

زمین شیمی عناصر اصلی و فرعی ماسه سنگ‌های سازند لالون (کامبرین زیرین) در جنوب باختر مشهد، ایران

علی اصغر کلاگری

استاد گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

علی عابدینی

استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه ارومیه

پروین نجف‌زاده طهرانی

دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۴ تاریخ پذیرش: ۹۱/۴/۲۰

calagaria@yahoo.com

چکیده

سازند لالون (کامبرین زیرین) در جنوب باختر مشهد توسط مجموعه‌ای از لایه‌های ماسه‌سنگی (کوارتز آرنایت، ساب لیتارنایت و ماسه آهن‌دار) و کنگلومرای مشخص می‌شود. مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که کانی اصلی تخریبی لایه‌های ماسه‌سنگی کوارتز می‌باشد که توسط مقادیر کمتری از چرت، فلدسپار، میکا و زیرکن همراهی می‌شود. بر اساس مطالعات زمین‌شیمیایی، خاستگاه تکتونیکی این ماسه‌سنگ‌ها محیط حاشیه قاره‌ای غیر فعال می‌باشد. مقادیر شاخص دگرسانی شیمیایی (CIA) (۶۱/۵۱ الی ۷۴/۳۸) و دگرسانی شیمیایی پلاژیوکلاز (PIA) (۵۳/۵۴ الی ۶۷/۰۷) نشان می‌دهند که این ماسه-سنگ‌ها در شرایط هوازدگی متوسط تکوین یافته‌اند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی منشاء آذرین فلسیکی تا حدواسط را برای این سنگ‌ها آشکار می‌کنند. با تلفیق نتایج سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی چنین استنباط می‌شود که تشکیل این سنگ‌ها احتمالاً حاصل فرسایش توده‌های آذرین اسیدی دگرگون شده درجه پایین و رگه‌های پگماتیتهی مربوطه هستند. این سنگ‌ها پتانسیل اقتصادی مناسبی برای استحصال سیلیس دارند.

واژه‌های کلیدی: سازند لالون، ماسه‌سنگ، برخاستگاه، هوازدگی قدیمه، جایگاه زمین‌ساختی، مشهد.

مقدمه

منشأ را مشخص نمود. سازند لالون یکی از گسترده‌ترین و چشمگیرترین رسوبات نهشته شده در مقطع زمانی کامبرین زیرین در ایران می‌باشد. تاکنون بررسی‌های زیادی از نظر محیط رسوبی، جغرافیایی دیرینه و زمین‌شیمی عناصر اصلی، جزئی، و نادر خاکی این سازند توسط پژوهشگران مختلف در نقاط مختلف ایران انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات انجام شده توسط آقائاتی (۱۳۸۵)، اعتماد سعید و حسینی برزی (۱۳۸۸)، Matsumoto et al. (1995)، Etamad-Saeed et al. (2011) و Lasemi and Amin-Rasouli (2007) اشاره نمود.

در جنوب باختر مشهد (شمال شرق ایران) رخنمون‌هایی از سازند لالون وجود دارد که به نظر می‌رسد بررسی زمین‌شیمی ماسه‌سنگ‌های این سازند در

هر ماسه‌سنگی با جایگاه زمین‌ساختی ویژه خود در منطقه منشاء، دارای زمین‌شیمی خاص و منحصر به فرد خود می‌باشد. افزون بر این، جایگاه زمین‌ساختی محیط‌های تنه‌سنستی یکی از فاکتورهای کنترلی موثر در عملکرد فرایندهای رسوبی، دیاژنز و در نتیجه ترکیب نهایی سنگ‌های رسوبی می‌باشد (Dickinson and Suczek, 1979; Bhatia, 1983; Roser and Korsch, 1986; Kreonberg, 1994). با در نظر گرفتن نکات یاد شده می‌توان با مطالعات زمین‌شیمی رسوبات و سنگ‌های سیلیسی-آواری، تیپ سنگی، جایگاه زمین‌ساختی، سنگ منشاء و شدت فرایندهای هوازدگی شیمیایی در منطقه

روش مطالعه

بررسی ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در جنوب باختر مشهد در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. بخش صحرایی شامل بررسی وضعیت زمین‌شناسی، شیب لایه‌ها و نمونه‌برداری از ماسه‌سنگ‌های منطقه بوده است. در بخش آزمایشگاهی ابتدا به بررسی ویژگی‌های بافتی و تفسیر خصوصیات سنگ‌نگاری ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از تهیه و مطالعه تعداد ۵۰ عدد مقطع نازک مبادرت شده است. سپس تعداد ۱۸ نمونه از آنها انتخاب و عناصر اصلی و فرعی آنها به روش طیف سنج انتشار اتمی پلاسما جفت شده القایی (ICP-AES) در آزمایشگاه ALS-Chemex کشور کانادا آنالیز گردیدند. مقادیر LOI نمونه‌ها توسط شرکت مذکور بوسیله اندازه‌گیری اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از حرارت دادن در ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت محاسبه گردیدند. نتایج آنالیزهای شیمیایی به همراه مقادیر LOI در جدول (۱) ارائه شده است. در این مطالعه جهت تفسیر مسائل زمین‌شیمیایی مبادرت به محاسبه ضرایب همبستگی اسپیرمن بین عناصر اصلی و محاسبه نسبت‌های اکسیدها و نیز تعیین مقادیر شاخص‌های دگرسانی شیمیایی (CIA)، دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA) و نوع ترکیبی (ICV) شده است. نتایج حاصله به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آورده شده اند.

این منطقه از ایران از سه نظر حائز اهمیت باشد: (۱) رخنمون‌های گسترده‌ای از ذخایر آهن به اشکال لایه‌ای و عدسی با ترکیب کانی شناسی غالب هماتیت در داخل این ماسه‌سنگ‌ها وجود دارد که به نظر می‌رسد مطالعه این سنگ‌ها به عنوان سنگ درونگیر ذخایر آهن بتواند در یافتن الگوها و پارامترهای زمین-شیمیایی مناسب جهت اکتشاف و شناسایی ذخایر جدیدی از آهن در این سازند در سایر نقاط کشور مفید و موثر باشد. (۲) یکی از مکان‌های مناسب شناخته شده برای اکتشاف و شناسایی ذخایر سیلیس در ایران زمین بخش بالایی ماسه‌سنگ لالون (کوارتزیت راسی) است. مطمئناً بررسی عوامل مؤثر در بالا رفتن میزان سیلیس این سازند می‌تواند قدمی کوچک ولی مؤثر در پیدا نمودن پتانسیل‌های مناسبی از این ماده در سایر بخش‌های ایران زمین باشد. (۳) نتایج بدست آمده از این مطالعه می‌تواند کمک مؤثر و شایانی در روشن ساختن وضعیت جغرافیای قدیمه پالئوژئیک در شمال شرق ایران نماید. با توجه به موارد یاد شده، در این مطالعه سعی شده است با تکیه بر نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، سنگ نگاری و زمین شیمی عناصر اصلی و فرعی به بررسی سنگ مادر، شرایط هوازادگی قدیمه و جایگاه زمین‌ساختی ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در این نقطه از ایران پرداخته شود.

جدول ۱. نتایج آنالیزهای ICP-AES عناصر اصلی و فرعی همراه با مقادیر LOI ماسه سنگ‌های مورد مطالعه در جنوب باختر مشهد. مقادیر اکسیدها و LOI بر حسب درصد وزنی می‌باشند.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	SUM
R-1	۹۱/۵	۱/۴۷	۴/۱۷	۰/۴۱	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۴۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۶۵	۹۸/۸۶
R-2	۸۸/۹	۳/۶۵	۲/۵۴	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۰۳	۱/۲۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۲	۱/۲۲	۹۸/۷۱
R-3	۹۶/۱	۱/۵۴	۱/۵۸	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۴۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱	۱۰۰/۰۵
R-4	۸۹/۳	۳/۵۷	۲/۶۰	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۱/۲۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۷۴	۹۸/۰۰
R-5	۹۶/۰	۱/۵۶	۱/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۴۴	۰/۱۱	۰/۰۱	n.d.	۰/۳۰	۹۹/۸۰
R-6	۹۴/۸	۱/۴۹	۱/۰۸	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۶۹	۹۸/۷۸
R-7	۹۵/۸	۱/۸۴	۰/۸۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۳۹	۹۹/۷۲
R-8	۹۵/۲	۱/۱۰	۲/۶۸	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۰	۹۹/۶۰
R-9	۹۵/۹	۱/۴۸	۱/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۶۰	۹۹/۸۶
R-10	۹۴/۶	۱/۴۳	۰/۹۸	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۴۰	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۵۰	۹۸/۲۲
R-11	۹۲/۹	۱/۸۰	۰/۸۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۵۲	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۳۹	۹۷/۷۰
R-12	۹۵/۴	۱/۸۰	۱/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۵۳	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۰	۹۹/۲۰
R-13	۹۶/۳	۱/۸۳	۱/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۵۳	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۴۸	۱۰۰/۵۸
R-14	۸۴/۱	۶/۶۵	۵/۰۶	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۰۴	۲/۰۶	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۱/۱۸	۹۹/۹۲
R-15	۹۳/۱	۲/۱۷	۱/۲۶	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۶۲	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۵۹	۹۸/۲۹
R-16	۹۶/۱	۲/۰۱	۰/۹۵	n.d.	n.d.	۰/۱۰	۰/۵۹	۰/۰۴	n.d.	۰/۰۳	۰/۲۹	۱۰۰/۱۱
R-17	۹۳/۴	۲/۱۰	۱/۵۹	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۶۳	۰/۱۳	۰/۰۱	n.d.	۰/۶۰	۹۸/۶۶
R-18	۹۴/۲	۱/۹۷	۰/۹۹	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۵۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۸۹	۹۸/۸۸

n.d= Not detected

جدول ۲. ضرایب همبستگی اسپیرمن بین عناصر اصلی و فرعی در نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در جنوب باختر مشهد

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Ti	Mn	P
Si	۱/۰۰۰									
Al	-۰/۴۵۴	۱/۰۰۰								
Fe	-۰/۵۰۱	۰/۱۵۲	۱/۰۰۰							
Ca	-۰/۶۸۱	۰/۲۴۹	۰/۴۶۶	۱/۰۰۰						
Mg	-۰/۷۱۵	۰/۵۹۹	۰/۳۰۲	۰/۵۲۰	۱/۰۰۰					
Na	۰/۰۳۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	-۰/۵۶۲	-۰/۱۹۱	۱/۰۰۰				
K	-۰/۴۵۸	۰/۹۸۲	۰/۱۸۹	۰/۲۵۲	۰/۶۳۶	-۰/۰۴۳	۱/۰۰۰			
Ti	-۰/۱۹۴	۰/۳۹۶	۰/۱۴۳	۰/۲۴۳	۰/۴۹۳	-۰/۱۹۴	۰/۳۷۵	۱/۰۰۰		
Mn	-۰/۱۵۷	-۰/۳۶۴	۰/۴۴۳	۰/۴۰۷	۰/۱۳۷	-۰/۰۴۰	-۰/۳۱۲	-۰/۱۱۵	۱/۰۰۰	
P	-۰/۵۱۱	۰/۴۰۷	۰/۳۲۰	۰/۴۴۶	۰/۶۲۰	-۰/۰۷۸	۰/۴۲۰	۰/۰۷۴	-۰/۰۰۲	۱/۰۰۰

جدول ۳. مقادیر شاخص‌ها و نسبت‌های اکسیدهای اصلی و فرعی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه

	CIA	PIA	CVI	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/Na ₂ O
R-1	۶۱/۵۱	۵۳/۵۴	۲/۵۰	۲۹/۴۰	۶۲/۲۴	۴/۱۰
R-2	۶۳/۱۵	۵۳/۳۹	۱/۳۱	۷۳/۰۰	۲۴/۳۶	۴۰/۳۳
R-3	۷۱/۳۰	۶۳/۳۱	۱/۴۶	۳۸/۵۰	۶۲/۴۰	۱۱/۷۵
R-4	۷۱/۶۹	۶۲/۶۰	۱/۱۷	۲۷/۴۶	۲۵/۰۱	۲۴/۲۰
R-5	۷۱/۵۶	۶۴/۳۷	۱/۱۷	۱۴/۱۸	۶۱/۵۴	۲/۹۳
R-6	۷۲/۳۳	۶۵/۲۴	۱/۱۴	۲۱/۲۹	۶۳/۶۲	۴۲/۰۰
R-7	۷۳/۰۲	۶۵/۸۳	۰/۸۴	۲۰/۴۴	۵۲/۰۷	۴/۴۲
R-8	۶۷/۴۸	۵۹/۸۵	۲/۹۵	۳۶/۶۷	۸۶/۵۵	۱/۴۸
R-9	۷۳/۲۷	۶۷/۰۷	۱/۱۸	۱۱/۳۸	۶۴/۸۰	۱۲/۶۷
R-10	۷۱/۱۴	۶۳/۹۸	۱/۱۲	۲۰/۴۳	۶۶/۱۵	۴۰/۰۰
R-11	۷۲/۸۷	۶۵/۶۴	۰/۸۴	۲۵/۷۱	۵۲/۱۷	۴/۳۳
R-12	۷۴/۳۸	۶۷/۲۰	۱/۰۱	۳۰/۰۰	۵۳/۰۰	۱۷/۶۷
R-13	۷۳/۲۰	۶۵/۹۹	۰/۹۹	۱۳/۰۷	۵۲/۶۲	۱۷/۶۷
R-14	۷۳/۴۸	۶۳/۶۷	۱/۱۴	۲۰/۱۵	۱۲/۶۵	۵۱/۵۰
R-15	۷۱/۳۸	۶۴/۰۵	۱/۰۲	۱۳/۵۶	۴۲/۹۰	۱۰/۳۳
R-16	۷۴/۳۱	۶۷/۱۴	۰/۸۲	۵۰/۲۵	۴۷/۸۱	۵/۹۰
R-17	۷۲/۶۶	۶۵/۰۴	۱/۱۶	۱۶/۱۵	۴۴/۴۸	۶/۳۰
R-18	۷۲/۱۶	۶۵/۴۵	۰/۹۰	۶۵/۶۷	۴۷/۸۲	۵/۸۹

بحث و بررسی

زمین شناسی

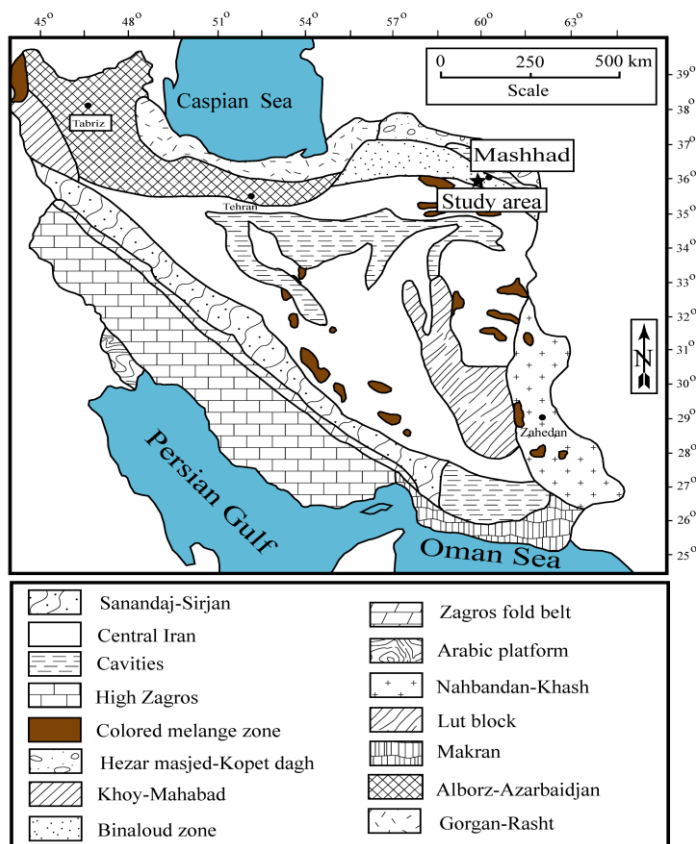
بر اساس تقسیم بندی زون های زمین ساختی ایران (نبوی، ۱۳۵۵) منطقه مورد مطالعه بخشی از زون بینالود می باشد (شکل ۱). سنگهای فراگیر این منطقه به ترتیب از قدیم به جدید شامل ماسه سنگ ها و کنگلومراهای سازند لالون (کمبرین زیرین)، اسلیت ها و فیلیت های سازند مایان (ژوراسیک)، ماسه - سنگ ها، مارن ها و کنگلومراهای (نئوژن) و نهشته های کواترنری می باشند (شکل ۲). امتداد کلی ماسه سنگ های لالون در منطقه مورد مطالعه NW-SE بوده و شیب عمومی آنها ۳۴ درجه به سمت جنوب باختر می باشد. در این منطقه توالی کامل چینه شناسی ماسه سنگ لالون در مقطع تیپیک (دره لالون) گزارش شده توسط Assereto (1963) دیده نمی شود و ماسه سنگ ها به رنگ قرمز، صورتی تا صورتی مایل به سفید و کوارتزیت راسی سفید رنگ به عنوان یک واحد سنگی ثابت در منطقه مورد مطالعه حضور دارند. ساختارهای چینه بندی متقاطع و ترکهای گلی از مهم ترین ویژگی های زمین شناسی این سنگ ها هستند. همچنین درزه های غیر سیستماتیک رایج در این سنگ ها، نشان از تنش های ساختاری اعمال شده در منطقه دارد.

سنگ نگاری

ماسه سنگ های لالون در منطقه مورد پژوهش بر اساس مقادیر مودال کانی های اصلی تشکیل دهنده (کوارتز، فلدسپار و خرده سنگ) با استفاده از نمودار سه متغیره Q-F-R (Okada, 1971) در دو گروه کوارتز آرنایت و لیتیک آرنایت قرار می گیرند (شکل ۳). مطالعات میکروسکوپی نشان می دهد که کوارتز کانی اصلی در این سنگ ها بوده که به صورت اشکال تک بلوری تقریباً هم اندازه و بعضاً زاویه دار و با خاموشی ساده و خاموشی موجی در متن ماسه سنگ ها توزیع یافته اند. در این میان، کوارتزهای چند بلوری و نیز کوارتزهای تک بلوری به صورت پراکنده در رخساره کوارتز آرنایتی حضور دارند. برخی از فلدسپارهای تخریبی دگرسانی سریستی نشان می دهند (شکل ۴-الف). میکاها که بعضاً به صورت اشکال سوزنی در متن سنگ ها حضور دارند، در اثر فشارهای دینامیکی دچار خمیدگی شده اند (شکل ۴-ب). در نمونه های مربوط به رخساره لیتیک - آرنایت آثاری از خرده سنگ های رسوبی چرتی به صورت پراکنده مشاهده می شود. زیرکن نیز از کانی های رایج در کوارتز آرنایت ها می باشد (شکل ۴-پ). بافت قابل تشخیص در کوارتز آرنایت بافت موزائیکی می باشد (شکل ۴-ت). مجموعه های کانایی مذکور در این سنگ ها توسط سیمانی از اکسیدهای آهن (شکل ۴-ت) و بعضاً کلسیت و ماتریکسی از جنس رس (۰/۵-۱٪ تا در صد) به یکدیگر متصل شده اند.

زمین شیمی عناصر اصلی و فرعی

به طور کلی فراوانی عناصر اصلی و فرعی بازتاب گسترده ای را از ترکیب کانی شناسی نمونه های ماسه سنگی نشان می دهند (Gonzalez-Lopez et al., 2005). آنالیزهای شیمیایی نشان می دهند که از بین اکسیدها، SiO_2 با فراوانی بین ۸۴/۱ الی ۹۶/۱ در صد وزنی بدنه و بخش اصلی اسکلت ماسه - سنگ ها را تشکیل می دهد (جدول ۱). استفاده از نمودار دو متغیره $\log(SiO_2)$ - $\log(Fe_2O_3/K_2O) - Al_2O_3$ (Pettijohn et al., 1972) مشخص می شود که ماسه سنگ های مورد مطالعه دارای تنوع ترکیبی از کوارتز آرنایت تا ساب لیتارنایت و ماسه آهن دار می باشند (شکل ۵). محاسبه ضرایب همبستگی اسپیرمن بین عناصر اصلی و فرعی نشان می دهد که از بین اکسیدها، بالاترین همبستگی مثبت بین K_2O با Al_2O_3 ($r = 0.982$) و می باشد. این همبستگی مثبت احتمالاً متأثر از حضور کانی مسکویت در ماسه سنگ ها است. حضور مقادیر پایین TiO_2 (۰/۰۴ الی ۰/۳۳ در صد وزنی) در ماسه سنگ ها می تواند دلیلی بر منشاء آذرین فلسیک آنها باشد (Hayashi et al., 1997). همبستگی منفی و ضعیف بین SiO_2 با Al_2O_3 ($r = -0.454$) (جدول ۲) نشان می دهد که رسوبات ماسه سنگی مورد مطالعه از نظر کانی شناسی از درجه بلوغ بالایی برخوردارند (Naqvi et al., 2002). بعلاوه، از تحرک عناصر اصلی در طی هوازگی، حمل و نقل و فرایندهای پس از رسوبگذاری نیز می توان در تعیین درجه بلوغ رسوبات مورد مطالعه استفاده نمود (McLennan, 1993). مطالعات انجام شده نشان داده است که نسبت SiO_2/Al_2O_3 یک شاخص بسیار



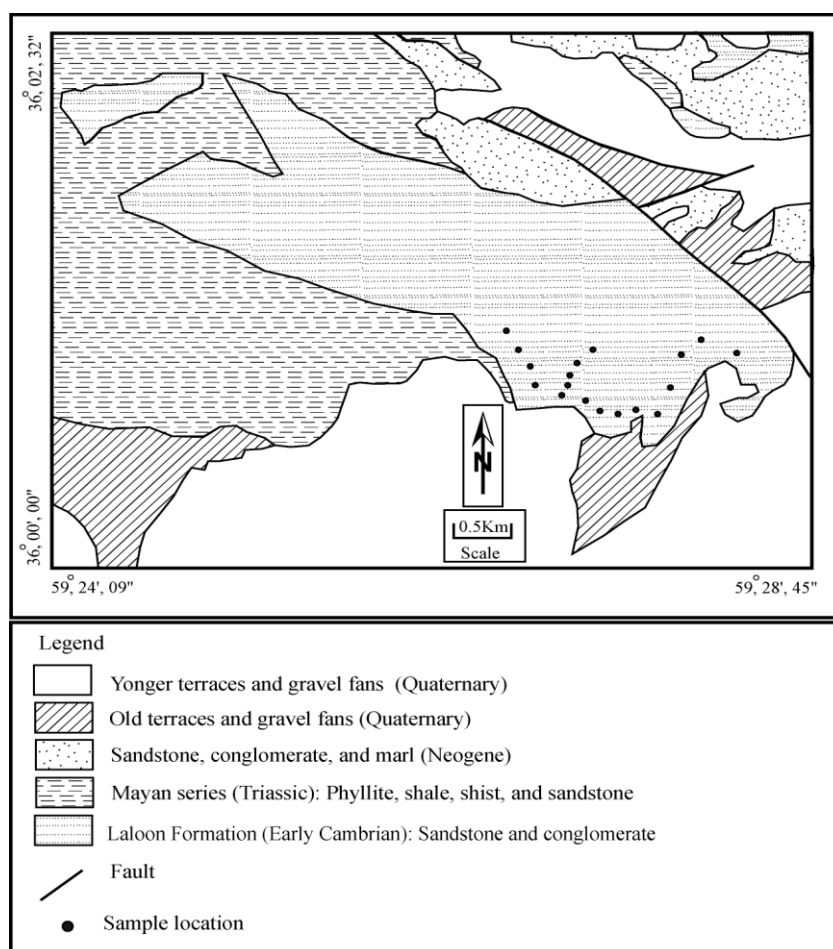
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زون های ساختاری ایران (نبوی، ۱۳۵۵).

مقادیر پایین در ماسه‌سنگ‌ها باشد (Condie et al., 1992). بررسی شاخص تنوع ترکیبی (ICV) (Cox et al., 1995) با استفاده از رابطه زیر ویژگی‌های ژنتیکی دیگری را از ماسه‌سنگ‌ها آشکار می‌کند:

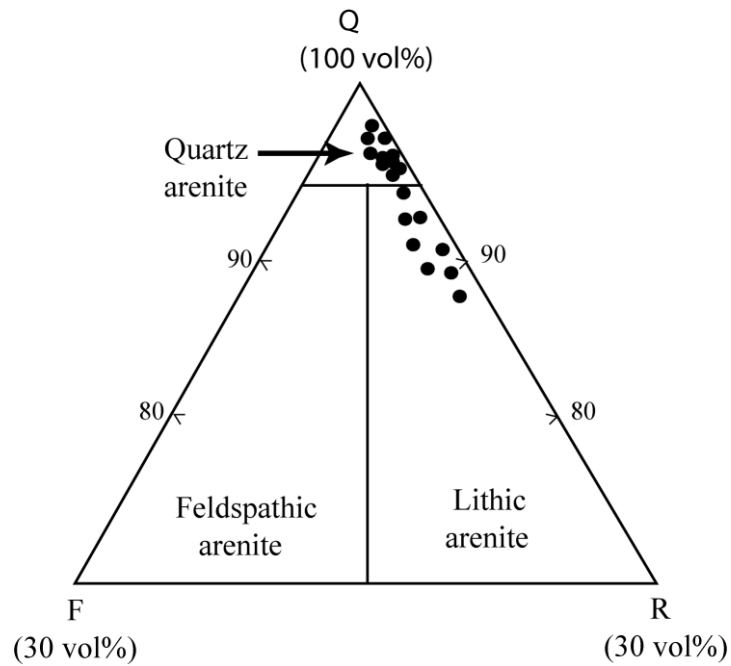
$$ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3]$$

بر اساس این شاخص، رسوبات و یا سنگ‌های رسوبی با مقادیر ICV بیشتر از ۱ به احتمال فراوان مربوط به رسوبات سیکل اول و رسوبات و یا سنگ‌های رسوبی با مقادیر ICV کمتر از ۱ ممکن است رسوبات چرخه مجدد یا رسوبات به شدت هوازده از سیکل اول رسوبی باشند (Cullers and Podkovyrov, 2002). نتایج بدست آمده در صورتی قابل اطمینان می‌باشد که دیاژنز بر مقادیر Na، K، و Ca در نمونه‌های مورد بررسی تاثیر چندانی نگذاشته باشد (Cullers and Podkovyrov, 2002). میزان ICV در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بازه‌ای از ۰/۸۲ الی ۳/۵۰ را به نمایش می‌گذارد (جدول ۳) که نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در جنوب باختر مشهد به احتمال فراوان هم مربوط به رسوبات سیکل اول و هم رسوبات تحت چرخه مجدد رسوبی می‌باشند.

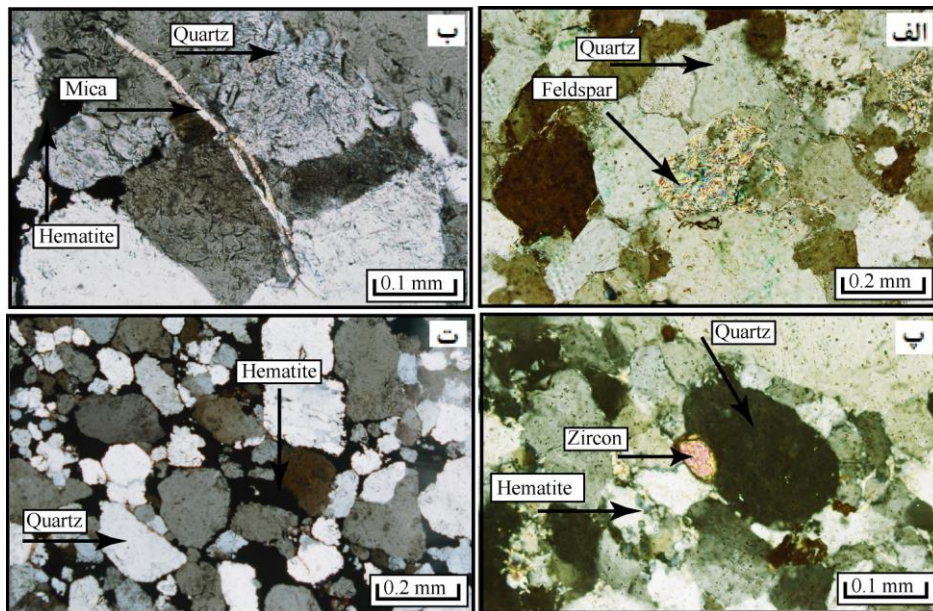
مناسب برای تعیین درجه بلوغ سنگ‌های رسوبی می‌باشد (Potter, 1978). این نسبت در طی هوازده‌گی، حمل و نقل و چرخه رسوبی مجدد، بواسطه افزایش مقدار کوارتز نسبت به اجزای ناپایداری چون فلدسپار و قطعات سنگی، روندی افزایشی نشان می‌دهد. نسبت SiO_2/Al_2O_3 بیشتر از ۵-۶ در سنگ‌های رسوبی مبین درجه بلوغ بالای رسوبات است (Roser and Korsch, 1986). محاسبه مقادیر نسبت یاد شده در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بازه‌ای بین ۱۲/۶۵ الی ۸۶/۵۵ را نشان می‌دهند که دلالت بر درجه بلوغ بالای آنها دارند. الگوی توزیع عناصر اصلی به هنجار شده به ترکیب پوسته قاره بالایی (UCC) (Taylor and McLennan, 1985) سیماهای زمین‌شیمیایی جالب دیگری از ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه را نمایش می‌دهد (شکل ۶). آنچه که از این نمودار استنباط می‌شود این است Na_2O در برخی از نمونه‌ها با تهی‌شدگی شدیدی نسبت به ترکیب UCC همراه بوده است. این تهی‌شدگی می‌تواند بدلیل تحرک زیاد این عنصر نسبت به دیگر عناصر در طی فرایند هوازده‌گی (Das et al., 2006) و یا بواسطه پایین بودن مقدار پلاژیوکلازهای تخریبی در سنگ مادر ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه بوده باشد. افزون بر این، تهی‌شدگی اکسیدهای عناصر K، Ti، Mn و Fe می‌تواند دلیلی بر حضور کانی‌های فرومنیزین و فیلوسیلیکات‌ها در



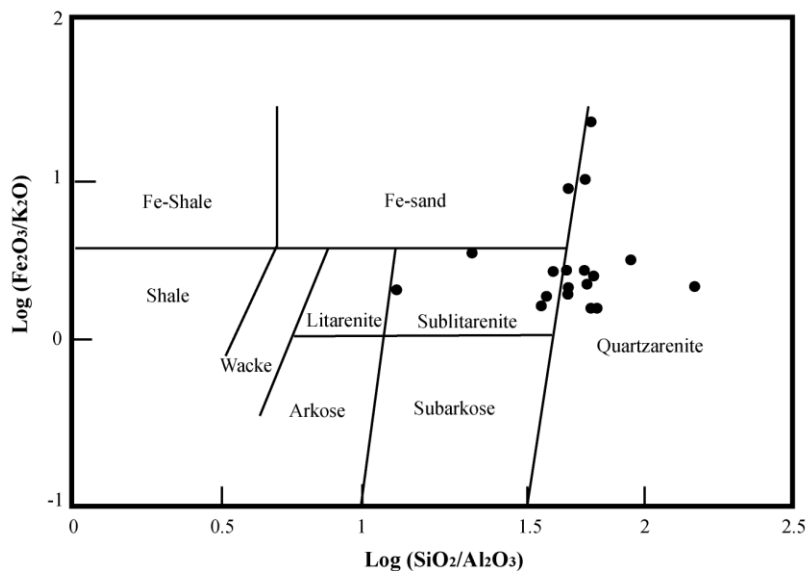
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از پورلطیفی، ۱۳۷۷ با اندکی تغییرات). محل برداشت نمونه‌های آنالیز شده با دایر توپر نشان داده شده است.



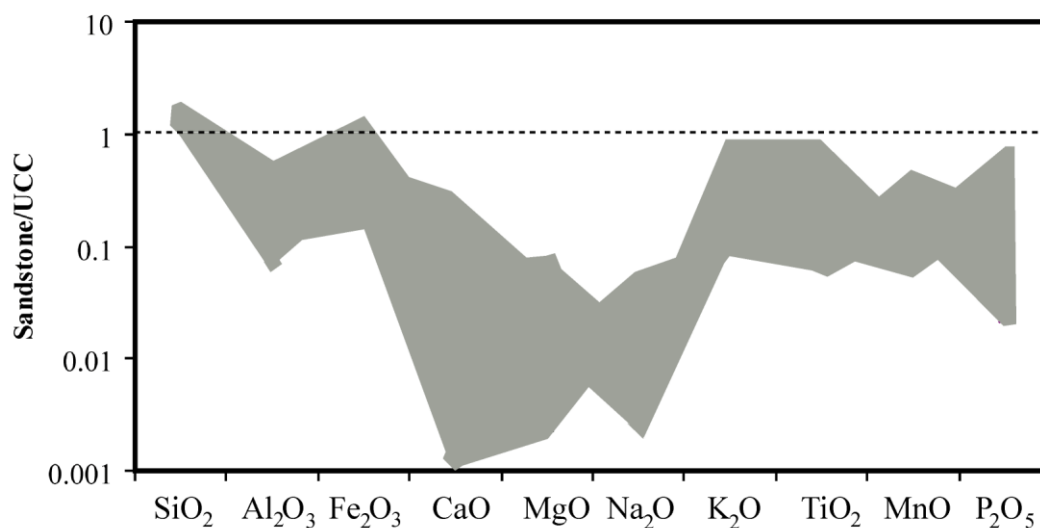
شکل ۳. طبقه‌بندی کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در جنوب باختر مشهد بر اساس نمودار سه متغیره Q-F-R (Okada, 1971). در این نمودار Q کوارتز، F فلدسپار، و R خرده‌های سنگی می‌باشند.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه (نور XPL). الف- حضور کوارتز و فلدسپار سرسپسته شده در ماسه‌سنگ‌های لیتیک آرنایتی. ب- تصویری از میکای خمیده که در اثر تنش‌های ساختمانی متحمل خمیدگی شده است. پ- حضور کانی زیرکن در کوارتز آرنایت. ت- بافت موزائیکی در کوارتز آرنایت که در آن حفرات موجود بین دانه‌ها توسط اکسید آهن پر شده است.



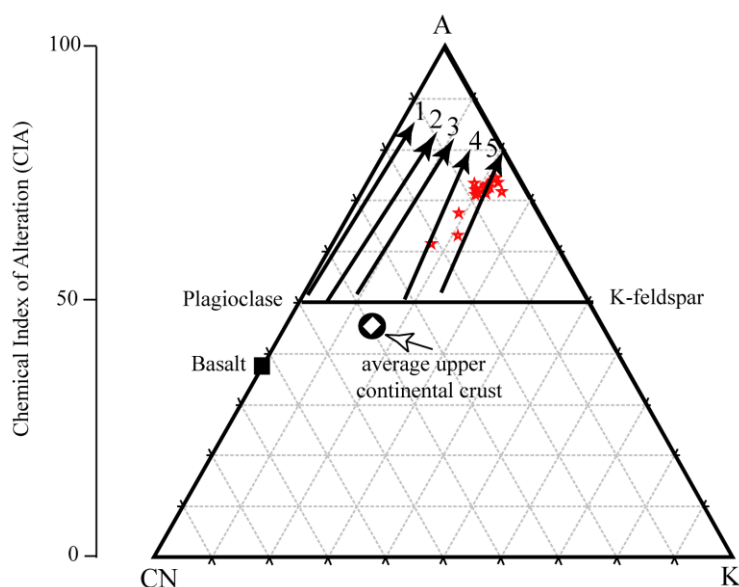
شکل ۵. موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نمودار دو متغیره $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ - $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ (Pettijohn et al., 1972).



شکل ۶. نتایج به‌هنجارسازی شده عناصر اصلی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نسبت به ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (uppercontinental crust) (Taylor and McLennan, 1985).

شرایط هوازگی دیرین

مقادیر PIA حدود ۵۰ مربوط به سنگ‌های غیر هوازده می‌باشد. مقدار این شاخص با افزایش پیشرفت فرایند هوازگی از ۵۰ به ۱۰۰ تغییر می‌کند. مقادیر PIA حدود ۱۰۰ بیان کننده‌ی تبدیل کامل فلدسپارها به کائولینیت، گیبسیت و ایلیت می‌باشد (Fedo et al., 1995). محاسبات انجام شده آشکار می‌نماید که بازه این شاخص در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از ۵۳/۵۴ الی ۶۷/۰۷٪ متغیر است (جدول ۳). نتایج این شاخص به مانند شاخص دگرسانی شیمیایی دلالت بر شدت هوازگی متوسط در طی تکوین سنگ‌های مورد مطالعه دارد. روند هوازگی می‌تواند با استفاده از نسبت‌های مولی عناصر و توسط نمودار سه متغیره A-CN-K {Al₂O₃-(CaO*+Na₂O)-K₂O} نیز مورد ارزیابی قرار گیرد (Nesbitt and Young, 1984; Fedo et al., 1995). در روی نمودار یاد شده، در طی مراحل اولیه هوازگی، نمونه‌های ترسیم شده روندی موازی با ضلع A-CN را خواهند داشت. این در حالی است که با افزایش شدت فرایندهای هوازگی، نمونه‌ها به سمت راس A گرایش پیدا می‌کنند (شکل ۷).



شکل ۷. موقعیت ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار سه متغیره A-CN-K {Al₂O₃-(CaO*+Na₂O)-K₂O} (Nesbitt and Young, 1984). فلش‌های ترسیم شده بر روی نمودار، تغییر در ترکیب نمونه‌ها به صورت تئوری طی پیشرفت فرایندهای هوازگی را نشان می‌دهند. مقادیر CIA بدست آمده برای ماسه‌سنگ‌ها در سمت چپ نمودار نشان داده شده‌اند. موقعیت ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) از Taylor and McLennan (1985) اقتباس شده است. اعداد ۱ الی ۵ به ترتیب نشان دهنده روندهای ترکیبی در نیمرخ‌های هوازگی برای سنگ‌های گابرو، تونالیت، دیوریت، گرانودیوریت، و گرانیت هستند. بر اساس این نمودار، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه عمدتاً در مسیر هوازگی سنگ‌های گرانیتی قرار می‌گیرند.

زمین‌شیمی عناصر اصلی و فرعی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی-آواری می‌توانند توسط فرایندهای هوازگی دچار تغییر شوند (Nesbitt and Young, 1982; McLennan, 1993). تاریخچه هوازگی رسوبات و سنگ‌های آواری می‌تواند از روی نسبت تغییرات اکسیدهای بی‌حرکی نظیر Al₂O₃ نسبت به اکسیدهای متحرکی نظیر CaO، Na₂O، و K₂O ارزیابی شود (Nesbitt and Young, 1984). شاخصی که در این رابطه می‌تواند وسیعاً مورد استفاده قرار بگیرد، شاخص دگرسانی شیمیایی (CIA) است. این شاخص با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد، جاییکه در آن CaO* میزان کلسیم موجود در بخش سیلیکاته را نشان می‌دهد:

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$$

در نمونه‌هایی که CaO آنها مربوط به سیمان‌های دیاژنتیکی می‌باشند، مقدار CaO باید تصحیح شود. مقادیر CIA در سنگ‌های دگرسان شده بین ۵۰ الی ۱۰۰ متغیر است. مقادیر CIA بالا دلالت بر حذف کاتیون‌های ناپایداری چون K⁺، Na⁺، و Ca²⁺ و تمرکز کاتیون‌هایی نظیر Al³⁺ در طی فرایندهای هوازگی دارد. به منظور تعیین دقیق مقادیر CIA نمونه‌ها بواسطه حضور سیمان‌های کربناته می‌توان نمونه‌های با CaO بالای ۵٪ را در اندازه‌گیری شدت دگرسانی در نظر نگرفت (Garcia et al., 2004). بررسی نتایج آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهند که بالاترین میزان CaO در ماسه‌سنگ‌های سازند لالون در حدود ۰/۸۹٪ می‌باشد. لذا با در نظر گرفتن اینکه هیچ یک از نمونه‌های مورد مطالعه دارای CaO بالای ۵٪ در صد وزنی نیستند، در محاسبات مقادیر CaO در ماسه‌سنگ‌ها معادل CaO* در نظر گرفته شدند. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقادیر CIA نمونه‌های مورد مطالعه در بازه‌ای از ۶۱/۵۱ الی ۷۴/۳۸٪ متغیر است (جدول ۳). با توجه به این بازه می‌توان شدت هوازگی متوسط را برای تکوین ماسه‌سنگ‌ها در نظر گرفت. وجود کانی‌های سنگین نظیر زیرکن در ماسه‌سنگ‌ها نشان از تأثیر فرایندهای هوازگی متوسط در آنها دارد و حضور چرت نیز این موضوع را بیشتر تایید می‌کند (Das et al., 2006). به نظر می‌رسد دانه‌های کوارتز تحت شرایط پس از رسوبگذاری در ناحیه منشاء تغییر شکل یافته‌اند. این مسئله به واسطه حضور کوارتزهای تک بلوری با خاموشی موجی در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه مورد تایید می‌باشد (Das et al., 2006). شاخص دگرسانی پلاژیوکلاز (PIA) (Fedo et al., 1995) شاخص دیگری می‌باشد که به وفور در تعیین شدت هوازگی دیرین سنگ‌های رسوبی آواری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد، جاییکه به مانند CIA در این رابطه CaO* میزان کلسیم موجود در فاز سیلیکاته را نشان می‌دهد:

$$PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O - K_2O)] \times 100$$

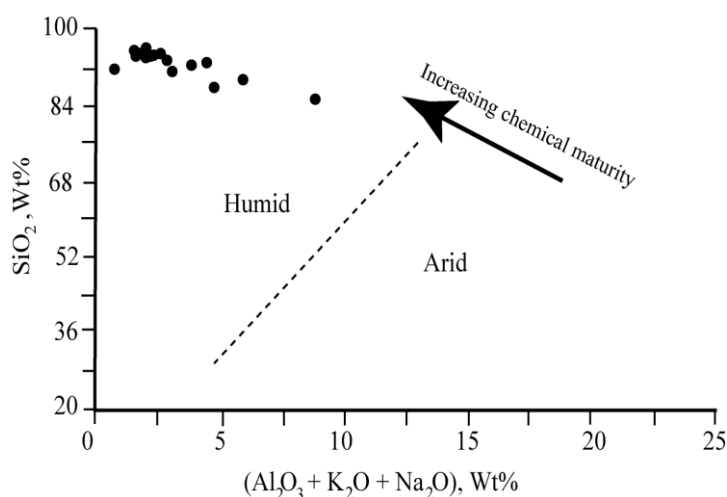
(Fedo et al., 1995)

که در ناحیه درون کراتونی یا کوهزایی مجدد شکل گرفته‌اند (Dickinson et al., 1983). شواهد سنگ‌نگاری نظیر وجود بلورهای تک شکل کوارتز و نیز حضور دانه‌های کوارتز چند بلوری در این سنگ‌ها به ترتیب دلایل محکمی بر اشتقاق احتمالی دانه‌های کوارتز از سنگ‌های گرانیتی و رگه‌های پگماتیستی با درجه دگرگونی ضعیف می‌باشند (Greensmith, 1988). استفاده از نسبت Al_2O_3/TiO_2 روش زمین‌شیمیایی دیگری بوده که در این بررسی برای تشخیص منشاء ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه استفاده شده است. مطالعات روشن نموده است که در سنگ‌های آذرین عادی، Al عمدتاً در فلدسپارها و Ti در کانی‌های مافیک (الیوین، پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت، و ایلمنیت) حضور دارد. در سنگ‌های آذرین با افزایش نسبت مقادیر Al/Ti، مقدار SiO_2 نیز افزایش می‌یابد (Holland, 1984; Hayashi et al., 1997). این بررسی‌ها مشخص نموده است که افزایش مقادیر نسبت Al_2O_3/TiO_2 در سنگ‌های مافیک در بازه‌ای از ۳ الی ۸، در سنگ‌های آذرین حدواسط در بازه‌ای از ۸ الی ۲۱، و در سنگ‌های آذرین فلسیک در بازه‌ای از ۲۱ الی ۷۰ برابر اتفاق می‌افتد (Hayashi et al., 1997). بررسی‌های نسبت‌های مذکور بازه‌ای از ۱۱/۳۸ الی ۷۳/۰۰ برابر را در ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن مقادیر یاد شده برای سنگ‌های آذرین مختلف می‌توان ادعا نمود که ماسه-سنگ‌های سازند لالون از فرسایش و هوازدگی سنگ‌های آذرین فلسیک تا حد واسط نشأت گرفته‌اند. مطالعات انجام شده توسط Hayashi et al. (1997) نشان می‌دهد که مقدار SiO_2 سنگ‌های آذرین عادی می‌تواند بوسیله نسبت Al_2O_3/TiO_2 و با استفاده از رابطه زیر ارزیابی شود:

$$SiO_2 \text{ (Wt.\%)} = 39.34 + 1.2578 (Al_2O_3/TiO_2) - 0.0109 (Al_2O_3/TiO_2)^2$$

نتایج محاسبات نشان می‌دهد که مقدار SiO_2 سنگ‌های مادر این ماسه‌سنگ‌ها در بازه‌ای از ۵۲/۳۵ تا ۷۷/۳۰٪ متغیر می‌باشد. با در نظر گرفتن مقادیر یاد شده می‌توان تشکیل و توسعه این ماسه‌سنگ‌ها را در ارتباط با دگرسانی و فرسایش توده‌های آذرین فلسیک و حد واسط در نظر گرفت. نمودار سه متغیره A-CN-K $\{Al_2O_3-(CaO*Na_2O)-K_2O\}$ نیز می‌تواند برای تعیین ترکیبات اولیه سنگ‌های مادر سنگ‌های رسوبی آواری استفاده شود (Nesbitt and Young, 1984). چنانچه در شکل (۷) مشاهده می‌گردد، بسیاری از نیمرخ‌های هوازدگی روند خطی موازی با اتصال A-CN را نمایش می‌دهند. در این نمودار، روند هوازدگی خط اتصال فلدسپار را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این نقطه، نسبت پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم سنگ سالم و غیر هوازده را نشان می‌دهد. این نسبت یک شاهد بسیار خوب در تعیین نوع سنگ مادر سنگ‌های رسوبی آواری محسوب می‌شود (Fedo et al., 1995). بر اساس این نمودار، از بین فلش‌های مربوط به روند هوازدگی سنگ‌های گابرو، تونالیت، دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت، ماسه‌سنگ‌های سازند لالون به طور عمده در روند هوازدگی سنگ‌های مادر گرانیتی جای می‌گیرند.

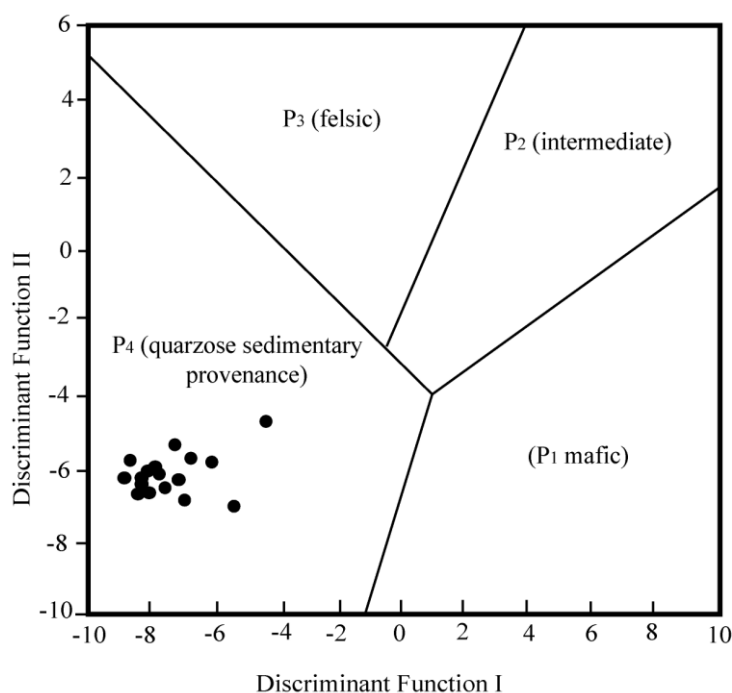
چنانچه از این شکل معلوم است نمونه‌های مورد مطالعه اغلب در حد واسط بین خط موازی K-CN و راس A قرار دارند. این موقعیت قرارگیری شرایط هوازدگی متوسط را در طی تشکیل ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد می‌کند. مضافاً استفاده از نمودار دو متغیره SiO_2 در برابر $(Al_2O_3 + K_2O + Na_2O)$ (Suttner and Dutta, 1986) (شکل ۸) نشان می‌دهد که در طی تکوین و توسعه ماسه‌سنگ‌های سازند لالون شرایط آب و هوایی مرطوب حکمفرما بوده است. با توجه به بررسی‌های سنگ‌نگاری به نظر می‌رسد که شرایط آب و هوایی مذکور سبب هوازدگی شیمیایی سنگ‌های ناحیه منشاء شده و در نتیجه باعث افزایش نسبت کوارتز به فلدسپارهای سرسیتی شده در رسوبات ماسه‌سنگی حاصله گردیده است. نتایج مشابهی توسط Gonzalez-Lopez et al. (2005) در طی مطالعه رسوبات غنی از کائولن آلبین در شمال شرق اسپانیا بدست آمده است.



شکل ۸. موقعیت ماسه‌سنگ‌ها در نمودار دو متغیره $SiO_2-(Al_2O_3+K_2O+Na_2O)$ (Suttner and Dutta, 1986).

منشا ماسه سنگ‌ها

در این پژوهش از روش‌های زمین‌شیمیایی متداول جهت تعیین منشاء ذرات آواری تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌ها استفاده شده است. ترسیم دو بعدی اکسیدهای عناصر Na, Ca, Mg, Fe, Al, Ti و K ماسه‌سنگ‌ها بر روی نمودار تفکیک کننده تابعی مجموعه ماسه‌سنگی - گلسنکی (Roser and Korsch, 1988) (شکل ۹) دلالت بر منشاء احتمالی ذرات تخریبی آواری ماسه‌سنگ‌های لالون از سنگ‌های مادر غنی از کوارتز دارد. رسوبات مشتق شده از سنگ‌های مادر غنی از کوارتز از نظر سنگ‌شناسی، ماسه‌سنگ‌های غنی از کوارتز هستند



شکل ۹. نمودار تفکیک کننده تابعی برای تعیین منشأ مجموعه ماسه سنگی- گل سنگی با استفاده از توزیع عناصر اصلی (Roser and korsch, 1988). محدوده های تفکیک شده عبارتند از:

P1 = منشأ مافیکی، P2 = منشأ آذرین حد واسط P3 = منشأ آذرین فلسیک و P4 = سنگ های دارای منشأ چرخه مجدد رسوبی

$$\text{Discriminant function 1} = -1.773\text{TiO}_2 + 0.607 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76 \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{total}} - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09$$

$$\text{Discriminant function 2} = 0.445 \text{TiO}_2 + 0.707 \text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25 \text{Fe}_2\text{O}_{3\text{total}} - 1.142 \text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475 \text{Na}_2\text{O} + 1.446 \text{K}_2\text{O} - 6.861$$

می تواند بیانگر آن باشد که ماسه سنگ های سازند لالون احتمالاً در یک محیط کراتونی پایدار تشکیل شده اند (Dickinson et al., 1983). رسوبات مربوط به حواشی غیر فعال قاره ای (PM)، معمولاً غنی از کوارتز می باشند که از نواحی داخل صفحه ای یا نواحی قاره ای پایدار نشأت گرفته و در یک حوضه درون کراتونی یا حاشیه های قاره ای غیر فعال نهشته می شوند (Roser and Korsch, 1986).

اهمیت اقتصادی ماسه سنگ ها

با توجه به بررسی های انجام شده، ماسه سنگ های مورد مطالعه از نظر استحصال سیلیس و وجود ذخایری از آهن دارای اهمیت اقتصادی می باشند. بلوغ کانی شناسی بالا و حضور سنگ های آذرین فلسیک به عنوان منشأ این ماسه سنگ ها شرایط لازم و کافی را برای افزایش سیلیس به فرم آزاد (کوارتز) در منطقه فراهم نموده است. از طرفی وجود لایه ها و عدسی هایی از آهن به فرم کانی هماتیت در این ماسه سنگ ها و نیز حضور آهن در بازه ای از ۰/۸ الی ۵/۰۶ در صد وزنی در ترکیب شیمیایی آنها این نکته را در ذهن تقویت می کند که کانسنگ های آهن موجود از نظر ژنتیکی به احتمال فراوان مرتبط با سنگ های درونگیر خود بوده، و رخداد فرایندهای گرمایی و سیستم های گسلی موجود در

جایگاه زمین ساختی

در این بررسی از روش های مختلف زمین شیمی مبادرت به تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه سنگ های مورد مطالعه شده است. اولین روش استفاده از دیاگرام سه متغیره $\text{SiO}_2/20 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) - (\text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ (Kreongberg, 1994) می باشد (شکل ۱۰). بر اساس این نمودار محیط حاشیه ای قاره ای غیر فعال به عنوان خاستگاه تکتونیکی احتمالی برای این ماسه سنگ ها پیشنهاد می شود. ترسیم مقادیر نسبت های $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 نمونه ها بصورت یک نمودار دو متغیره (شکل ۱۱- الف) (Roser and Korsch, 1986) و همچنین استفاده از نمودار دو متغیره تفکیک کننده تابعی عناصر بی تحرک و متحرک (Bhatia, 1983) (شکل ۱۱- ب) نیز از جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره ای غیر فعال برای ماسه سنگ های مورد مطالعه حمایت می کند. در نمودار دو متغیره $\text{TiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3^* + \text{MgO})$ (Bhatia, 1983) (شکل ۱۱- پ) نمونه های ماسه سنگی در محیطی پایین تر از جایگاه زمین ساختی حاشیه قاره ای غیر فعال قرار می گیرند که می تواند دال بر نقش نسبتاً ضعیف فرایندهای دیاژنتیک بر روی ماسه سنگ ها باشد. افزون بر موارد یاد شده بالا، حضور قابل ملاحظه کوارتز (۹۵-۸۰٪) در ترکیب کانیایی ماسه سنگ ها

متحمل شکستگی های فراوانی شده‌اند. فرایندهای سیمانی شدن و پر شدن فضاهای خالی از جمله فرایندهای پس از رسوبگذاری بوده که بر روی این رسوبات اعمال شده است. بررسی‌های کانی شناسی و زمین‌شیمیایی دلالت بر تأثیر متوسط فرایندهای هوازدگی در طی تکوین این سنگ‌ها دارند. نتایج به دست آمده از آنالیزهای زمین‌شیمیایی و مطالعات کانی‌شناسی آشکار نمودند که مقادیر سیلیس (SiO_2) این ماسه‌سنگ‌ها بسیار بالا بوده و عمدتاً در قالب کانی‌های کوارتز و به مقادیر بسیار اندک در داخل کانی‌های فیلوسیلیکاته حضور دارد. بلوغ کانی‌شناسی بالا در این ماسه‌سنگ‌ها و حضور یک سنگ مادر آذرین اسیدی مزید بر این علت است. نتایج حاصله از یافته‌ها حائز این نکته می‌باشند که فرایندهای تشکیل و سنگ منشاء ماسه‌سنگ‌ها نقش بارزی در تعیین میزان مقادیر سیلیس در آنها داشته و بنابراین در شرایط فعلی این ماسه‌سنگ‌ها دارای ارزش اقتصادی برای استحصال سیلیس می‌باشند.

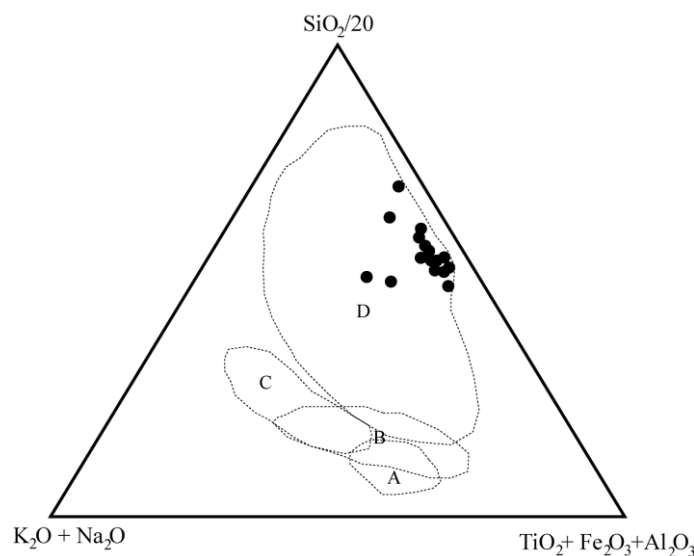
تشکر و قدردانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی دانشگاه تبریز برخوردار بوده‌اند، لذا شایسته است نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات ارزنده و سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

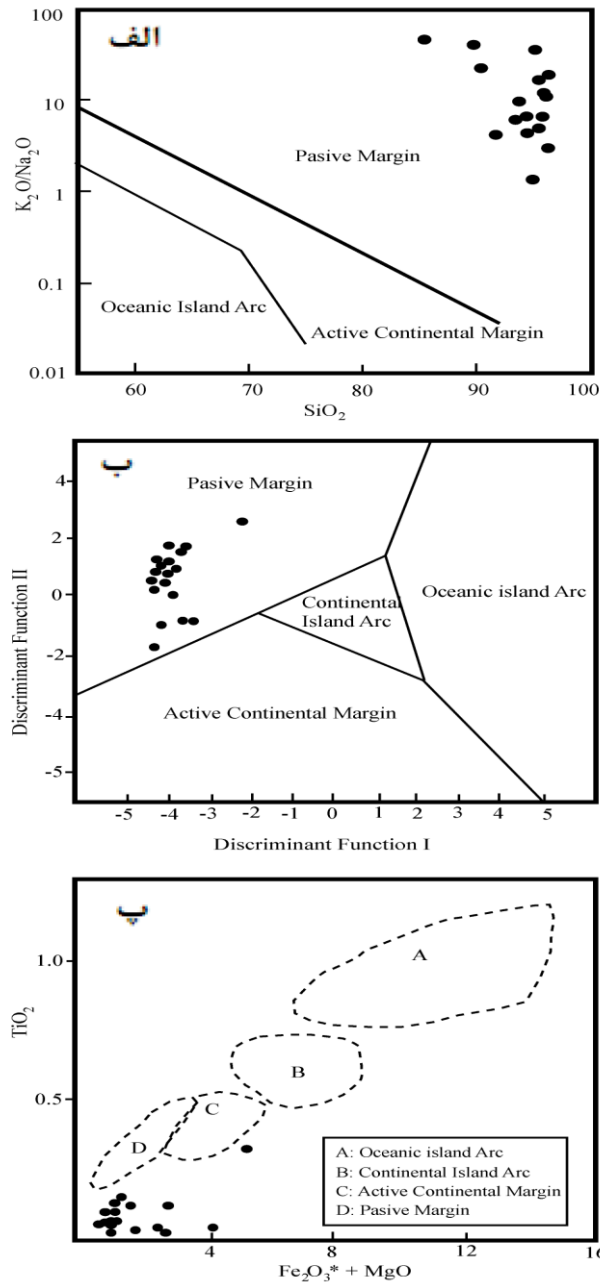
آنها به ترتیب نقش مهمی در شستشو و تمرکز Fe در این منطقه ایفا نموده باشند. تایید این مسئله نیاز به مطالعات بیشتر دارد. با در نظر گرفتن نکات یاد شده، به نظر می‌رسد بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی ماسه-سنگ‌های سازند لالون در زون بینالود می‌تواند منجر به اکتشاف و شناسایی ذخایر اقتصادی بالقوه‌ای از سیلیس و آهن در شرق ایران گردد.

برداشت

رخساره ماسه‌سنگی لالون در جنوب باختر مشهد توسط مجموعه‌ای از سنگ‌های کوارتزآرنایتی، ساب لیتارنایتی، و ماسه‌های آهن‌دار مشخص می‌شود. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهند که توالی کامل چینه‌شناسی ماسه‌سنگ لالون به مانند مقطع تیپیک (دره لالون) در این منطقه وجود ندارد. در بررسی‌های میکروسکوپی ماسه سنگ‌ها عمدتاً از دانه‌های آواری زاویه‌دار تا نیمه گرد شده تشکیل شده و کوارتز اصلی‌ترین کانی تشکیل‌دهنده آنها می‌باشد. خرده سنگ‌های رسوبی از جنس چرت و میکا نیز از دیگر ترکیبات اصلی در این سنگ‌ها بوده که توسط مقدار کمی از زیرکن همراهی می‌شود. نتایج بدست آمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی حکایت از آن دارد که ماسه‌سنگ‌ها در شرایط آرام زمین‌ساختی و از فرسایش توده‌های آذرین اسیدی و رگه‌های پگماتیتی همراه حاصل شده‌اند. بررسی شیمی عناصر اصلی پیشنهاد می‌کند که این رسوبات در حاشیه غیر فعال قاره‌ای تحت شرایط آب و هوای گرم و مرطوب نهشته شده و سپس بر اثر حرکات تکتونیکی در منطقه



شکل ۱۰. موقعیت تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در نمودار سه متغیره $\text{SiO}_2/20$ ، $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ و $\text{TiO}_2+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (Kreongberg, 1994). A, B, C, و D به ترتیب موقعیت تکتونیکی جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حاشیه فعال قاره‌ای و حاشیه غیر فعال قاره‌ای را روی نمودار نشان می‌دهند.



شکل ۱۱. الف- نمودار تفکیک کننده موقعیت تکتونیکی مجموعه ماسه سنگی - گل سنگی براساس نسبت لگاریتمی K_2O/Na_2O در برابر درصد SiO_2 (Roser and korsch, 1986). در این نمودار حاشیه غیر فعال قاره ای با PM، حاشیه قاره ای فعال با ACM، و جزایر قوسی اقیانوسی با ARC نشان داده شده است. ب- موقعیت نمونه های مورد مطالعه در نمودار تفکیک کننده تابعی برای ماسه سنگها (Bhatia, 1983).

$$\text{Discriminant Function I} = -0.0447 SiO_2 - 0.972 TiO_2 + 0.008 Al_2O_3 - 0.267 Fe_2O_3 + 0.208 FeO - 3.082 MnO + 0.140 MgO + 0.195 CaO + 0.719 Na_2O - 0.032 K_2O + 7.510 P_2O_5 + 0.303$$

$$\text{Discriminant Function II} = -0.421 SiO_2 + 1.988 TiO_2 - 0.526 Al_2O_3 - 0.551 Fe_2O_3 - 1.61 FeO + 2.720 MnO.$$

پ- موقعیت ماسه سنگ ها در نمودار دو متغیره $TiO_2 - (Fe_2O_3^* + MgO)$ (Bhatia, 1983).

منابع

- آقایی، ع.، ۱۳۸۵، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- اعتماد سعیدن، حسینی برزی، م.، ۱۳۸۸، ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه سنگ های سازند لالون در مقطع باهمو، ایران مرکزی: با نگرشی بر سنگ مادر، شرایط هوازدگی قدیمه و جایگاه زمین ساختی، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره ۹، ص ۵۳-۶۵.
- پورلطیفی، ع.، ۱۳۷۷، نقشه زمین شناسی چهارگوش طرقله با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.
- Assereto.R., 1963, The Paleozoic Formations in Central Elburz, Iran, *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigraphia*, Vol:69, p:503-543.
- Bhatia.M.R., 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, *Journal of geology*, Vol: 91, p:611-627.
- Condie.K.C., Boryta.M.D., Liu.J., Quian. X., 1992, The origin of khondalites: geochemical evidence from the Archean to Early Proterozoic granulite belt in the North China craton, *Precambrian Research*, Vol:59, p:207-223.
- Cox.R., Lower.D.R., Cullers.R.L., 1995, The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol:59, p:2919-2940.
- Cullers.R.L., Podkovyrov.V.N., 2002, The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia, *Precambrian Research*, Vol:117, p:157-183.
- Das.B.K., Al-Mikhlafl.A.S., Kaur.P., 2006, Geochemistry of Mansar Lake sediment, Jammu, India: Implication for source area weathering, provenance, and tectonic setting, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol:104, p:649-668.
- Dickinson.W.R., Beard.L.S., Brakenridge.G.R., Erjavee.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 American Bulletin*, Vol:94, p:222-235.
- Dickinson.W.R., Suczek.C.A., 1979, Plate tectonics and sandstone compositions, *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, Vol:63, p:2164-2182.
- Etemad-Saeed.N., Hosseini-Barzi.M., Armstrong-Altrin.J.S., 2011, Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran, *Journal of African Earth Sciences*, Vol:61, p:142-159.
- Fedo.C.M., Nesbitt.H.W., Young.G.M., 1995, Unraveling the effects of K-metasomatism in sedimentary rocks and paleosols with implications for palaeoweathering conditions and provenance, *Geology*, Vol: 23, p:921-924.
- Garcia.D., Ravenne.C., Maréchal.B., Moutte.J., 2004, Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis, *Sedimentary Geology*, Vol:171 (1-4), p:113-128.
- Gonzalez-Lopez.J.M.G., Bauluz.B., Fernandez-Nieto.C., Oliete.A., 2005, Factors controlling the trace-element distribution in fine-grained rocks: the Albian Kaolinite-rich deposits of the Oliete Basin (NE Spain), *Chemical Geology*, Vol:214, p: 1-19.
- Greensmith.J.T., 1988, *Petrology of the sedimentary rocks*, George Allen and Unwin, London, 241p.
- Hayashi.K., Fujisawa.H., Holland.H.D., Ohmoto.H., 1997, Geochemistry of sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol: 61, p:4115-4137.
- Holland.H.D., 1984, *The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans*, Princeton University Press, 287 p.
- Kreonberg.S.B., 1994, Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceeding of the 29th International Geological Congress, Part A*, 69-81.
- Lasemi.Y., Amin-Rasouli.H., 2007, Archaeocyathan buildups within an entirely siliciclastic succession: new discovery in the Toyonian Lalun Formation of northern Iran, the Proto-Paleotethys passive margin of northern Gondwana, *Sedimentary Geology*, Vol:201, p:302-320.

- Matsumoto.R.Z., Zheng.Y., Kakuwa.B., Hamdi.B., Kimura.H., 1995, Preliminary results of paleomagnetic study on the Cambrian to the Triassic rocks of the Alborz, Northeast Iran, reprinted from journal of the faculty of science, University of Tokyo, Vol.2, No.4.
- McLennan.S.M., 1993, Weathering and global denudation, Journal of Geology, Vol:101, p:295-303.
- Naqvi, S.M., Uday Raj.B., Subba Rao.D.V., Manikyamba.C., Nimral charan.S., Balaram.V., Srinivasa Sarama. D., 2002, Geology and geochemistry of arenite-quartzwackey from the Late Archean Sandur schist belt: Implications for provenance and accretion processes, Precambrian Research, Vol: 144, p:177-197.
- Nesbitt.H.W., Young.G.M., 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, Nature, Vol:299, p:715-717.
- Nesbitt.H.W., Young.G.M., 1984, Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based upon thermodynamic and kinetic consideration, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol:48, p:1523-1534.
- Okada.H., 1971, Classification of sandstones: analysis and proposals, Journal of Geology, Vol:79, p:509-525.
- Pettijohn.F.J., Potter.E.E., Siever.R., 1972, Sand and sandstone, Springer, New York, 618p.
- Potter.P.E., 1978, Petrology and chemistry of modern big river sands, Journal of Geology, Vol:86, p:423-449.
- 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, Vol:94, p: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, Vol:67, p. 119-139.
- Suttner.L.J., Dutta.P.K., 1986, Alluvial sandstone composition and palaeoclimate: Framework mineralogy, Journal of Sedimentary Petrology, Vol: 56 (3), p:329-345.
- Taylor.S.R., McLennan.S.M., 1985, The continental crust; its composition and evolution, Blackwell, Oxford, 312p.