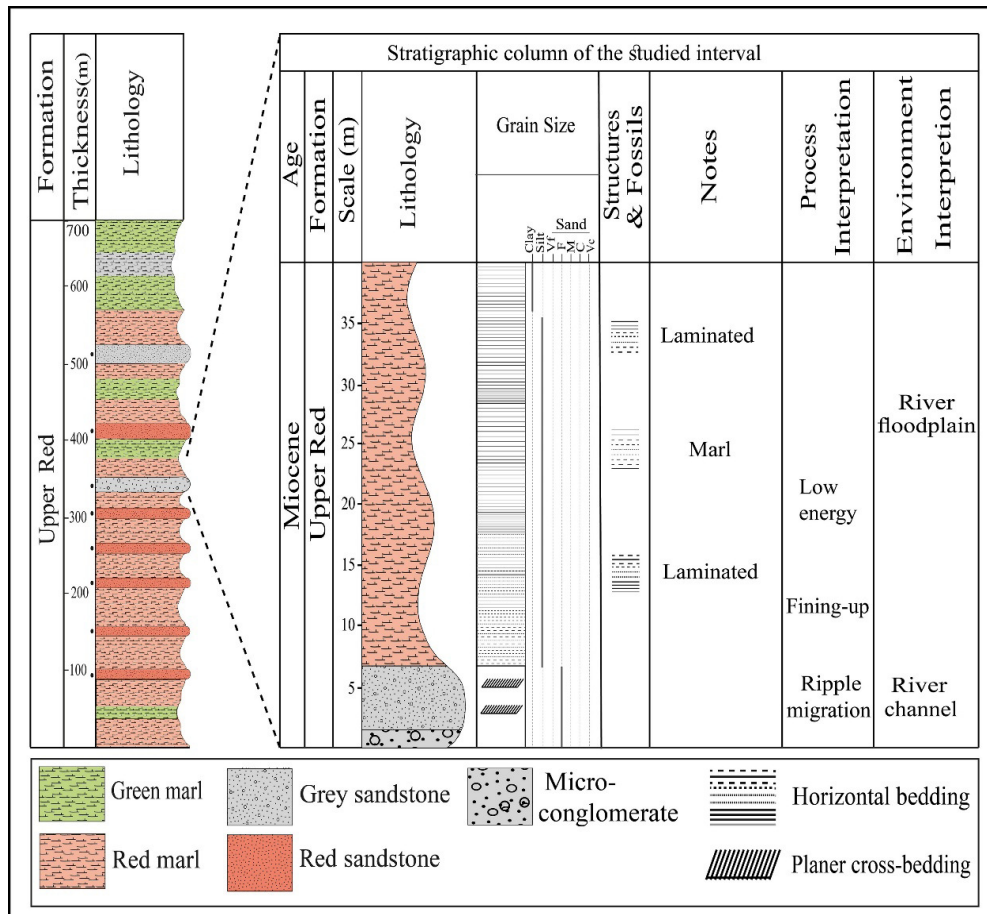
قرمز تبدیل می‌شود. لایه‌های ماسه‌سنگی به‌طور میانگین بین ۰/۵ تا ۶ متر ستبراً داشته و دارای ساخت‌های رسوبی مانند چینه‌بندی مورب مسطح و افقی، ریپل‌مارک‌ها، لایه‌بندی هترولیتیکی، قالب‌های وزنی و آثار ترک‌های گلی و موجودات حفار می‌باشند. کنگلومرای



شکل ۲. ستون سنگ‌چینه‌ای بخش میانی سازند قرمز بالایی در تَرش حمزه‌لو



شکل ۳. تصویر صحرایی از تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی در بخش دوم سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو (دید به سمت شمال‌باختر).



شکل ۴. توالی چینه‌شناسی بخش ماسه‌سنگی و مارنی بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش حمزه‌لو. در بخش پایین توالی مورد مطالعه میکروکنگلومرای و ماسه‌سنگ خاکستری قابل مشاهده می‌باشد که بر روی این توالی به سمت بالا مارن‌های قرمز رنگ تشکیل شده است.

سنگ‌نگاری (ماسه‌سنگ‌ها و میکروکنگلومرای)

ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو به رنگ خاکستری تا قرمز بوده و از نظر اندازه عمدتاً دانه‌ریز تا دانه‌متوسط هستند. این ماسه‌سنگ‌ها دارای جورشدگی ضعیف تا متوسط بوده و دانه‌ها نیز زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار می‌باشد. از لحاظ بلوغ بافتی، این ماسه‌سنگ‌ها در بُرش مورد مطالعه نیمه‌بالغ تا بالغ می‌باشند. براساس ترکیب مودال محاسبه شده (جدول ۲)، این ماسه‌سنگ‌ها به طور میانگین از ۲۷ درصد خُرده‌سنگ، ۲۰ درصد کوارتز و ۱۱ درصد فلدسپات (ارتوز و پلاژیوکلاز) تشکیل شده‌اند (شکل ۵). خُرده‌سنگ‌ها فراوان‌ترین ذرات آواری در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه هستند. براساس مطالعات میکروسکوپی، این قطعات از ۱۸ درصد خُرده‌سنگ رسوبی (۸ درصد چرت، ۶ درصد خُرده‌سنگ ماسه‌سنگی و ۴ درصد خُرده‌سنگ

فسیلی و آهکی)، ۷ درصد خُرده‌سنگ دگرگونی و ۲ درصد خُرده‌سنگ آتشفشانی تشکیل شده‌اند. کوارتزها در مقاطع مورد مطالعه به صورت کوارتزهای چندبلوری و تک‌بلوری با خاموشی‌های موجی و مستقیم هستند. به‌طور میانگین، کوارتزهای تک‌بلوری ۱۷ درصد و کوارتزهای چندبلوری ۳ درصد و هم‌چنین کوارتزهای خاموشی‌های مستقیم ۱۷ درصد و خاموشی‌های موجی ۳ درصد کل کوارتزها را در مقاطع میکروسکوپی تشکیل می‌دهند. فلدسپات‌ها (ارتوز و پلاژیوکلاز) به‌طور میانگین حدود ۱۱ درصد از کل حجم مقاطع را به خود اختصاص می‌دهند. ارتوز ۹ درصد و پلاژیوکلاز ۲ درصد از مجموع فلدسپات‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند. از دیگر ذرات موجود در این ماسه‌سنگ‌ها می‌توان به کانی‌های کدر (۷ درصد)، هیدروکسید آهن (۳ درصد)، بیوتیت (۱ درصد)، اپیدوت و مسکوویت (۱ درصد) اشاره کرد. زمینه

نمونه‌های میکروکنگلومرایی نیز از نظر ترکیب سنگ‌شناسی بسیار مشابه با نمونه‌های ماسه‌سنگی بوده و در آن‌ها خرده‌سنگ‌های رسوبی و دگرگونی غالب ذرات تشکیل‌دهنده سنگ را تشکیل می‌دهند. این کنگلومراها به صورت کنگلومرای خارج سازندی، ارتوکنگلومرا (ماتریکس کمتر از ۱۵ درصد) و از نوع پلی‌میکتیت (چند منشأیی) تقسیم‌بندی می‌شوند.

ماسه‌سنگ‌ها (در برگیرنده سیمان کربناته، ماتریکس و فضاهای خالی) در مجموع ۳۰ درصد فضای مقاطع را فرا گرفته‌اند. با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها و براساس نام‌گذاری آن‌ها به روش فولک (۱۹۸۰)، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمدتاً از نوع فلدسپاتیک سدآرنایت و به‌میزان کمتر از نوع لیت‌آرنایت (عمدتاً فلدسپاتیک چرت‌آرنایت) هستند (شکل‌های ۵ و ۶).

جدول ۲. درصد ترکیب مودال نمونه‌های ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش حمزه‌لو که از شمارش نقطه‌ای به‌دست آمده است.

Sample No.	Size and lithology	%Q					%F					%L					%Groundmass				%Accessory minerals					
		Qm	Qp	Qnon	Qun	Qt	Or	Pl	Ft	Lv	Lm	%Ls			Lt	M	C	P	Bio	Ep	Chl	Mus	Iron oxide	Opaque	Total	
												Cht	LLs	Lsst												
H1	Fine sandstone	18	3	18	3	21	9	1	10	1	6	8	2	5	22	5	15	4	0.5	0.5	2	0.5	2.5	9	15	
H3	Fine sandstone	18	3	18	3	21	10	1	11	1	7	6	1	3	18	5	17	8	0.5	0.5	3	0.5	2.5	7	14	
H5	Fine sandstone	19	2	16	5	21	9	1	10	1	6	9	2	3	21	5	17	3	1	0.5	2	0.5	5	6	15	
H7	Fine sandstone	17	3	17	3	20	10	2	12	1	6	8	2	4	21	7	14	4	0.5	0.5	3	0.5	3.5	7	15	
H9	Very fine to fine sandstone	14	4	13	5	18	8	1	9	1	7	8	6	3	25	8	20	10	1	0.5	2	0.5	3	3	10	
H10	Fine sandstone	19	3	17	5	22	11	0	11	2	7	6	8	2.5	36	6	16	6	2	1	3	0.5	1	3	10.5	
H11	Medium sandstone	18	4	19	3	22	10	2	12	2	9	7	4	5	27	4	16	6	1	1	2	0.5	3	5.5	13	
H18	Fine sandstone	20	2	18	4	22	10	2	12	1	5	8	2	3	19	6	13	6	0.5	0.5	1	1	5	8	16	
H21	Medium sandstone	18	2	15	5	20	9	1	10	1	7	9	2	4	23	6	13	4	2	0.5	1	1	5	6.5	16	
H22	Fine sandstone	17	3	14	6	20	8	2	10	2	8	8	6	4	28	6	16	6	1	0.5	3	0.5	5	4	14	
H23	Fine sandstone	17	4	16	5	21	10	2	12	2	10	8	4	4	28	5	15	5	2	0.5	2	0.5	4	5	14	
H24	Fine sandstone	19	2	18	3	21	8	1	9	2	10	8	5	4	29	8	17	4	1	0.5	4	0.5	4	2	12	
H24a	Fine sandstone	19	3	18	4	22	8	2	10	2	9	8	4	4	27	6	16	6	2	0.5	3	0.5	4	3	13	
H25	Very fine to fine sandstone	19	2	17	4	21	10	1	11	2	8	8	4	5	27	6	15	11	1	0.5	3	0.5	2	2	9	
H27	Medium sandstone	21	2	8	15	23	11	3	14	1	8	7	7	3	26	4	13	12	1	0.5	2	0.5	1	3	8	
H28	Fine to medium sandstone	18	2	17	3	20	8	2	10	2	7	7	3	7	26	5	17	10	2	0.5	2	0.5	3	4	12	
H29	Medium to coarse sandstone	17	4	16	5	21	9	2	11	2	5	9	10	5	31	5	17	12	0	0	0.5	0	1	1.5	3	
H29a	Medium sandstone	15	4	17	2	19	9	1	10	2	6	8	9	9	34	6	9	14	1	0.5	1	0.5	3	2	8	
H30	Medium sandstone	18	2	18	2	20	9	2	11	3	6	7	5	4	25	4	19	5	0.5	1	2	0.5	4	8	16	
H31	Fine sandstone	18	2	17	3	20	10	2	12	1	8	8	4	4	25	6	13	8	1	0.5	2	0.5	8	4	16	
H32	Medium sandstone	19	4	19	4	23	10	2	12	2	8	8	4	3	25	5	13	11	1	0.5	2	0.5	3	4	11	
H34	Medium sandstone	18	4	19	3	22	10	2	12	3	4	5	9	7	28	5	18	8	0.5	0.5	2	0.5	1.5	2	7	
H35	Medium sandstone	18	3	16	5	21	9	3	12	2	9	7	4	5	28	5	16	6	1.5	0.5	2.5	0.5	3	4	12	
H36	Coarse sandstone	15	5	18	2	20	9	2	11	3	4	7	9	3	26	4	14	7	0.5	0.5	2.5	0.5	2.5	8	14.5	
H39	Coarse sandstone	12	5	12	5	17	7	1	8	3	5	8	10	7	33	5	17	9	0.5	0.5	3	0.5	3	3.5	11	
H42	Coarse sandstone	16	3	16	3	19	9	1	10	3	4	8	9	7	31	5	14	5	0.5	0.5	2.5	0.5	3	5	12	
H45	Fine sandstone	18	4	15	7	22	8	1	9	1	7	8	2	5	23	4	18	2	0.5	0.5	3	0.5	2.5	8	15	
H40	Micro-conglomerate	12	8	15	5	20	9	1	10	2	5	8	10	9	34	5	17	4	0.5	0.5	1	0.5	1	1.5	5	
H41	Micro-conglomerate	11	7	13	5	18	8	1	9	3	6	7	9	8	33	4	18	5	0.5	0.5	1	0.5	2	4.5	9	

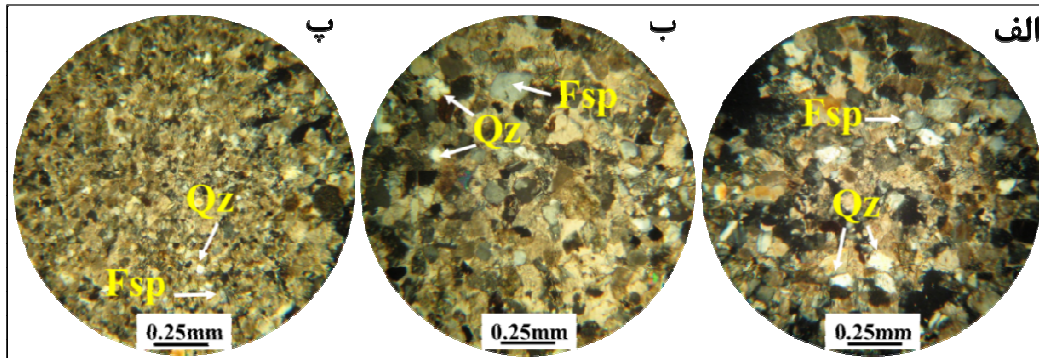
(نورث و همکاران، ۲۰۰۵). در گذشته، بررسی برخاستگاه سنگ‌های رسوبی براساس تجزیه‌های سنگ‌نگاری ذرات دانه‌درشت انجام می‌شده است، اما امروزه از روش‌های زمین‌شیمیایی نیز برای تعیین برخاستگاه سنگ‌های

مطالعات زمین‌شیمیایی

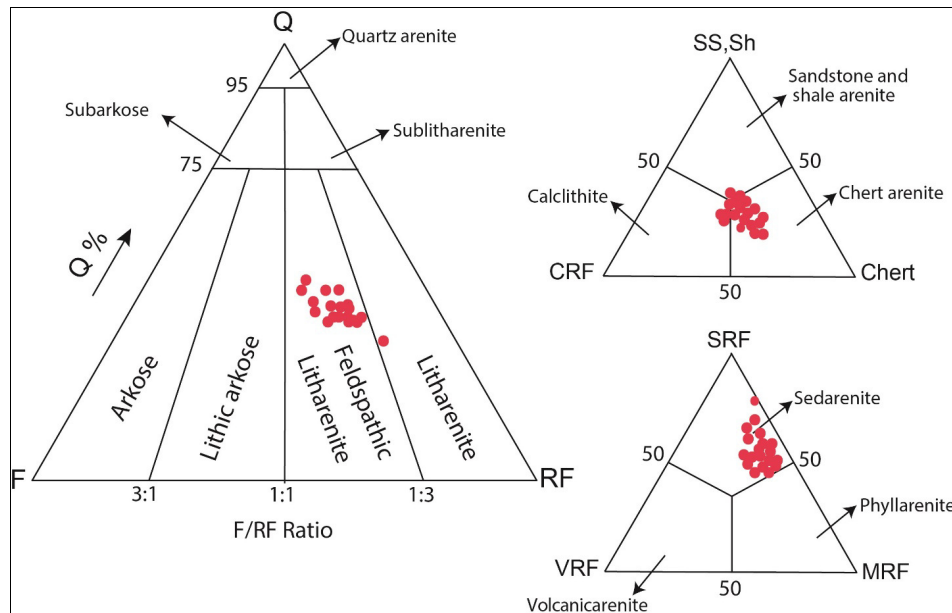
بررسی زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به‌عنوان ابزاری قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط‌رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی برخاستگاه آن‌ها استفاده می‌شود

۱۰ نمونه ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش حمزه‌لو ارائه شده است. طبق این جدول، نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه به‌طور میانگین دارای ۵/۷۴ پی‌پی‌ام کبالت، ۲۱ پی‌پی‌ام لانتانیم، ۸/۳۹ پی‌پی‌ام اسکاندیم، ۴/۵۶ پی‌پی‌ام توریم، ۹/۶۰ پی‌پی‌ام وانادیم و ۴۹ پی‌پی‌ام زیرکونیم هستند.

رسوبی استفاده می‌شود (هاسان و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین، از آثار زمین‌شیمیایی ثبت‌شده در سنگ‌های سیلیسی آواری می‌توان برای مطالعه سنگ مادر آن‌ها استفاده کرد (تیلور و مک‌لنن، ۱۹۸۵؛ کندای و همکاران، ۱۹۹۲؛ کولرس، ۱۹۹۵؛ کولرس و پودکوویرو، ۲۰۰۲). در جدول ۳ نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب



شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه مقاطع، XPL) از واحدهای ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو. الف و ب: فلدسپاتیک لیت‌آرنایت، پ: لیت‌آرنایت



شکل ۶. موقعیت ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش حمزه‌لو بر روی نمودارهای مثلثی فولک (۱۹۸۰).

هوای گرم و مرطوب، توسعه دگرسانی و تخریب کانی‌های ناپایدار و خُرده‌سنگ‌ها را باعث می‌شود، اما آب و هوای سرد و خشک، حفظ شدن این اجزای ناپایدار را سبب می‌شود (سسیل و ادگار، ۲۰۰۳). براساس نمودار نسبت $(Qp/F+L)$ در مقابل $(Qt/F+L)$ ساتنر و دوتا (۱۹۸۶)، نمونه‌های ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در

هوازدگی و آب و هوا

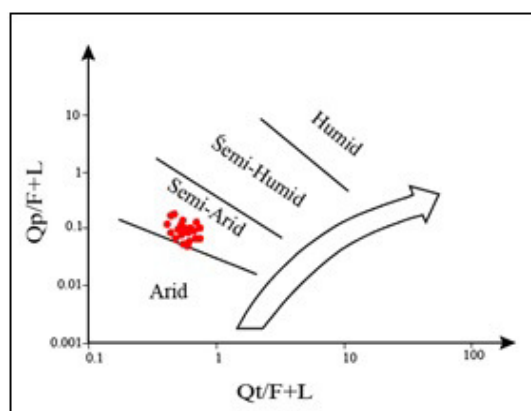
آب و هوا از دیگر عوامل کنترل‌کننده ترکیب ماسه‌سنگ‌هاست (ساتنر و همکاران، ۱۹۸۱) که همراه با فرآیندهای هوازدگی، نقش مهمی در ترکیب نهایی ماسه‌سنگ‌ها و در نتیجه بر تفسیرهای خاستگاه دارد (ساتنر و دوتا، ۱۹۸۶؛ کاوازا و اینگرسول، ۲۰۰۵). آب و

و تهنشست بخش میانی سازند قرمز بالایی نیز آب و هوای نیمه‌خشک تا خشک در منطقه مورد مطالعه حکمفرما بوده است. نظیر چنین شرایط آب و هوایی نیز توسط رضایی و همکاران (۱۳۹۴) برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی منطقه حسن‌آباد (جنوب‌غرب تهران) در نظر گرفته شده است.

منطقه حمزه‌لو در آب و هوای نیمه‌خشک قرار می‌گیرند (شکل ۷). به‌طور کلی، با توجه به مطالعات صحرائی و سنگ‌نگاری انجام شده بر روی ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه نظیر حضور میان‌لایه‌های گچی و دیگر واحدهای تبخیری در بخش میانی سازند قرمز بالایی در محدوده ماه‌نشان نشان می‌دهد که در زمان رسوب‌گذاری

جدول ۳. نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر کمیاب ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو. داده‌ها برحسب پی‌پی‌ام می‌باشند.

	Pr	Rb	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th
DL	0.05	1	50	0.5	0.5	0.5	0.02	0.1	1	0.1	0.1	0.1	0.1
H11	5	36	619	0.8	9	1.83	4.36	1	410.6	0.63	0.53	<0.1	5.04
H23	4.66	45	257	0.8	9	1.49	3.86	1.3	166.2	0.61	0.53	0.18	5.28
H24	4.47	47	227	0.7	8.2	1.56	3.74	1	209	0.5	0.53	<0.1	4.34
H27	3.78	44	496	0.8	9	1.53	3.36	1	459.2	0.55	0.48	0.15	4.74
H28	6.34	34	1125	0.7	7.6	2.13	6.13	1.1	508.7	0.63	0.55	0.13	5.09
H29A	3.52	40	1040	0.9	5.5	1.15	2.76	1	563.3	0.45	0.41	0.4	4.46
H30	5.1	28	636	0.9	11.8	1.57	4.32	0.9	383.9	0.45	0.56	0.11	3.85
H31	4.65	55	554	0.9	9.3	1.95	3.63	1.1	265.5	0.57	0.53	0.26	5.51
H32	3.96	30	280	0.7	7.3	1.32	3.53	0.9	243.1	0.44	0.51	0.11	3.5
H35	4.36	34	220	0.6	7.2	1.4	3.23	0.9	291.4	0.49	0.48	0.1	3.88
	Ta	Tb	Te	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
DL	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1	1	0.5	0.05	1	5
H11	0.63	0.53	<0.1	5.04	0.25	0.23	1.3	69	<1	15.6	1.6	55	48
H23	0.61	0.53	0.18	5.28	0.24	0.23	1.3	66	1.1	15.5	1.6	54	56
H24	0.5	0.53	<0.1	4.34	0.27	0.22	1.2	58	<1	15.7	1.4	153	51
H27	0.55	0.48	0.15	4.74	0.28	0.22	1.3	66	1	15.3	1.5	59	56
H28	0.63	0.55	0.13	5.09	0.2	0.21	1.4	58	<1	14.9	1.3	49	43
H29A	0.45	0.41	0.4	4.46	0.25	0.17	1.3	45	<1	12.2	0.8	65	42
H30	0.45	0.56	0.11	3.85	0.19	0.22	1.5	70	<1	15.9	1.5	40	41
H31	0.57	0.53	0.26	5.51	0.31	0.25	1.7	72	1.1	16.4	1.7	64	64
H32	0.44	0.51	0.11	3.5	0.17	0.22	1.15	51	<1	15.5	1.5	40	45
H35	0.49	0.48	0.1	3.88	0.2	0.19	1.3	54	<1	14.6	1.3	38	44



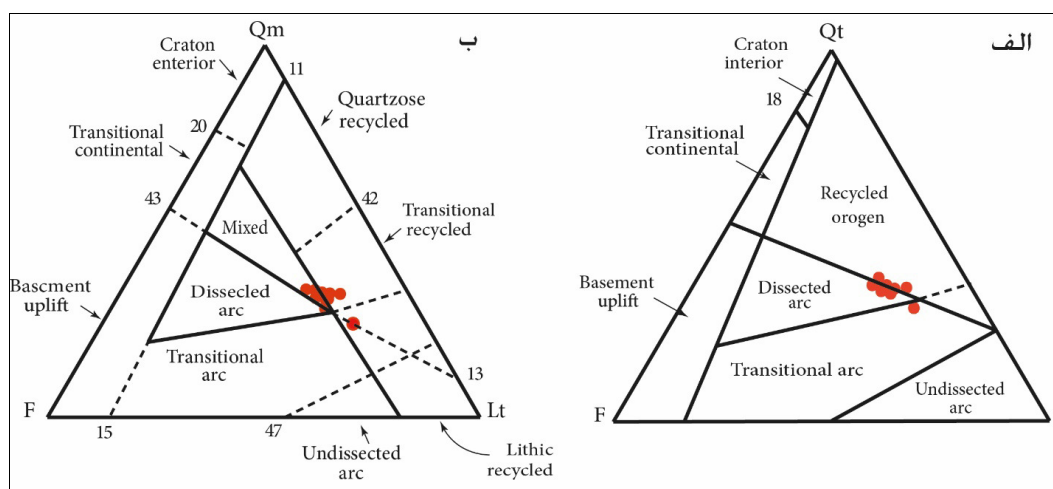
شکل ۷. موقعیت ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو بر روی نمودار $(Qp/F+L)$ در مقابل $(Qt/F+L)$ سانترو دوتا (۱۹۸۶).

جایگاه تکتونیکی

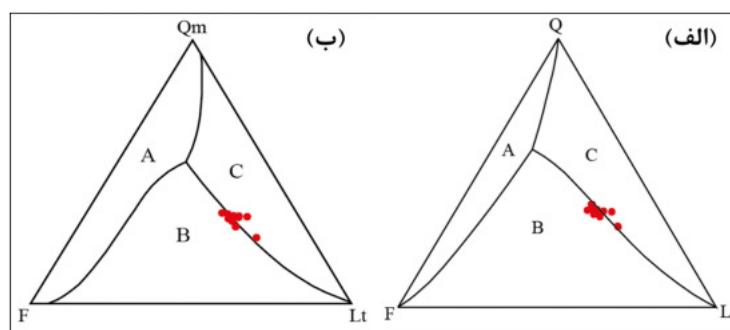
جایگاه تکتونیکی نقش مهمی را در ترکیب ماسه‌سنگ‌ها دارد و تحت تأثیر محیط‌های تکتونیکی متفاوت، ترکیب ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند تغییر کند (چاملی، ۱۹۹۰). محققین مختلفی (برای مثال باتیا و کروک، ۱۹۸۶) درباره مفید بودن بررسی زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب سنگ‌های رسوبی با استفاده از نمودارهای تفکیکی، برای شناخت جایگاه زمین‌ساختی شرح داده‌اند. از دیگر گرام‌های مختلفی برای پی بردن و شناخت جایگاه تکتونیکی حوضه‌های رسوب‌گذاری ماسه‌سنگ‌های منطقه حمزه‌لو استفاده شده است.

نمودارهای دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳) و دیکینسون و سوچک (۱۹۷۹): برای تعیین جایگاه تکتونیکی رسوبات سیلیسی- آواری می‌توان از دو دیگرام مثلی که بر پایه نسبت مقدار کوارتز کل، فلدسپات و خُرده‌سنگ ($Qt-F-L$) دیکینسون و سوچک (۱۹۷۹) و نسبت مقدار کوارتز تک‌بلور، فلدسپات و خُرده‌سنگ کل

($Qm-F-Lt$) دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳) می‌باشند استفاده کرد. طبق این نمودارها (شکل ۸)، ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو به دلیل فراوانی خُرده‌سنگ‌ها نسبت به کوارتز و فلدسپات، در محدوده چرخه مجدد کوهزایی (شکل ۸-الف) و چرخه انتقالی مجدد (شکل ۸-ب) قرار گرفته‌اند. مطالعات صورت گرفته توسط رضایی و همکاران (۱۳۹۴) بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه حسن‌آباد (جنوب‌غرب تهران) این نتایج را تأیید می‌نماید. **نمودار ولتز (۲۰۰۶):** براساس نمودارهای QFL و $Qm F Lt$ ، ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی به دلیل فراوانی خُرده‌سنگ‌ها در این ماسه‌سنگ‌ها، به میزان کمتر در نواحی خاستگاهی کمان ماگمایی (با توجه به حضور پلاژیوکلاز و خُرده‌سنگ‌های ولکانیکی به میزان کم) (شکل ۹-الف) و عمدتاً چرخه مجدد کوهزایی (شکل ۹-ب) قرار می‌گیرند.



شکل ۸. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های منطقه حمزه‌لو بر روی نمودارهای: الف- دیکینسون و سوچک (۱۹۷۹) و ب- دیکینسون و همکاران (۱۹۸۳).



شکل ۹. نمودارهای سه‌تایی برای شناسایی جایگاه تکتونیکی (ولتز، ۲۰۰۶). A: بلوک قاره‌ای، B: کمان ماگمایی، C: چرخه مجدد).

(بطور میانگین در حدود ۲ درصد) در نمونه‌های مورد مطالعه نیز این نوع سنگ منشأ را تأیید می‌نماید.

بحث

ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه ماه‌نشان (شمال‌باختر زنجان) طبق مطالعات انجام‌شده قبلی (به‌عنوان مثال: بیکدلی، ۱۳۹۳؛ جمالی‌پور، ۱۳۹۴؛ رحیمی، ۱۳۹۵؛ حقیقی، ۱۳۹۵؛ بالاتو و همکاران، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) به رژیم‌های تکتونیکی مختلفی نسبت داده شده‌اند. بالاتو و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) با بررسی نحوه تکامل حوضه‌های رسوب‌گذاری، تغییر شکل کوه‌زایی، پالئوتوپوگرافی و شبکه‌های رودخانه‌ای وابسته به آن، بر روی نهشته‌های سازند قرمز بالایی در شمال‌باختر ایران مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند. این محققین با انجام مطالعات صحرایی و سنگ‌نگاری، مطالعات ژئوکرونولوژی (روش‌های Ar/Ar و $U-Pb$ بر روی زیرکن)، مغناطیس‌سنجی و تجزیه و تحلیل محدوده‌های رشد در بخش‌های شمالی صفحه ایران به بررسی این محدود پرداخته‌اند. طبق تحقیقات ژئوکرونولوژی، سن نمونه‌های مستقل در مکان‌های مختلف، میوسن تعیین شده است. هم‌چنین، این محققین براساس مطالعات سنگ‌نگاری و آنالیزهای مودال، به بررسی برخاستگاه و جایگاه تکتونیکی و هم‌چنین به بررسی سیستم‌های گسلی و رژیم‌های تکتونیکی ناحیه پرداخته‌اند. داده‌های حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که حدود ۳۶ میلیون سال پیش در امتداد منطقه فرورانش نئوتتیس، ماگماتیسم کمانی خاتمه پیدا کرده است که در ادامه آن، یک تغییر رگرسیون زمین‌ساختی رخ داده است. این رخداد نشان‌دهنده یک زون برخوردی و فرورانشی بوده که باعث کوتاه و ضخیم‌شدن با نرخ ۵-۹ میلی‌متر در سال و رشد عمودی صفحه ایران شده است. در نتیجه افزایش توپوگرافی و تغییر شکل گسترده‌ای که رخ داده است، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در کوه‌های البرز افزایش پیدا کرده و حوضه فورلندی و نهشته‌شدن سازند قرمز بالایی در پی این فرسایش گسترده در منطقه شروع به رسوب‌گیری کرده است. در پژوهش حاضر نیز براساس تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای مودال و زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب، درصد بالای خردسنگ‌ها به‌خصوص خردسنگ رسوبی و حضور هر چند اندک

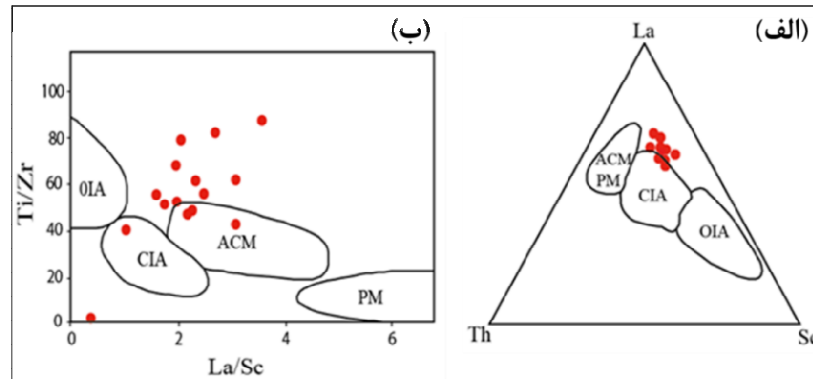
نمودارهای باتیا و کروک (۱۹۸۶): ترسیم مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌های ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در محدوده مورد مطالعه بر روی دیاگرام سه‌تایی باتیا و کروک (۱۹۸۶) نشان‌دهنده تشکیل این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً در یک محیط حاشیه فعال قاره‌ای و چرخه مجدد کوهزایی می‌باشد (شکل ۱۰-الف). هم‌چنین، ترسیم نسبت Ti/Zr به La/Sc عناصر فرعی نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه بر روی نمودار دوتایی باتیا و کروک (۱۹۸۶) حاکی از تشکیل این سنگ‌ها در یک محیط زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای است (شکل ۱۰-ب).

سنگ مادر

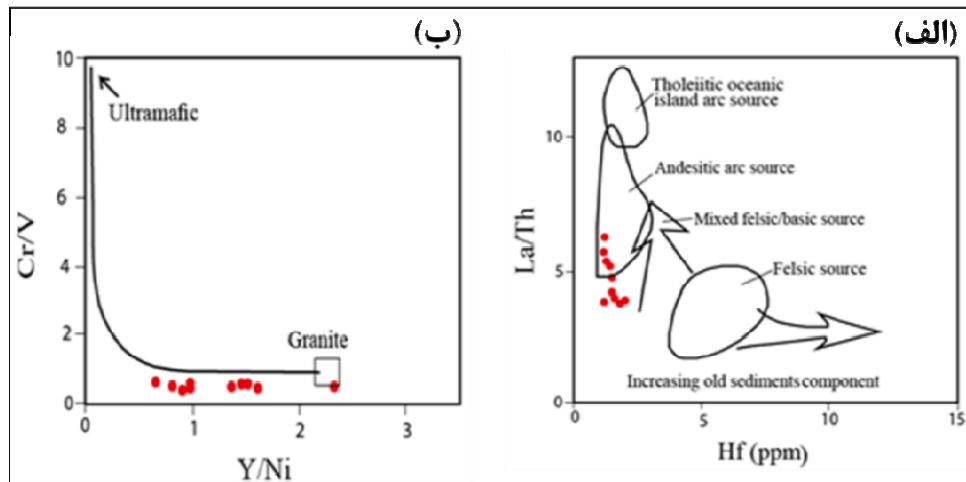
ترکیب شیمیایی سنگ‌های آواری تابع فرآیندهای پیچیده‌ای مانند هوازدگی، حمل و نقل و دیاژنز است. بنابراین با استفاده از نسبت‌های شیمیایی موجود در ماسه‌سنگ‌ها می‌توان برای تعیین سنگ مادر بهره برد. عناصر کمیاب در سنگ‌های آواری از عناصر مهم در تعیین سنگ‌شناسی سنگ مادر هستند زیرا عناصر ناسازگار معمولاً در سنگ‌های فلسیک، عناصر لیتوفیل بزرگ یون ($LILE$) در پوسته قاره‌ای و عناصر سازگار معمولاً در سنگ‌های مافیک و اولترامافیک فراوان هستند (مکلنن و همکاران، ۱۹۹۰). یکی از نمودارهایی که از عناصر کمیاب در تعیین سنگ مادر استفاده می‌شود، نمودار Hf در برابر La/Th (فلوید و لوریدج، ۱۹۸۷) است. براساس این نمودار، نمونه‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو در محدوده سنگ مادر سنگ‌های فلسیک و به میزان کمتر مافیک قرار می‌گیرند (شکل ۱۱-الف). ترسیم نمونه‌ها بر روی نمودار Cr/V در برابر Y/Ni (فلوید و لوریدج، ۱۹۸۷) نیز نشان می‌دهد که نمونه‌ها بیش‌تر متمایل به سنگ مادر حدواسط تا گرانیته هستند (شکل ۱۱-ب). هم‌چنین برای تفکیک سنگ مادرهای بازالتی، حدواسط و فلسیک می‌توان از نسبت Co/Th در مقابل La/Sc استفاده کرد (گیو و همکاران، ۲۰۰۲). براساس این دیاگرام، نمونه‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو عمدتاً فلسیک و به میزان کمتر مافیک قرار می‌گیرند (شکل ۱۲). لازم به توضیح است که درصد فراوانی کوارتز (بطور میانگین ۲۰ درصد) و مقادیر پایین خردسنگ‌های ولکانیکی

دریایی منطقه شده و افزایش سرعت تجمع رسوبات و روند فرسایش شده است. هم‌چنین، این رخدادها سبب شکل‌گیری پهنه‌بندی مرتفع جغرافیایی شمال‌باختری ایران در میوسن شده است. در اثر فرسایش این ارتفاعات، رسوبات فراوانی در حوضه‌های رودخانه‌ای و بر روی نهشته‌های سازند قم در پهنه ایران مرکزی نهشته شده و سازند قرمز بالایی را با ضخامت قابل‌توجه تشکیل داده‌اند.

کوارتزهای چندبلوری می‌توان بیان کرد که ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو، موقعیت تکتونیکی برخوردی و کوهزایی با چرخه مجدد را نشان می‌دهند. تمامی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه (بالاتو و همکاران، ۲۰۰۸؛ ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶) نشان می‌دهد که این منطقه هنگام برخورد صفحه عربستان با اورسیا در جایگاه فورلندی قرار داشته است. این تصادم سبب تسریع در بالآمدن حوضه‌های کم‌عمق



شکل ۱۰. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو بر روی نمودارهای سه‌تایی باتیا و کروک (۱۹۸۶)، ACM: حاشیه فعال قاره‌ای، PM: حاشیه غیرفعال قاره‌ای، CIA: جزایر کمانی قاره‌ای، OIA: جزایر کمانی اقیانوسی.



شکل ۱۱. موقعیت ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو بر روی نمودارهای La/Th در مقابل Hf و Cr/V در مقابل Y/Ni (فلوید و لوریدج، ۱۹۸۷).

گرفته‌اند. براساس مطالعات میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی عناصر کمیاب انجام شده، واحدهای ماسه‌سنگی بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و به میزان کمتر از نوع لیت‌آرنایت (عمدتاً چرت‌آرنایت) هستند. ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها بیش‌تر متأثر از سنگ مادر می‌باشد و

نتیجه‌گیری

بخش میانی سازند قرمز بالایی در منطقه حمزه‌لو واقع در شمال‌باختر زنجان حدود ۹۴۵ متر ستبراً داشته و بر روی سازند قم قرار گرفته است. در بخش دوم سازند قرمز بالایی، ۶ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ وجود دارد که به‌صورت متناوب با لایه‌های مارنی قرمز رنگ قرار

منطقه حسن‌آباد (جنوب‌غرب تهران)، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۳، شماره ۶، ص ۴۳-۵۶.

سرباز، ن.، محبوبی، ا.، موسوی‌حرمی، ر.، خانه‌باد، م.، ماهانی‌پور، ا. (۱۳۹۵) خاستگاه و موقعیت تکتونیکی سازند کشف‌رود در برش ناویا (غرب بجنورد) بر مبنای مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۴، شماره ۸، ص ۸۹-۱۰۲.

شرفی، م.، موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، ا.، جعفرزاده، م. (۱۳۹۷) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند جیرود در البرز مرکزی، کاربرد در تعیین خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۱-۲۴.

قبادی، م. ح.، رفیعی، ب.، حیدری، م.، موسوی، س.، اسفندیاری، م. (۱۳۹۳) ژئوشیمی و خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند آغاچاری در استان خوزستان، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۲، شماره ۳، ص ۴۸-۶۱.

لطفی، م. (۱۳۸۰) نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

موسوی‌حرمی، ر. (۱۳۹۱) رسوب‌شناسی. انتشارات آستان قدس رضوی، ۴۷۶ ص.

Alavi, M (1991) *Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin*, 103: 983-992.

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 (4): 417-446.

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: 1-20

Ballato, P., Uba, C. E., Landgraf, A., Strecker, M. R., Sudo, M., Stockli, D. F., Friedrich, A., Tabatabaei, S. H (2014) *ArabiaEurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran. Journal of Geological Society of America Bulletin*, 123: 106-131.

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.

چرخه‌های رسوبی تأثیر چندانی در ترکیب آن‌ها نداشته است. طبق نتایج مطالعات زمین‌شیمیایی، سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در محدوده مورد مطالعه از نوع آذرین حدواسط تا فلسیک می‌باشد. براساس داده‌های حاصل از نقطه‌شماری و مطالعات ژئوشیمیایی و نسبت بین کوارتزها، خرده‌سنگ‌ها و فلدسپات‌ها، جایگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها کوهزایی با چرخه مجدد است. نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی و حضور واحدهای تبخیری همراه با توالی مارن و ماسه‌سنگی مورد مطالعه، بیانگر این است که ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در هنگام نهشته‌شدن تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌خشک قرار داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارائه نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

احمدی‌قمی، ف.، رفیعی، ب.، صدر، ا. ح. (۱۳۹۷) بازنگری سازند قرمز بالایی به سن میوسن در منطقه آوج-آبگرم، غرب ایران. مجله رسوب‌شناسی کاربردی. دوره ۶، شماره ۱۲، ص ۴۰-۶۱.

آقائباتی، س. ع. (۱۳۸۲) زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.

بیکدلی، ز. (۱۳۹۳) کانی‌شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان کانسنگ مس در منطقه‌ی چهرآباد، شمال‌شرق ماه‌نشان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۳۳ ص.

جمالی‌پور، س. (۱۳۹۴) کانی‌شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان و کانسنگ سرب در منطقه‌ی چرلانقوش، شمال‌شرق ماه‌نشان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۵۰ ص.

حقیقی، آ. (۱۳۹۵) کانی‌شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان و کانسنگ کانسار سرب و روی اورتاسو، شمال‌غرب زنجان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه زنجان، ۹۷ ص.

رحیمی، ر. (۱۳۹۵) کانی‌شناسی و نحوه‌ی تشکیل مس در منطقه‌ی قزلجه، زنجان. پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۷ ص.

رضایی، خ.، فروغی شادباد، ش.، اسدی، ا. (۱۳۹۴) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالایی در برش

- sandstones. *Geological Society of London*, 144: 531-542.
- Folk, R. L (1980) *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphill, 159 p.
- Gu, X. X., Liu, J. M., Zheng, M. H., Tang, J. X., Qi, L (2002) Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, South China: Geochemical evidence. *Journal of Sedimentary Research*, 72: 393-407.
- Hassan, S., Ishiga, H., Roser, B. P., Dozen, K. Naka, T (1999) Geochemistry of Permian-Triassic shales in the Salt Range, Pakistan: implications for provenance and tectonism at the Gondwana margin. *Chemical Geology*, 158: 293-314.
- Hessler, A. M. Lowe, D. M (2006) Weathering and sediment generation in the Archean: An integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. *Precambrian Research*, 151: 185-210.
- Ingersoll, R. V., Bullard, T. F., Ford, R. L., Grimm, J. P., Pickle, J. D., Sares, S. W (1984) The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 103-116.
- Mcbride, E. F (1985) Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In: Zuffa, G. G., (Eds.), *Provenance of arenites*. Reidel Publishing Company, 407: 95-113.
- 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 2015-2050.
- North, C. P., Hole, M. J. Jones, D. G (2005) Geochemical correlation in deltaic successions: a reality check. *Geological Society of America Bulletin*, 117: 620-632.
- 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 (1988) Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*, 67: 119-139.
- Suttner, L. J., Basu, A., Mack, G. H (1981) Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 1235-1246.
- Suttner, L. J., Dutta, P. K (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate. I: Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56: 329-345.
- Taylor, S., McLennan, S (1985) *The continental*
- Bracciali, L., Marroni, M., Pandolfi, L. Rocchi, S (2007) *Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): From source areas to configuration of margins*. Geological Society of America Special Paper, 420: 73-93.
- Cavazza, W., Ingersoll, R (2005) Detrital modes of the Ionian forearc basin fill (Oligocene-Quaternary) reflect the tectonic evolution of the Calabria-Peloritani terrane (Southern Italy). *Journal of Sedimentary Research*, 75 (2): 268-279.
- Cecil, C. B., Edgar, N. T (2003) *Climate controls on stratigraphy*. Tulsa, Oklahoma. Special Publications-SEPM, 77: 275 p.
- Chamley, H (1990) *Sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag, 285 p.
- Condie, K. C., Boryta, M. D., Liu, J., Qian, X (1992) The origin of Khondalites: Geochemical evidence from the Archean to Early Proterozoic granulite belt in the North China craton. *Precambrian Research*, 59: 207-223.
- Cullers, R. L (1995) The controls on the major and trace element evolution of shales, siltstone and sandstone of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. *Chemical Geology*, 123: 107-131.
- Cullers, R. L., Podkovyrov, V. N (2002) The source and origin of terrigenous sedimentary rock in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia. *Precambrian Research*, 117: 157-183.
- Das, B. K., Al-Mikhailafi, A. S. Kaur, P (2006) Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Science*, 26: 649-668.
- Dickinson, W. R (1985) *Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company, 407: 333-361.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., Ryberg, P. T (1983) Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 222-235.
- Dickinson, W. R., Suczek, C (1979) Plate tectonics and sandstone composition. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 2164-2182.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M (1995) Unraveling the effects of K-metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23: 921-924.
- Floyd, P. A., Leveridge, B. E (1987) Tectonic environment of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic

- crust: Its composition and evolution. Blackwell, Oxford, 312 p.*
- Von Eynatten, H (2004) *Statistical modelling of compositional trends in sediments. Sedimentary Geology, 171 (1): 79-89.*
- Weltje, G. J (2006) *Ternary sandstone composition and provenance: An evaluation of the Dickinson model. In: Buccianti, A., Mateu-Figueras, G., Pawlowsky-Glahn, V., (Eds.), Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice. Geological Society of London Special Publications, 264: 79-99.*
- Whitmore, G. P., Crook, K. A., Johnson, D. P (2004) *Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. Sedimentary Geology, 171 (1): 129-157.*
- Whitney, D. L., Evans, B. W (2010) *Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95: 185-187.*