

سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی عناصر اصلی و فرعی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهر آباد (شمال باختر زنجان) با تأکید بر جایگاه تکتونیکی و برخاستگاه

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

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۹

چکیده

در این پژوهش، داده‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی لایه‌های ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهر آباد (شمال‌باختر زنجان) جهت تعیین ترکیب سنگ‌شناسی، جایگاه تکتونیکی و منشأ آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این منطقه، سازند قرمز بالایی حداکثر ۹۸۰ متر ستبراً داشته و بر روی آهک‌های سازند قم قرار گرفته است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً از ذرات آواری دانه ریز تا دانه متوسط تشکیل شده و حاوی انواع خُرده‌سنگ‌های رسوبی و دگرگونی (۲۵٪)، کوارتز (۲۱٪) و فلدسپار (۱۰٪) هستند. بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی، این ماسه‌سنگ‌ها از نوع فلدسپاتیک لیت آرنایت تا لیت آرنایت (غالباً چرت آرنایت) هستند. بر اساس اجزای اصلی تشکیل‌دهنده و نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی، جایگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها حاشیه‌های فعال قاره‌ای و حوضه‌های فورلندی است. داده‌های به‌دست آمده بیانگر منشأ حدواسط تا فلسیک برای این ماسه‌سنگ‌ها است که تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک و هوازدگی شیمیایی کم قرار داشته‌اند.

کلیدواژه‌ها: برخاستگاه، آب و هوا، جایگاه تکتونیکی، سازند قرمز بالایی، چهر آباد.

*نویسنده مسئول: حسین کوهستانی

E-mail: kouhestani@znu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

سنگ‌های رسوبی آواری، به ویژه ماسه‌سنگ‌ها اطلاعات با ارزشی در مورد محیط رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه می‌کنند (Rieser et al., 2005). ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری متأثر از عوامل حمل و نقل، درجه هوازدگی، ویژگی‌های سنگ منشأ، پستی و بلندی، اقلیم، فعالیت‌های تکتونیکی و اثرات دیاژنزی است (Mcbride, 1985; Von Eynatten, 2004; Whitmore et al., 2004). تکتونیکی حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عوامل اصلی کنترل‌کننده ترکیب رسوبات آواری محسوب می‌شوند. از هر برخاستگاه و موقعیت مشخص زمین‌ساختی، ماسه‌سنگ‌هایی با ترکیب معین به وجود می‌آید (Dickinson, 1985). امروزه علاوه بر روش‌های پیشین که بر مبنای داده‌های تجزیه مودال ارائه شده‌اند (Dickinson, 1985)، از داده‌های زمین‌شیمیایی نیز برای تعیین سنگ‌شناسی ناحیه منشأ (Das et al., 2006; Bracciali et al., 2007)، جایگاه زمین‌ساختی (Roser and Korsch, 1988)، هوازدگی شیمیایی (Fedo et al., 1995) و زمین‌ساخت حوضه‌های رسوبگذاری آواری (Hessler and lowe, 2006) و زمین‌ساخت حوضه‌های رسوبگذاری آواری (Bhatia and Crook, 1986; McLennan et al., 1990) استفاده می‌شود. این مطالعات زمین‌شیمیایی به ویژه هنگامی که داده‌های سنگ‌شناسی مبهم باشند، مکمل خوبی برای مطالعات سنگ‌نگاری به‌شمار می‌آیند (Condie et al., 1995). در این پژوهش سعی شده است براساس اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها و داده‌های زمین‌شیمیایی، با ترسیم انواع مختلف دیاگرام‌های تفکیک‌کننده، موقعیت تکتونیکی، نوع سنگ منشأ و آب و هوای دیرین سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهر آباد تعیین شده است. منطقه مورد مطالعه در ۷۵ کیلومتری شمال باختر زنجان با مختصات "۲۰'۵۰" عرض شمالی و "۰۸'۵۲'۴۷" طول شرقی واقع شده است.

۲- روش پژوهش

در این پژوهش، یک بُرش چینه‌شناسی از واحدهای بخش میانی سازند قرمز بالایی (شعبه ۲۳۱) متر که دارای بیشترین تعداد لایه‌های ماسه‌سنگی است مورد مطالعه قرار گرفته است. در مطالعات صحرایی، وضعیت زمین‌شناسی منطقه،

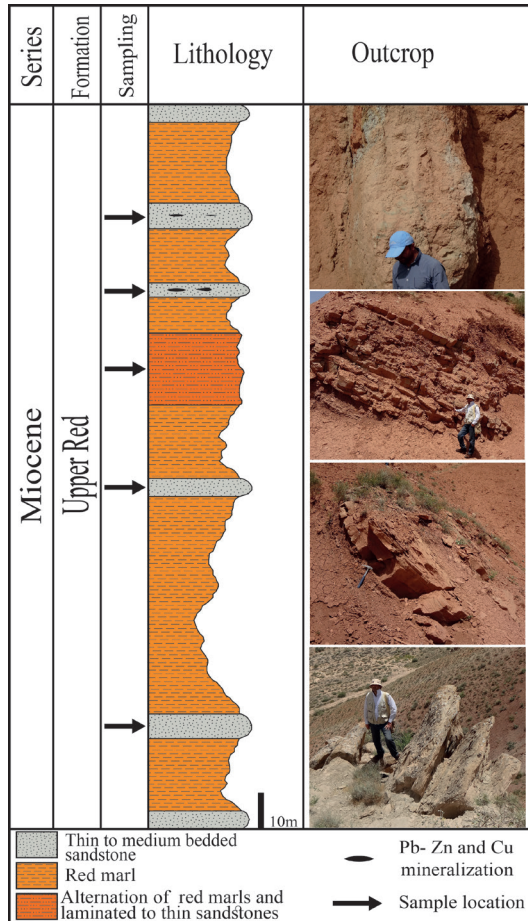
رنگ و ویژگی‌های رسوب‌شناسی نظیر ضخامت و مرز بین لایه‌های ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی بررسی شده است. در این مرحله، از رخنمون‌های غیرهوازده نمونه‌برداری شد. در بخش آزمایشگاهی، از نمونه‌های برداشت‌شده، ۲۲ مقطع نازک تهیه شده است. سپس به‌طور متوسط ۲۵۰ ذره در هر مقطع به روش گزی- دیکینسون (Gazzi, 1966; Dickinson, 1970) شمارش شد. از آنجایی که فرایندهای دیاژنزی می‌توانند در ترکیب اولیه سنگ تغییراتی ایجاد کنند (Mcbride, 1985)، در مرحله شمارش ذرات آواری، اثرات احتمالی مدنظر قرار گرفت. به منظور بررسی زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها و تعیین برخاستگاه و موقعیت تکتونیکی آنها، ۹ نمونه از ماسه‌سنگ‌های بدون کانه‌زایی و ۶ نمونه از ماسه‌سنگ‌های کانه‌دار با کم‌ترین میزان هوازدگی و کربنات کلسیم انتخاب و به روش‌های ICP-MS و XRF در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز شده است. برای ترسیم دیاگرام‌های مورد نظر از نرم‌افزارهای Adobe Illustrator و Excel استفاده شده است. علایم اختصاری استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

۳- زمین‌شناسی و چینه‌نگاری

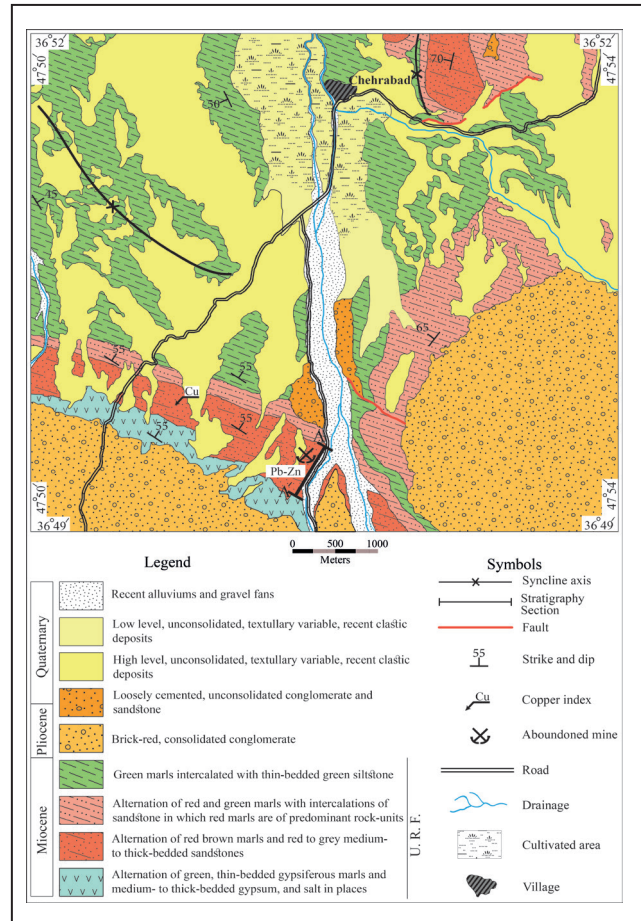
منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماه‌نشان (لطفی، ۱۳۸۰) بوده و در تقسیمات پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳)، در پهنه ایران مرکزی قرار می‌گیرد. واحدهای سنگی موجود در این منطقه مربوط به زمان‌های الیگوسن تا میوسن بوده و شامل سازندهای قرمز زیرین، قم و قرمز بالایی هستند. سازند قرمز زیرین از نوع نهشته‌های قاره‌ای پلایا و شامل طبقات آواری قرمز رنگ و مارن‌های رنگارنگ است. سازند قم شامل مجموعه‌ای از آندزیت بازالتی تا بازالیت ساب‌آلکالن، آهک‌های بیومیکریتی تا بیومیکرواسپاریتی ریفی نازک تا متوسط لایه، مارن‌ها و ماسه‌سنگ‌های مارنی است (لطفی، ۱۳۸۰). سازند قرمز بالایی در این منطقه حداکثر ۹۸۰ متر ستبراً داشته و از ۴ بخش اصلی به‌ترتیب: (۱) تناوب مارن‌های سبز ژیبس‌دار و لایه‌های ژیبس و گاهی نمک با ستبرای ۲۳۵ متر، (۲) تناوب مارن‌های قرمز و ماسه‌سنگ‌های خاکستری و قرمز رنگ با ستبرای ۴۴۵

که دارای ۷ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ است که به صورت متناوب با لایه‌های مارنی قرمز رنگ قرار گرفته‌اند (شکل ۲). لایه‌های مارنی در بخش ابتدایی این بُرش به صورت توده‌ای بوده و اندازه ذرات در آنها در حد رس است. واحدهای مارنی بخش انتهایی توالی دارای لامینه‌هایی از ذرات درشت‌تر در حد سیلت هستند.

متر، ۳) تناوب مارن‌های قرمز و سبز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی با ستبرای ۱۴۵ متر و ۴) تناوب مارن‌های سبز با میان‌لایه‌های سیلت سنگ سبز رنگ با ۱۵۵ ستبرای تشکیل شده است (شکل ۱). شیب لایه‌های سنگی این سازند حدود ۶۰ درجه در جهت شمال خاور است. بُرش مطالعه شده ۲۳۱ متر از بخش دوم این سازند را پوشش می‌دهد (شکل ۱)



شکل ۲- بخشی از توالی چینه‌شناسی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰,۰۰۰ منطقه چهرآباد و موقعیت بُرش مورد مطالعه بر روی آن.

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

جدول ۱- علایم اختصاری استفاده شده در جداول و تصاویر Dickinson (1985) و Whitney and Evans (2010).

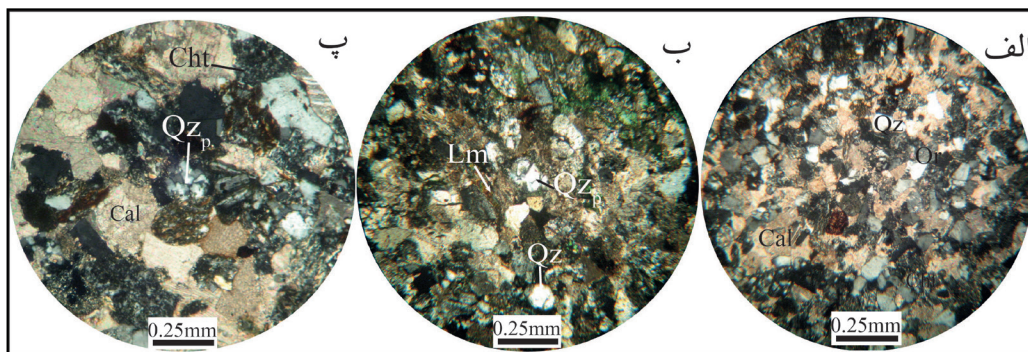
کانی‌های کدر (۱۵ درصد)، اکسید آهن (۳ درصد)، پیروکسن و فیلسیلیکات‌ها (کم‌تر از ۱ درصد) هستند. زمینه سنگ (سیمان کربناته، فضای خالی و ماتریکس) در مجموع ۲۳ درصد فضای مقاطع را فرا گرفته‌اند. با توجه به درصد فراوانی اجزای تشکیل دهنده و براساس تقسیم‌بندی ماسه‌سنگ‌ها به روش فولک (Folk, 1980)، ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهارآباد از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت (عمدتاً چرت‌آرنایت) هستند (شکل‌های ۳ و ۴).

به‌طور کلی، مطالعات بر خاستگاهی براساس روش‌های سنگ‌شناسی (Cullers, 2000) و ویژگی‌های سنگ منشأ رسوبات برپایه شواهد ترکیبی و بافتی مورد بررسی قرار می‌گیرند (Pettijohn et al., 1987). با توجه به اینکه ترکیب ماسه‌سنگ‌ها به ویژگی‌های منشأ، فاصله حمل و نقل و تغییرات پس از رسوبگذاری مربوط می‌شود و رابطه اصلی میان منشأ و حوضه رسوبگذاری به فرآیندهای زمین‌ساختی بستگی دارد (Jin et al., 2006). لذا می‌توان براساس ترکیب مودال ماسه‌سنگ‌ها، جایگاه تکنونیک‌های آنها را مشخص کرد. دیاگرام‌های مثلثی (Lv-Lm-Ls) و (Qp-Lv-Ls) (Ingersoll and Suczek, 1979) بیانگر این مطلب هستند که هر قدر میزان خُرده‌سنگ‌ها افزایش یابد، جایگاه تکنونیک‌های ماسه‌سنگ‌ها به مناطق فعال و حوضه‌های فورلندی نزدیک می‌شود. ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد دارای خُرده‌سنگ‌های فراوان (به ویژه خُرده‌سنگ دگرگونی و رسوبی) هستند. لذا طبق دیاگرام‌های شکل ۵-الف و ب، جایگاه تکنونیک‌های این ماسه‌سنگ‌ها کمربندهای درزه‌ای و کوه‌زایی برخوردار است که هر دو محیط در ارتباط با حوضه‌های فورلندی و برخوردار هستند. نتایج حاصل از تفسیر این داده‌ها نشان می‌دهد که جایگاه تکنونیک‌های ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی حاشیه‌های فعال و حوضه‌های فورلندی است.

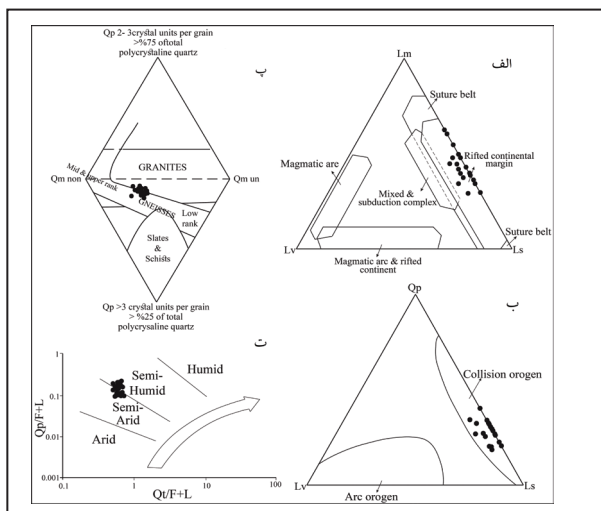
لایه‌های ماسه‌سنگی این بُرش به‌طور میانگین ۴ الی ۲۰ متر ستبراً داشته و در آنها ساخت‌های رسوبی مختلفی نظیر ریپل‌مارک، چینه‌بندی متقاطع، قالب‌های وزنی و آثار موجودات حفار قابل مشاهده است. کنگلومرای پلیوسن و تراس‌های رودخانه‌ای کواترنری، جوان‌ترین واحدهای رخنمون یافته در این منطقه هستند که با ناپوستگی زاویه‌دار، سازند قرمز بالایی را می‌پوشانند (شکل ۱).

۴- سنگ‌نگاری

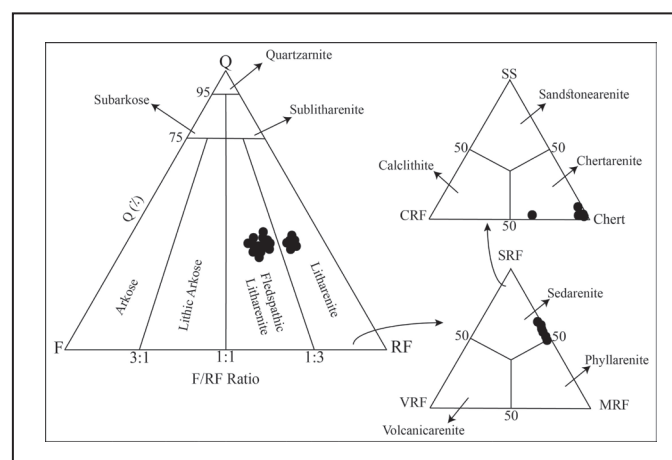
ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد به رنگ خاکستری تا قرمز بوده و اندازه ذرات آنها عمدتاً از ۰/۱۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر (۱ تا ۳ درصد) تغییر می‌کند. این ماسه‌سنگ‌ها جهت‌یافتگی ضعیفی دارند. با توجه به پارامترهای جورشدگی و گردشدگی و همچنین مقادیر ناچیز رس (کم‌تر از ۵ درصد)، این ماسه‌سنگ‌ها از نظر بلوغ بافتی احتمالاً نیمه‌بالغ تا بالغ هستند. ذرات آواری این ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً از ۲۵ درصد خُرده‌سنگ، ۱۰ درصد فلدسپات (ارتوز و پلاژیوکلاز) و ۲۱ درصد کوارتز تشکیل شده است. خُرده‌سنگ‌ها فراوان‌ترین ذرات آواری ماسه‌سنگ‌های بررسی شده را تشکیل می‌دهند. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، این خُرده‌سنگ‌ها متشکل از ۱۱ درصد خُرده‌سنگ دگرگونی، ۱۴ درصد خُرده‌سنگ رسوبی (غالباً چرت و کم‌تر از ۲ درصد خُرده‌سنگ ماسه‌سنگی و کربناته) و به میزان کم‌تر از ۱ درصد خُرده‌سنگ آتشفشانی هستند (جدول ۲). کوارتزها از نوع چندبلوری و تک‌بلوری با خاموشی‌های موجی و مستقیم هستند. به‌طور میانگین، کوارتزهای چندبلوری ۵ درصد و تک‌بلوری ۱۶ درصد و همچنین کوارتزهای با خاموشی مستقیم ۱۳ درصد و خاموشی موجی ۸ درصد کل کوارتزها را در مقاطع میکروسکوپی تشکیل می‌دهند. از دیگر ذرات موجود در این ماسه‌سنگ‌ها،



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهارآباد؛ الف) لیت‌آرنایت؛ ب و پ) فلدسپاتیک لیت‌آرنایت.



شکل ۵- رسم نتایج دانه‌شماری ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهارآباد؛ الف و ب) نمودارهای تعیین جایگاه تکنونیک (Ingersoll and Suczek, 1979)؛ پ) نمودار تعیین محیط تکنونیک منشأ (Tortosa et al., 1991)؛ ت) نمودار تعیین آب و هوای سنگ منشأ (Suttner and Dutta, 1986).



شکل ۴- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهارآباد بر روی نمودارهای مثلثی Folk (1980).

جدول ۲- ترکیب یون‌های نم‌دهنده‌های ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در بخش کانسار چهل آباد که از شمارش نقطه‌ای به دست آمده است.

Sample No.	Q%			Qnon	Qum	Qt	Or	Pl	Fl	Lv	Lm	L%			Lt	Groundmass%				Accessory minerals%								
	Qp	Qp>3	1<Qp<4									Qpt	Qm	Ql		Os	Chl	Ls	Lst	M	C	P	Gt	Bt	Pyr	Chl	Ms	IO
CH6	68	16	16	32	71	29	21	10	3	13	0	9	14	3	0	26	2	22	8	32	0/25	0/25	0/75	0/75	4	0	2	8
CH7	76	11	13	24	65	35	26	8	4	12	2	9	13	2	0	26	0	27	2	29	0/75	0	0/75	0/5	3	0	2	7
CH9	82	10	8	18	58	42	21	8	3	11	1	10	12	2	0	25	0	17	16	33	0/5	0	1	0/5	2	0	6	10
CH18	86	6	8	14	68	32	28	8	3	11	0	17	9	2	0	28	0	14	2	16	0	0	2	1	9	0	5	17
CH23	72	15	13	28	63	37	24	9	4	13	0	17	7	2	1	27	2	21	4	27	0/5	0	2	0/5	4	0	2	9
CH24	60	19	21	40	61	39	22	9	4	13	2	14	11	3	1	31	0	20	3	23	0/25	0/25	1	0/5	4	0	5	11
CH20	77	9	14	23	64	36	20	7	1	8	1	13	10	3	0	27	1	22	11	34	0	1	1	2	3	0	4	11
CH4	68	15	17	32	62	38	21	8	2	10	0	16	14	2	0	32	3	10	4	17	1	1	1	1	2	0	14	20
CHAb	78	10	12	22	67	33	16	7	2	9	1	5	10	1	0	17	0	2	19	21	0/5	0	0/75	0/75	2	0	33	37
CH49	71	13	16	29	63	37	20	8	3	11	1	9	10	3	1	24	0	13	10	23	0/5	0	0/75	0/75	3	8	9	22
CH41	72	14	14	28	59	41	21	7	1	8	1	13	11	1	1	27	1	9	7	17	0/5	0	0/75	0/75	4	8	13	27
CH47	77	8	15	23	62	38	22	8	1	9	0	12	11	6	1	30	0	17	3	20	0	0	1	1	4	5	8	19
CH40	71	12	17	29	62	38	18	7	1	8	0	9	11	1	2	23	1	13	12	26	0/5	0	0/75	0/75	3	0	20	25
CH38	77	13	10	23	58	42	20	7	1	8	0	12	10	2	1	25	0	11	9	20	0/5	0	0/75	0/75	2	0	23	27
CH33	70	12	18	30	61	39	22	9	3	12	1	13	13	1	1	29	0	7	9	16	0/5	0	0/75	0/75	3	0	16	21
CH32	82	8	10	18	59	41	21	8	2	10	0	12	11	1	1	25	2	8	8	18	0	0	0/5	0/5	2	0	23	26
CH31	81	6	13	19	63	37	21	8	2	10	0	13	11	2	1	27	0	13	6	19	0/5	0	0/75	0/75	2	0	19	23
CH28	74	14	12	26	60	40	21	7	1	8	0	10	11	1	1	23	0	8	12	20	0	0/5	0/75	0/75	3	0	23	28
CH15	72	11	17	28	64	36	22	6	2	8	1	11	13	0	1	26	0	4	6	10	0	0/5	0/75	0/75	4	0	28	34
CH13	79	10	11	21	63	37	18	7	1	8	0	6	13	1	0	20	2	9	27	38	0	0	0/5	0/5	2	0	13	16
CH12	80	8	12	20	62	38	17	6	1	7	0	11	9	0	0	20	0	7	17	24	0	0	1	0	3	0	28	32
CH3	72	14	14	28	61	39	19	5	2	7	0	8	13	0	1	22	0	6	22	28	0	0	0/5	0/5	4	0	19	24

ذرات دانه درشت بوده است، اما امروزه روش‌های زمین‌شیمیایی نیز برای تعیین برخاستگاه سنگ‌های رسوبی به کار می‌روند (Hassan et al., 1999). لذا از آثار زمین‌شیمیایی ثبت شده در سنگ‌های سیلیسی آواری می‌توان جهت مطالعه سنگ منشأ آنها استفاده کرد (Taylor and McLennan, 1985; Condie et al., 1992; Cullers, 1995; Cullers and Podkovyrov, 2002). این، ماسه‌سنگ‌های متعلق به جایگاه‌های زمین‌ساختی متفاوت، دارای ویژگی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی خاص خود هستند (Kroonenberg, 1994; Zimmermann and Bahlburg, 2003; Oase et al., 2006). نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی ۱۵ نمونه ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که در این جدول‌ها ملاحظه می‌شود، نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه دارای مقادیر SiO_2 بین ۳۵/۰۲ تا ۴۷/۱۳ درصد، Al_2O_3 بین ۸/۴ تا ۱۲/۶۷ درصد و CaO بین ۹/۸ تا ۲۹/۲۴ درصد بوده و مقدار دیگر اکسیدهای عناصر اصلی آنها کم‌تر از ۵ درصد در هر نمونه است. به‌طور میانگین، این ماسه‌سنگ‌ها دارای ۸ گرم در تن کبالت، ۱۵/۲ گرم در تن لانتانیم، ۶/۳ گرم در تن اسکاندیم، ۳/۵ گرم در تن توریم، ۱۱۰ گرم در تن وانادیم و ۳۵ گرم در تن زیرکیم هستند.

۶- نامگذاری ماسه‌سنگ‌ها

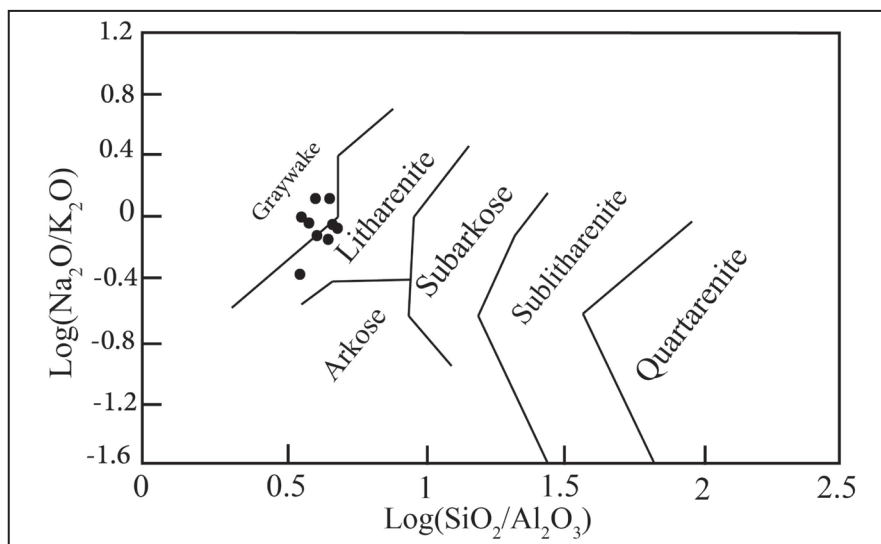
طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی به گسترده‌گی سنگ‌های آذرین نبوده و برخلاف سنگ‌های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها و ترکیب شیمیایی آنها مشکل است. بر همین اساس، طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی این سنگ‌ها از طبقه‌بندی کانی‌شناسی قراردادی آنها برپایه‌ی کوارتز، فلدسپات و خُرده‌سنگ پیروی نمی‌کند اما رسوبات بالغ و نابالغ را از هم تفکیک می‌نماید (Pettijohn et al., 1987). براساس مطالعات سنگ‌نگاری، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت هستند. برای نام‌گذاری زمین‌شیمیایی این ماسه‌سنگ‌ها از نسبت اکسیدهای اصلی در نمودار تفکیک زمین‌شیمی ماسه‌سنگ‌ها استفاده شده است. برپایه نسبت $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در برابر $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn et al., 1987)، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمدتاً لیت‌آرنایت و گری‌وک هستند (شکل ۶). علت تفاوت ناچیز بین نام‌گذاری براساس ترکیب مودال ذرات با داده‌های زمین‌شیمیایی را می‌توان به وجود ماتریکس و نوع ماتریکس در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نسبت داد. نمونه‌هایی که در محدوده گری‌وک قرار گرفته‌اند، حاوی ۵ الی ۱۰ درصد ماتریکس هستند. این ماتریکس از نوع ماتریکس‌های ثانویه است که در نام‌گذاری براساس ترکیب مودال در نظر گرفته نمی‌شود اما در آنالیزهای زمین‌شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مطالعات سنگ‌نگاری، با توجه به حضور دانه‌های کوارتز در نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد بررسی، فابریک داخلی و درجه خاموشی این دانه‌ها به عنوان شواهدی از سنگ منشأ (Young, 1976) مورد توجه قرار گرفته است. کوارتزهای نشأت‌گرفته از سنگ‌های دگرگونی نقص بیش‌تری در شبکه بلوری خود دارند و نسبت به انواع آذرین درونی، خاموشی مویی شدیدتر و درجه چندبلوری بودن بالاتری دارند (Basu, 1985). حضور بیش‌تر کوارتزهای چندبلوری با خاموشی مستقیم، نشان‌دهنده منشأ گرانیته است (Blatte, 1967; Suttner et al., 1981). براساس نتایج حاصل از مطالعات سنگ‌شناسی، ذرات کوارتز بیش‌تر دارای خاموشی مستقیم بوده و ذرات چندبلوری آنها بیش از ۳ بلور تشکیل شده است. لذا با توجه به نمودار توروسا و همکاران (Tortosa et al., 1991)، این ماسه‌سنگ‌ها دارای سنگ منشأ گنایسی تا آذرین درونی هستند (شکل ۵- پ). توده‌های آذرین متنوعی به سن ژوراسیک تا الیگوسن در این منطقه وجود دارد (لطفی، ۱۳۸۰) که می‌تواند منشأ این رسوبات باشند.

به‌طور کلی، ترکیب ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند متأثر از تغییرات آب و هوایی نیز باشد (Velbel and Saad, 1991). همچنین می‌توان از ترکیب ماسه‌سنگ‌ها برای تعیین آب و هوای دیرینه استفاده کرد زیرا آب و هوا باعث هوازده‌گی سنگ منشأ و تغییر ترکیب سنگ‌های آواری می‌شود (Suttner and Dutta, 1986). لذا برپایه نسبت $(\text{Qt}/\text{F}+\text{L})$ در مقابل $(\text{Qp}/\text{F}+\text{L})$ در نمودار ساتنر و دوتا (Suttner and Dutta, 1986)، سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در آب و هوای نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب قرار داشته است (شکل ۵- ت). وجود فلدسپارهای غیرهوازده، گردشدگی از نوع زاویه‌دار تا نیمه‌زاویه‌دار و بلوغ نسبتاً پایین این ماسه‌سنگ‌ها حاکی از آب و هوای خشک حاکم بر منطقه در زمان رسوبگذاری آنها است زیرا شرایط خشک نقش مهمی در کاهش بلوغ شیمیایی و حفظ اجزای آواری ایفا می‌کند (Juboury et al., 2009). حضور گنبد‌های نمکی، میان‌لایه‌های گچی و دیگر واحدهای تبخیری موجود در سازند قرمز بالایی در منطقه مورد مطالعه بیانگر وجود چنین آب و هوایی است.

۵- مطالعات زمین‌شیمیایی

بررسی زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به عنوان ابزاری قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی برخاستگاه آنها استفاده می‌شود (North et al., 2005). فراوانی عناصر موجود در سنگ‌های آواری بیانگر فرآیندهای مؤثر در تشکیل این سنگ‌ها مانند هوازده‌گی، حمل و نقل، ته‌نشست و دیازنز هستند (Paikaray et al., 2008). بررسی‌های تفسیر برخاستگاه سنگ‌های رسوبی در گذشته براساس تجزیه‌های سنگ‌نگاری



شکل ۶- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد بر روی نمودار تفکیک زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها (Pettijohn et al., 1987).

جدول ۳- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد، تمامی داده‌ها بر حسب درصد هستند.

Sample No.	Ch-4	Ch-6	Ch-7	Ch-9	Ch-18	Ch-20	Ch-23	Ch-24	Ch-47
SiO ₂	35.13	36.82	42.69	35.02	46.27	45.18	42.99	44.76	47.13
Al ₂ O ₃	8.42	9.95	10.05	8.89	12.67	9.48	8.94	9.72	9.64
CaO	9.8	27.28	24.48	29.24	15.06	20.6	20.46	22.53	17.88
MgO	1.29	1.76	1.61	1.74	3.41	1.96	1.68	1.82	1.71
TiO ₂	<0.1	0.61	0.45	0.73	0.54	0.58	<0.1	0.58	0.52
Fe ₂ O ₃	1.98	4.58	3.4	4.17	5.5	2.51	3.78	3.54	2.41
MnO	<0.1	<0.1	<0.1	0.01	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SO ₃	9.66	0.15	<0.1	0.27	0.13	0.14	1.65	<0.1	<0.1
P ₂ O ₅	<0.1	0.13	0.12	0.13	0.2	0.12	0.13	0.11	<0.1
Na ₂ O	2.01	1.55	1.43	1.34	1.11	1.43	1.04	1.34	1.59
K ₂ O	1.56	1.6	1.9	1.48	2.6	1.07	1.22	1.82	1.88
SrO	<0.1	<0.1	<0.1	0.31	<0.1	<0.1	1.72	<0.1	<0.1
ZnO	2.71	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PbO	18.32	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
CuO	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.29	<0.1	4.14
L.O.I	9.13	15.57	13.89	16.66	12.46	16.95	15.37	13.78	13.02
Total	100.01	100	100.02	99.99	99.95	100.02	99.27	100	99.92

جدول ۴- نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر فرعی برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد. داده‌های عناصر Mg, K, Fe, Ca, Al, Na بر حسب درصد و برای سایر عناصر بر حسب گرم در تن است.

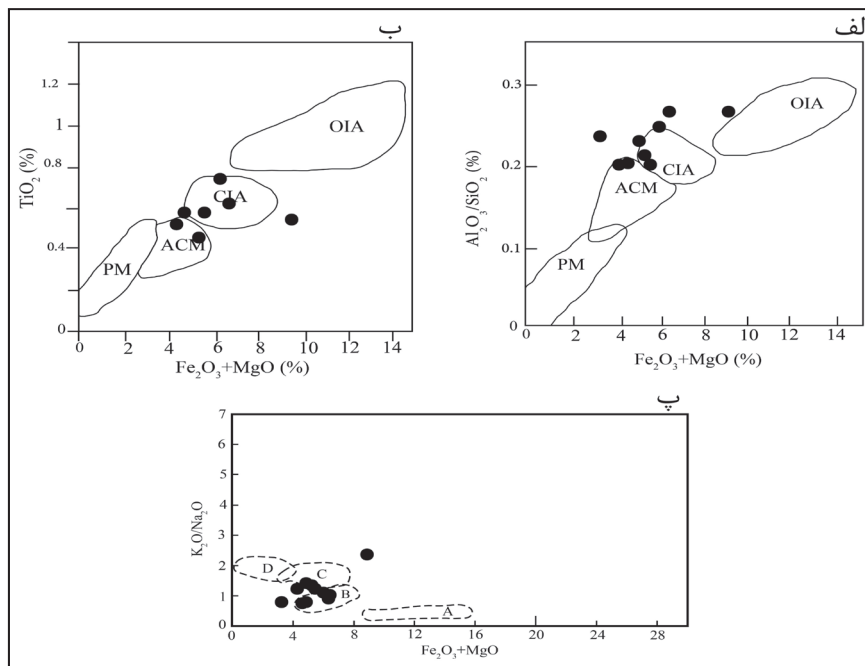
Sample No.	Ch-4	Ch-6	Ch-7	Ch-9	Ch-15a	Ch-15b	Ch-18	Ch-20	Ch-23	Ch-24	Ch-28	Ch-40	Ch-41	Ch-41a	Ch-47
Al	3.48	4.34	4.95	4.46	1.91	1.14	5.41	4.37	3.68	4.36	3.15	3.3	2.57	1.72	4.29
Ba	<10	482.9	513.7	1475	<10	11.31	273.6	392.7	522.7	549.1	49.09	36.32	638.1	226.7	665
Ca	4.26	12.86	13.58	14.15	2.19	1.39	8.84	12.27	11.29	11.64	4.13	7.9	0.19	0.41	9.9
Cd	404.9	0.45	<0.1	0.82	1065	713.3	0.37	0.48	0.22	0.3	931.7	28.64	0.65	20.55	0.15
Ce	16.46	37.38	48.15	40.33	11.36	3.16	40.07	34.93	44.88	51.09	15.8	23.97	3.69	3.9	28.56
Co	8.28	7.93	7.89	8.85	4.63	3.06	12.17	7.5	9.97	8.59	7.7	7.05	5.61	9.49	7.79
Cr	113.7	85.63	104.65	64.91	60.97	42.65	59.93	178.4	203.9	107.45	100.75	122.4	246.5	125.2	142.7
Cu	1244	2156	88	283	400.5	543.5	508.3	541.9	1215	218.2	238.9	514.4	143700	238300	18920
Fe	0.45	1.59	1.18	1.21	0.1	0.1	2.35	0.94	1.33	1.5	0.31	0.38	0.67	0.18	0.85
K	0.88	1.08	1.27	1.12	0.47	0.3	1.6	1.16	0.84	1.11	0.79	0.81	0.94	0.75	1.02
La	11.53	24.68	29.18	24.49	3.73	1.75	25.34	23.07	24.5	28.7	11.03	14.66	1.81	1.97	20.64
Li	11.64	12.36	14.54	14.54	2.91	1	25.45	16.73	16	13.09	10.18	10.91	9.45	8	8
Mg	0.89	1	0.98	1.06	0.32	0.18	2.16	1.37	1.01	1.05	0.84	0.89	0.64	0.66	0.99
Mn	364.9	1005	1010	1133	225.8	204.9	791.7	1029	1350	1043	376.7	669	256.1	292.3	843.8
Nb	1.87	2.69	2.7	2.42	1.18	1	3.2	2.3	2.47	2.87	1.65	1.54	1.63	1.82	2.17
Nd	5.06	10.64	10.34	8.97	3.66	1.64	9.65	8.49	9.62	10.28	4.77	5.25	2.39	2.2	6.47
Na	1.1	1.3	1.52	1.33	0.62	0.38	1.18	1.41	0.92	1.2	1.04	0.97	1.14	0.72	1.37
Ni	11.63	14.93	14.44	16.88	7.02	5.02	30.64	14.07	23.04	18.37	10.25	11.63	13.16	12.47	13
Pb	41790	195.1	37.99	462.9	19060	73540	358.9	325.8	301.9	279.6	37070	61620	99	733.9	164.9
Rb	16.08	19.5	17.58	18.74	9.3	5.06	27.47	18.29	16.29	20.03	12.83	13.28	12.17	10.32	14.7
Sc	5.58	7.59	8.1	7.85	3.18	2.09	9.54	7.28	6.91	7.7	5.16	5.14	4.1	3.96	7.4
Sr	189.5	372.3	392.8	1517	294.6	172.3	235.3	236.9	>5000	339.6	139.4	272	83.19	246.6	208.1
Th	2.6	3.97	4.28	3.48	1.61	<1	5.07	3.18	3.63	4.76	2.35	2.28	1.47	1.66	2.71
V	44.48	65.2	59.55	59.26	31.47	24.09	90.13	56.44	56.68	59.87	45.59	49.45	53.97	195	56.02
Y	8.17	15.2	15.7	15.48	4.35	2.96	17.41	16	13.13	14.71	8.09	9.78	4.92	5.56	13
Zn	18050	229.8	73.36	159.2	23240	16160	138.6	165.4	90.01	98.21	27600	968.3	161	1758	115.5
Zr	13.99	28.73	38.72	31.61	5	5	64.24	27.43	29.38	25.62	15.73	16.57	12.87	21.56	27.29

۷- جایگاه تکتونیکی

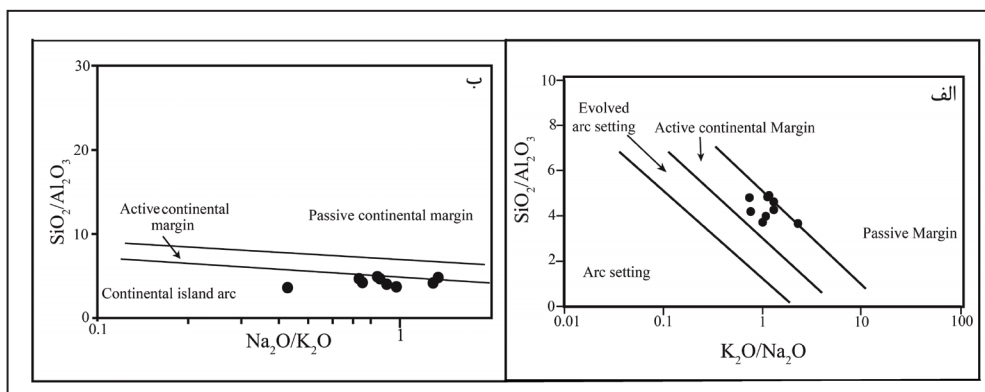
اکسیدهای اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات ترکیب رسوب است (Chamley, 1990). بنابراین جایگاه تکتونیکی نقش مهمی را در ترکیب ماسه‌سنگ‌ها ایفا می‌کند. مفید بودن بررسی زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی سنگ‌های رسوبی با استفاده از نمودارهای تفکیکی، برای شناخت جایگاه زمین‌ساختی توسط محققین مختلفی شرح داده شده است (Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986). برای پی بردن و شناخت جایگاه تکتونیکی حوضه‌های رسوبگذاری ماسه‌سنگ‌های منطقه چهرآباد از دیاگرام‌های مختلفی استفاده شده است.

۷-۱. نمودارهای (Bhatia 1983)

در این نمودارهای دو متغیره، تغییرات نسبی اکسیدهای اصلی در ماسه‌سنگ‌ها معیار زمین‌شیمیایی برای تفکیک جایگاه زمین‌ساخت صفحه‌ای حوضه‌های رسوبی است. بر این اساس، (Bhatia, 1983) جایگاه زمین‌ساخت صفحه‌ای حوضه‌های رسوبی را به چهار دسته اصلی: (A) جزایر کماتی اقیانوسی، (B) جزایر کماتی قاره‌ای، (C) حاشیه فعال قاره‌ای و (D) حاشیه غیرفعال قاره‌ای تفکیک کرده است. ماسه‌سنگ‌های منشأ گرفته از این جایگاه‌های زمین‌ساختی می‌توانند توسط غنی‌شدگی یا تخلیه نسبی از عناصر متحرک و غیر متحرک مشخص شوند (Gateneh, 2000). ترسیم داده‌های



شکل ۷- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد در نمودارهای (Bhatia 1983).



شکل ۸- جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد در نمودارهای (Roser and Korsch 1986)

۳-۷. نمودارهای Bhatia and Crook (1986)

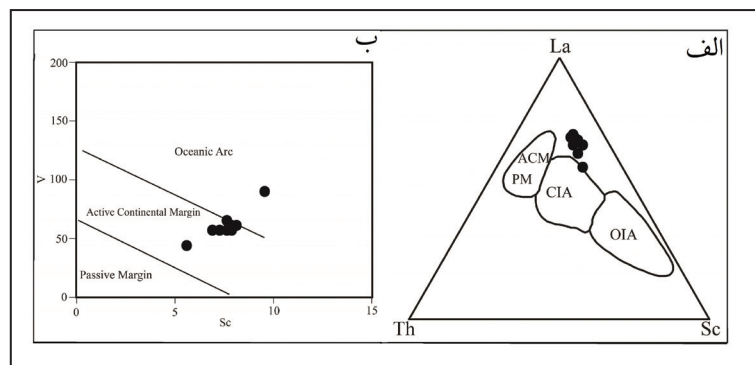
ترسیم مقادیر عناصر فرعی نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه بر روی دیاگرام سه‌تایی (Bhatia and Crook, 1986) حاکی از تشکیل این ماسه‌سنگ‌ها در یک محیط حاشیه فعال قاره‌ای تا جزایر کمان قاره‌ای است (شکل ۹-الف). رسم داده‌های به دست آمده از آنالیز زمین‌شیمیایی ماسه‌سنگ‌های منطقه چهارآباد در نمودار دو متغیره Sc به V (Bhatia and Crook, 1986) بیانگر این است که تمام نمونه‌ها در حاشیه فعال قاره‌ای قرار می‌گیرند؛ به جز یک نمونه که در محدوده جزایر کمان اقیانوسی قرار می‌گیرد (شکل ۹-ب). نتایج به دست آمده از آنالیزهای زمین‌شیمیایی، اطلاعات حاصل از آنالیز مودال را تأیید می‌کند.

۸- سنگ منشأ

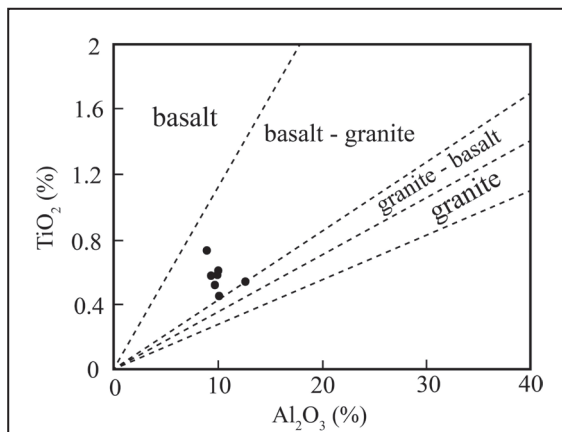
همان‌طور که قبلاً بیان شد، ترکیب شیمیایی سنگ‌های آواری تابع فرآیندهای پیچیده‌ای مانند هوازگی، حمل و نقل، دیاژنز و جورشدگی است. لذا می‌توان با استفاده از نسبت‌های شیمیایی موجود در ماسه‌سنگ‌ها برای تعیین سنگ منشأ بهره برد. نمودار Al_2O_3 در مقابل TiO_2 در سنگ‌های آواری نشانگر خوبی برای تفسیر سنگ منشأ این سنگ‌ها در مقایسه با دیگر عناصر است (Paikaray et al., 2008). نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهد که سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمدتاً گرانیت است. دو عنصر Th و Sc تحت تأثیر

فرآیندهای رسوبی قرار نمی‌گیرند. لذا نسبت این دو عنصر نشانگر مفیدی برای شناخت سنگ منشأ است (Taylor and McLennan, 1985). در نمودار Th در مقابل Sc (McLennan et al., 1993) ماسه‌سنگ‌های منطقه چهارآباد دارای منشأ آذرین حدواسط هستند (شکل ۱۱). از نسبت Th/Sc در برابر Zr/Sc برای جدا کردن اثرات ترکیب سنگ منشأ و فرآیندهای رسوبی بر ترکیب سنگ رسوبی آواری استفاده کرده‌اند. در تمام فرآیندهای تفریق ماگما، Th به عنوان عنصر ناسازگار و Sc به عنوان عنصر سازگار رفتار می‌کنند. بر همین اساس، نسبت Th/Sc نشان‌دهنده درجه تفریق ماگما است (McLennan et al., 1993). بررسی این نسبت در ماسه‌سنگ‌های منطقه چهارآباد نشان می‌دهد که ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها بیش‌تر تحت تأثیر سنگ منشأ قرار داشته و چرخه‌های رسوبی تأثیر چندانی در ترکیب این نهشته‌ها نداشته‌اند (شکل ۱۲).

نمودار دوتایی La/Sc در برابر Th/Co برای درک اطلاعات سنگ منشأ سنگ‌های آواری بسیار مفید است (Cullers, 2002). بر این اساس، ماسه‌سنگ‌های منطقه چهارآباد بیش‌تر به سمت محدوده فلسیک تمایل دارند که این امر نشان می‌دهد این ماسه‌سنگ‌ها توسط یک سنگ منشأ فلسیک تغذیه شده‌اند (شکل ۱۳). با توجه به داده‌های هریک از نمودارهای ترسیم شده می‌توان سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد را یک سنگ حدواسط تا فلسیک در نظر گرفت.

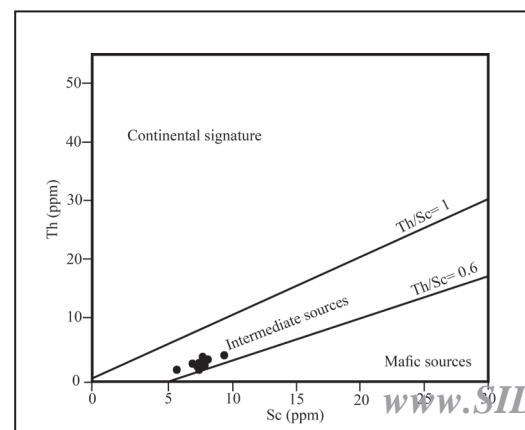


شکل ۹- جایگاه تکتونیک ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در تری‌کانسار چهارآباد بر روی نمودارهای سه‌تایی Bhatia and Crook (1986).

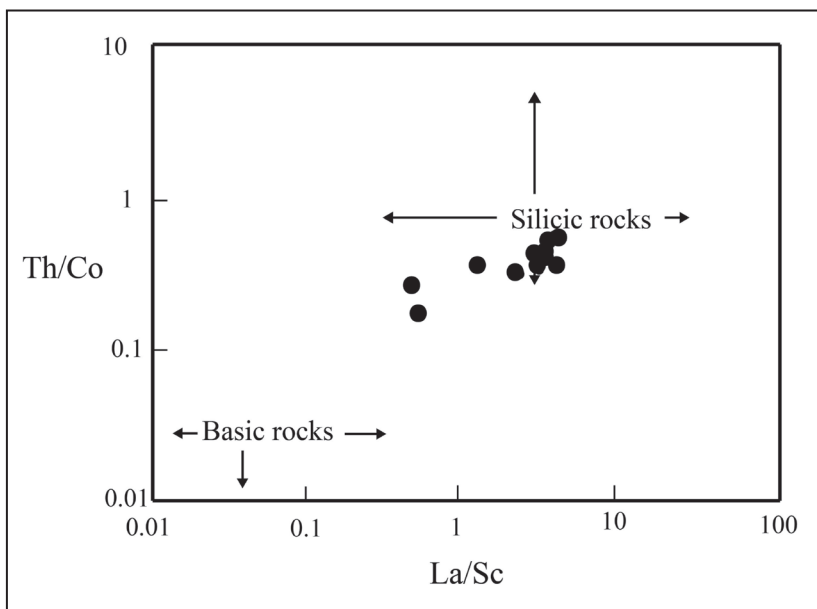
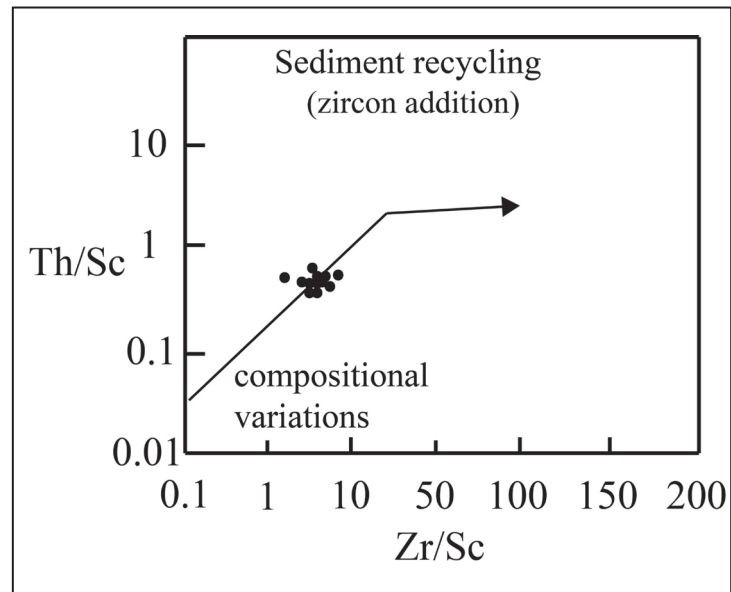


شکل ۱۰- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد بر روی نمودار TiO_2 در مقابل Al_2O_3 (Paikaray et al., 2008).

شکل ۱۱- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد بر روی نمودار Th در مقابل Sc (McLennan et al., 1993).



شکل ۱۲- موقعیت ماسه سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد بر روی نمودار Th/Sc در برابر Zr/Sc (McLennan et al., 1993).



شکل ۱۳- موقعیت ماسه سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهرآباد بر روی نمودار Th/Co در برابر La/Sc (Cullers, 2002).

۹- هوازگی و آب و هوا

وجود و یا میزان بسیار اندک دگرسانی شیمیایی و منعکس کننده شرایط اقلیمی خشک است درحالیکه مقدار بالای این اندیس منعکس کننده حذف کاتیون‌های ناپایدار (Ca^{2+}, Na^+, K^+) نسبت به اجزای باقیمانده پایدار (Al^{3+}, Ti^{4+}) در حین هوازگی است (Nesbitt and Young, 1982). میزان هوازگی را می‌توان با استفاده از دیاگرام سه‌تایی متشکل از نسبت‌های مولی عناصر $Al_2O_3-CaO+Na_2O+K_2O$ به دست آورد (شکل ۱۴). در این دیاگرام، مراحل ابتدایی هوازگی دارای روندی موازی ضلع A-CN (منظور از CN مجموع اکسیدهای سدیم و کلسیم است). زیرا در مراحل اولیه هوازگی میزان یون‌های سدیم و پتاسیم با تخریب و از بین رفتن میزان فلدسپارها کم می‌شود و با ادامه این روند و تخریب فلدسپارهای پتاسیم‌دار، یون پتاسیم نیز کاهش یافته و روند هوازگی به سمت ترکیب Al_2O_3 تغییر مکان می‌دهد (Paikaray et al., 2008). بر اساس این دیاگرام، ماسه سنگ‌های مورد مطالعه تحت تأثیر هوازگی شیمیایی پایین قرار گرفته و در شرایط مشابه با آب و هوای خشک قرار داشته‌اند.

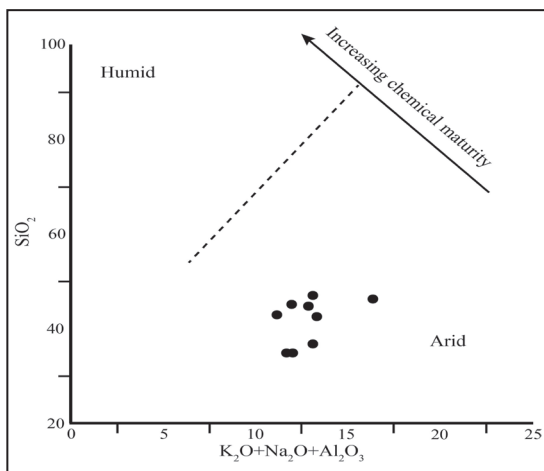
در نمودار SiO_2 در مقابل $Al_2O_3+Na_2O+K_2O$ (Suttner and Dutta, 1986) ماسه سنگ‌های مورد مطالعه دارای آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک است (شکل ۱۵). به‌طور کلی، با در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعات صحرائی و حضور

میزان هوازگی در ناحیه سنگ منشأ یکی از عواملی است که باعث تغییر در ترکیب شیمیایی سنگ می‌شود. لذا با استفاده از داده‌های زمین‌شیمیایی و وجود ارتباط بین عناصر قلیایی و قلیایی خاکی می‌توان میزان هوازگی در سنگ‌های رسوبی را تعیین کرد (Nesbitt and Young, 1982). به‌طور کلی، زمین‌شیمی سنگ‌های رسوبی به شکل پیچیده‌ای متأثر از طبیعت سنگ‌های رسوبی، شدت و دوره هوازگی، چرخه‌های رسوبی دوباره، جورشدگی و دیاژنز است (Jin et al., 2006; McLennan et al., 1993). لذا لازم است در تعیین و ارزیابی انواع برخاستگاه رسوبات، اثرگذاری هوازگی و تعیین دیاژنز نیز مورد بررسی قرار گیرد (McLennan et al., 1993; Nesbitt and Young, 1982; Nesbitt et al., 1980; Ohta and Sakai, 2004). این شاخص‌های هوازگی می‌توان به اندیس هوازگی CIA (Nesbitt and Young, 1982) اشاره کرد. این شاخص از رابطه $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] \times 100$ به دست می‌آید.

نکته قابل توجه در محاسبه اندیس هوازگی این است که منظور از CaO، کلسیم حاضر در اجزای سیلیکاته سنگ است. مقدار CaO در آنالیزهای زمین‌شیمیایی مربوط به اجزای سیلیکاته در پیمان‌های دیاژنتیکی است، لذا باید این مقدار تصحیح شود. مقدار CIA با میزان درجه دگرسانی شیمیایی رابطه مستقیم دارد. میزان CIA پایین بیانگر عدم

فرورانش نئوتیس در حدود ۳۶ میلیون سال پیش، یک تغییر رگرسیون زمین‌ساختی رخ داده است. این رخداد بیانگر یک زون برخوردی و فرورانشی بوده که باعث کوتاه و ضخیم شدن با نرخ ۵-۹ میلی‌متر در سال و رشد عمودی صفحه ایران شده است. این تغییر شکل گسترده و افزایش توپوگرافی در نهایت موجب شتاب در میزان خروج و رسوبگذاری در کوه‌های البرز و شروع رسوبگیری حوضه فورلندی و نهشته شدن سازند قرمز بالایی شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای مودال و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی و حضور مقدار بالای خُرده‌سنگ (به ویژه خُرده‌سنگ رسوبی) و حضور کوارتزهای چندبلوری بیانگر موقعیت زون برخوردی و تصادمی برای ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد است. نسبت بین اکسیدهای K_2O ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، Na_2O نشان می‌دهد که جایگاه تکنونیک ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه حاشیه فعال قاره‌ای و کمان‌های ماگمایی است. لذا بر پایه این نتایج، جایگاه تکنونیک ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهارآباد منطقه فورلندی و زون برخوردی است. تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه (Ballato et al., 2008, 2014 and 2016) نشان می‌دهد که این منطقه هنگام برخورد صفحه عربستان با اورسیا در جایگاه فورلندی قرار داشته است. این تصادم موجب تسریع در بالا آمدن حوضه‌های کم‌عمق دریایی و سبب افزایش سرعت تجمع رسوبات و روند ناپایداری فرسایش شده است. این تصادم همچنین باعث شکل‌گیری پهنه‌بندی مرتفع جغرافیایی شمال‌باختری ایران شده است. در نتیجه 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 تشکیل داده‌اند.

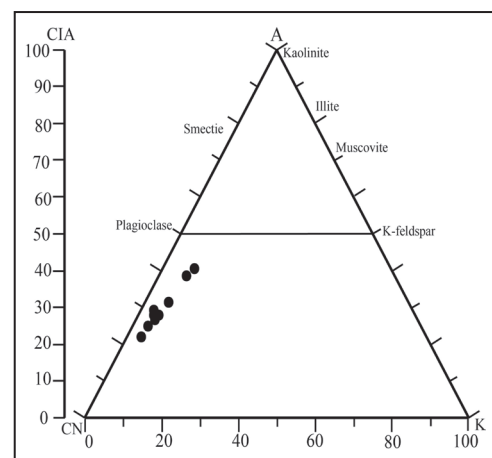


شکل ۱۵- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد بر روی نمودار SiO_2 در مقابل $K_2O+Na_2O+Al_2O_3$ (Suttner and Dutta, 1986)

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، نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب بوده و این رسوبات تحت تأثیر دگرسانی شیمیایی پایین قرار داشته‌اند.

۱۰- بحث

مطالعات مختلف انجام شده توسط بیکدلی (۱۳۹۳)، جمالی‌پور (۱۳۹۴)، رحیمی (۱۳۹۵)، حقیقی (۱۳۹۵) و (Ballato et al 2014 and 2016). بر روی ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه ماه‌نشان (شمال‌باختر زنجان) بیانگر رژیم‌های تکنونیک متنوع برای این سنگ‌ها بوده است. از این بین (Ballato et al. 2014 and 2016) با بررسی و ارزیابی توسعه و تکامل حوضه‌های رسوبگذاری، تغییر شکل کوه‌زایی، پالتو توپوگرافی و شبکه‌های رودخانه‌ای وابسته به آن، مطالعات جامع و گسترده‌ای بر روی نهشته‌های سازند قرمز بالایی در شمال‌باختر ایران انجام داده‌اند. این محققین با انجام بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری، مطالعات GPS، ژئوکورنولوژی (روش‌های U-Pb و Ar/Ar بر روی زیرکن)، مغناطیس‌سنجی و تجزیه و تحلیل محدوده‌های رشد در بخش‌های شمالی صفحه ایران به بررسی این محدود پرداخته‌اند. ایشان در مطالعات سنگ‌نگاری و براساس آنالیزهای مودال، برخاستگاه و جایگاه تکنونیک و برپایه مطالعات GPS، سیستم‌های گسلی و رژیم‌های تکنونیک را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مطالعات ژئوکورنولوژی، سن نمونه‌های مستقل در مکان‌های مختلف، موسس تعیین شده است. داده‌های حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که پس از خاتمه ماگماتیسیم کماتی در امتداد منطقه



شکل ۱۴- موقعیت ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد بر روی نمودار A-CN-K (Paikaray et al., 2008).

۱۱- نتیجه‌گیری

ذرات آوارای، جایگاه تکنونیک 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 نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک و هوازگی شیمیایی پایین قرار داشته‌اند.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه زنجان برای انجام این پژوهش و همچنین از سردبیر و داوران محترم فصلنامه علوم زمین به‌خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده ایشان در راستای غنای بیش‌تر مقاله حاضر کمال تشکر را دارند.

سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار سرب- روی چهارآباد حداکثر ۹۸۰ متر ستبراً داشته و بر روی سازند قم قرار گرفته است. بخش میانی این سازند دارای ۷ لایه ماسه‌سنگی خاکستری و قرمز رنگ است که به‌صورت متناوب با لایه‌های ماری قرمز رنگ قرار گرفته‌اند. نتایج مطالعات سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و فرعی ماسه‌سنگ‌های این سازند در بُرش کانسار چهارآباد نشان می‌دهد این واحدهای ماسه‌سنگی از نوع فلدسپاتیک لیت‌آرنایت و لیت‌آرنایت (عمدتاً چرت‌آرنایت) هستند. ترکیب این ماسه‌سنگ‌ها بیش‌تر تحت تأثیر سنگ منشأ قرار داشته و چرخه‌های رسوبی تأثیر چندانی در ترکیب آنها نداشته است. براساس نتایج مطالعات زمین‌شیمیایی، سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند قرمز بالایی در منطقه چهارآباد از نوع آذرین حلو‌اسط تا فلسیک است. وجود توده‌های آذرین در این منطقه، این مطلب را تأیید می‌کند. با توجه به نسبت‌های مختلف بین عناصر اصلی و فرعی و

کتابنگاری

- آفانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶ ص.
- بیکدلی، ز.، ۱۳۹۳- کانی شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان و کانسنگ مس در منطقه چهرآباد، شمال شرق ماهنشان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۱۳ ص.
- جمالی پور، س.، ۱۳۹۴- کانی شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان و کانسنگ سرب در منطقه چرلانقوش، شمال شرق ماهنشان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۱۵۰ ص.
- حقیقی، آ.، ۱۳۹۵- کانی شناسی و ژئوشیمی سنگ میزبان و کانسنگ کانسار سرب و روی اورتاسو، شمال غرب زنجان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، ۹۷ ص.
- رحیمی، ر.، ۱۳۹۵- کانی شناسی و نحوه تشکیل مس در منطقه قزلجه، زنجان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۷ ص.
- لطفی، م.، ۱۳۸۰- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ماهنشان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- 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. and 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.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, M. R., Friedrich, A. and 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. and Tabatabaei, S. H., 2014- Arabia-Eurasia 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.
- Basu, A., 1985- Reading provenance from detrital quartz. In: Zuffa, G.G. (Ed.), *Provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company 407: 231–247.
- Bhatia, M. R. and 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.
- Bhatia, M. R., 1983- Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91: 611–627.
- Blatte, H., 1967- Provenance determination and recycling of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* 37: 1031–1034.
- Bracciali, L., Marroni, M., Pandolfi, L. and 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.
- Chamley, H., 1990- *Sedimentology*. Berlin: Springer-Verlag, 285 p.
- Condie, K. C., Boryta, M. D., Liu, J. and 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.
- Condie, K., Dengate, J. and Cullers, R., 1995- Behavior of rare earth elements in paleo weathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. *Geochemica et Cosmochimica Acta* 294: 259–279.
- Cullers, R. L. and Podkovyrov, V. N., 2002- The source and origin of terrigenous sedimentary rock in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia. *Precambrian Research* 117: 157–183.
- 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 (1-4): 107–131.
- Cullers, R. L., 2000- The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: Implication for provenance and metamorphic studies. *Lithos* 51: 181–203.
- Cullers, R. L., 2002- Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology* 191: 305–327.
- Das, B. K., AL-Mikhailafi, A. S. and 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., 1970- Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. *Journal of Sedimentary Petrology* 40: 695–707.
- Dickinson, W. R., 1985- Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *Provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company 407: 333–361.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W. and 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.
- Folk, R. L., 1980- *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Texas, Hemphill, 159 p.
- Gateneh, W., 2000- Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia. *Journal of African Earth Sciences* 35: 185–198.
- Gazzi, P., 1966- Le arenarie del flysch sopracretaceo dell'Appennino modenese; correlazioni con il flysch di Monghidoro. In: Dickinson, W. R., Beard L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec J. L., Ferguson, R. C. and Inman K. P. (Eds.), *Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting*. Geological Society of America Bulletin 94: 222–35.
- Hassan, S., Ishiga, H., Roser, B. P., Dozen, K. and 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. and 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. and 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.
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S. and Yu, J., 2006- Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering, *Geomorphology* 80: 147–163.
- Juboury, A. I., McCann, T. and Ghazal, M. M., 2009- Provenance of Miocene sandstones in northern Iraq: constraints from framework petrography, bulk-rock geochemistry and mineral chemistry. *Russian Geology and Geophysics* 50: 517–534.
- 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*, pp: 69–81.
- Mcbride, E. F., 1985- Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In: Zuffa, G.G., (Ed.), *Provenance of arenites*. Reidel Publishing Company 407: 95–113.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. and Hanson, G. N., 1993- Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Processes Controlling the Composition of clastic sediments*. GSA Special Paper, 284, Boulder, pp: 21–40.
- McLennan, S. M., Taylor, S. R., McCulloch, M. T. and 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.
- Nesbitt, H. W., Markovics, G. and Price, R. C., 1980- Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44: 1659–1666.
- Nesbitt, H. W. and Young, G. M., 1982- Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites. *Nature* 299: 715–717.
- North, C. P., Hole, M. J. and Jones, D. G., 2005- Geochemical correlation in deltaic successions: a reality check. *Geological Society of American Bulletin* 117: 620–632.
- Oase, S., Asiedu, D. K., Yakubo, B., Koerber, C. and Dampare, S. B., 2006- Paleoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition: A case study from some Triassic rift-valley red beds of eastern North America: Evidence from geochemistry and detrital modes. *Journal African Earth Sciences* 44: 85–96.
- Ohta, T. and Sakai, T., 2004- Deep-marine sedimentation and sequence evolution of the Toyora Group in the Nagato Basin, Inner Zone of SW Japan. *Special Issue, Journal of Geological Society of Thailand* 1: 45–60.
- Paikaray, S., Banerjee, S. and 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: 34–48.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E. and Siever, R., 1987- *Sand and Sandstone*, 2nd Edition, Springer, New York. 553 p.
- Rieser, A. B., Neubauer, F., Liu, Y. and 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. and 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. and 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. and Mack, G. H., 1981- Climate and the origin of quartz arenites. *Journal of Sedimentary Petrology* 51(4): 1235–1246.
- Suttner, L. J. and Dutta, P. K., 1986- Alluvial sandstone composition and paleoclimate. I: Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research* 56(3): 329–345.
- Taylor, S. R. and McLennan, S., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford, 312 p.
- Tortosa, A., Palomares, M. and Arribas, J., 1991- Quartz grain types in Holocene deposits from Spanish Central System: some problems in provenance analysis. In: Morton, A.C., Todd, S.P., & Haughton, P.D.W. (Eds.), *Developments in sedimentary provenance studies*. Special Publication Geological Society 57: 47–54.
- Velbel, M. A. and Saad, M. K., 1991- Paleoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition: A case study from some Triassic rift-valley red beds of eastern North America. *Geological Society, London, Special Publications* 57(1): 91–99.
- Von Eynatten, H., 2004- Statistical modelling of compositional trends in sediments. *Sedimentary Geology* 171(1): 79–89.
- Whitmore, G. P., Crook, K. A. and 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. and Evans, B. W., 2010- Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185–187.
- Young, S. W., 1976- Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *Journal of Sedimentary Petrology* 46: 595–603.
- Zimmermann, U. and Bahlburg, H., 2003- Provenance analysis and tectonic setting of the Ordovician clastic deposits in the southern Puna Basin, NW Argentina. *Sedimentology* 50: 1079–1104.

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

A. Rajabzadeh¹, H. Kouhestani^{2*}, M. A. A. Mokhtari² and A. Zohdi²

¹M.Sc. Student, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

²Associated Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2017 September 27

Accepted: 2018 June 19

Abstract

In this study, petrography and major and minor elements geochemical data are presented for sandstone layers of the Upper Red Formation (URF) in the Chehrabad Pb-Zn deposit (NW Zanjan) to investigate sandstone composition, tectonic setting and their source rock. In this area, URF has maximum 980 m thickness and is conformably overlies the Qom Formation limestones. Based on the microscopic studies, these sandstones mainly composed of fine- to coarse-grained clastic fragments including sedimentary and metamorphic rock fragments (25%), quartz (21%) and feldspar (10%). Based on petrographic studies, these sandstones are feldspathic litharenite and litharenite (mainly chertarenite). Based on the main components and major and minor elements geochemical data, the tectonic setting of these sandstones is an active continental margins and foreland basins. These data represent an intermediate to felsic source rock for these sandstones which was affected by the semi-humid to semi-arid climate and a low chemical weathering.

Keywords: Provenance, Climate; Tectonic setting; Upper Red Formation; Chehrabad.

For Persian Version see pages 49 to 60

*Corresponding author: H. Kouhestani; E-mail: kouhestani@znu.ac.ir