فرزانه ولیپور هفشجانی، ناهید شبانیان بروجنی *، علیرضا داودیان دهکردی، محسن کریمی دهکردی؛ دانشگاه شهرکرد

دريافت ٩۶/١١/٠٣ پذيرش ٩٧/٠٤/٢٥

چکیدہ

شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔسوردی دوشا واقع در پهنه برشی شمال شهر کرد در قسمت مرکزی پهنه سنندج – سیرجان قرار دارند. این سنگهای دگرگونی بافت لپیدوگرانوبلاستیک نشان می دهند و فراوان ترین کانیهای آنها عبارت از کوارتز، فلدسپار و بیوتیت است. نمونهها در نمودار (Na₂O/K₂O) اور برابر (SiO₂/A1₂O₃) ماهیت گریوک تا شیلی را برای سنگ مادرشان نشان می دهند. بر اساس مشخصههای ژئوشیمیایی، مواد منشأ این سنگها حاصل فرسایش، حمل و نقل و رسوبگذاری سنگهای فلسیتی آذرین و گرانیتوئیدی تحول یافته هستند. میانگین اندیس شیمیایی دگرسانی CIA و اندیس شیمیایی هوازدگی WIC علاوه بر نمودار دوبعدی Al/Na در برابر SiO برای سنگ مادر این شیستهای کوارتز-فلدسپاتی، بیانگر هوازدگی متوسط در زمان تشکیل منشأ رسوبی آنها است. رسم نمودار SiO در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی، بیانگر هوازدگی متوسط در زمان تشکیل منشأ رسوبی آنها است. رسم نمودار SiO در برابر May (May کوارتز-فلدسپاتی، بیانگر هوازدگی متوسط در زمان تشکیل منشأ رسوبی آنها است. رسم نمودار SiO در برابر May کوارتز-فلدسپاتی، بیانگر هوازدگی متوسط در زمان تشکیل منشأ رسوبی آنها است. رسم نمودار SiO در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی، بیانگر هوازدگی متوسط در زمان تشکیل منشأ رسوبی آنها است. رسم نمودار SiO در شیستهای برابر May در آن و هوای منطقه در زمان تشکیل این نهشتهها را خشک نشان می دهد. بر اساس اندیس *Mn و نسبت Mn روشن می شود که محیط رسوبگذاری در گذشته شرایط اکسیدان داشته است. دادههای ژئوشیمیایی جای گاه تکتونیکی حوضهٔ رسوبی تشکیل سنگ مادر این سنگها را در ارتباط با جزایر کمانی قارهای و حاشیه قارهای فعال آشکار می سازد.

واژههای کلیدی: شیست کوارتز-فلدسپاتی، سنگ منشأ، شرایط هوازدگی، کمان قارهایی، سوردیدوشا، شمال شهرکرد، پهنه سنندج-سیرجان.

مقدمه

بهطورکلی فراوانی عناصر اصلی و فرعی بازتابی از کانیشناسی نمونههای ماسهسنگ را نشان میدهد [۲۸]. ژئوشیمی سنگهای رسوبی تابعی از متغیرهایی نظیر ترکیب سنگ مادر، پارامترهای محیطی مؤثر بر هوازدگی سنگ منشأ (مانند ترکیب اتمسفر، دما و توپوگرافی)، مکانسیمهای انتقال رسوبات از منشأ به محیط رسوبگذاری، طول مدت هوازدگی و فرآیندهای پس از رسوبگذاری مانند دیاژنز و دگرگونی است [۱۰]، [۲۶]، [۳۴]. با وجود تأثیر این عوامل، ژئوشیمی کل سنگ میتواند اطلاعات با ارزشی در مورد موقعیت زمینساختی، خاستگاه و حتی جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه دهد [۳۹]. در این پژوهش از آنالیز ژئوشیمیایی برای تعیین سنگ منشأ، جایگاه تکتونیکی و تفسیر شرایط آب و هوای قدیمی و فرآیندهای هوازدگی مؤثر بر تشکیل سنگ مادر اولیه شیستهای کوارتز-فلدسپاتی

nahid.shabanian@gmail.com نویسنده مسئول*

زمینشناسی منطقهٔ بررسی شده

منطقهٔ بررسی شده در شمال شرق دریاچهٔ زایندهرود در محدودهٔ طول جغرافیایی "۴۰٬۴۰ تا "۴۶٬۲۱ [°] ۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی "۴۲'۴۴ °۳۲ تا "۳۲'۴۷ °۳۲ شمالی و تقریباً در مرز دو استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری (شکل ۱ آ و ب) قراردارد و از نظر زمینساختاری در قسمت مرکزی پهنهٔ سنندج- سیرجان در منطقهٔ کوهزاد زاگرس، بین دو گسل دالان و بن واقع شده است (شکل ۱ پ). این منطقه بخشی از کمپلکس دگرگونی شمال شهر کرد است. این کمپلکس بهعنوان پهنهای برشی بزرگ شکل پذیر شامل مجموعه متنوعی از سنگهای دگرگونی بوده است که کم و بیش میلونیتی شدهاند، سنگهای دگرگونی درجهٔ زیاد شامل پاراگنایس، آمفیبولیت، مرمر، کالک شیست، ارتوگنایس، اکلوژیت و متاگرانیت است که بههمراه سنگهای با درجه دگرگونی کمتر شامل شیستهای کوارتز-فلدسپاتی، شیست، فیلیت، مرمر و متادولریت مهمترین و فراوان ترین سنگهای این کمپلکس هستند. تصور می شود که بعد از زمان تریاس پسین، پهنه سنندج سیرجان حاشیهای فعال همراه با منشورهای برافزایشی بوده است و در ژوراسیک زیرین فرورانش نئوتتیس به زیر این پهنه شروع شده است [۱۷]. در این منطقه حداقل دو فاز مهم دگرگونی عمل کرده [۱] و تشکیل شیستهای کوارتز-فلدسپاتی در منطقه پیامد احتمالاً فاز دوم دگرگونی است و از طرف دیگر متحمل دگرشکلی شکل پذیر به صورت میلونیتی شدن نیز شدهاند. شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردی دوشا بهصورت لایههایی با رنگ روشن تا خاکستری تیره هستند و بیشتر برجستگیهای منطقه را شامل میشوند (شکل ۲ آ). این سنگها تحت تأثیر دگرشکلی شکلپذیر دارای برگواره و خطواره است و گاهی بهشدت چین خوردهاند (شکل۲ ب). در خطالراس و خطالقعر چینها معمولاً کوارتزیت مشاهده می شود (شکل ۲ پ). همچنین چینهای شکنجی در سطح سنگ قابل مشاهدهاند (شکل۲ ت).



شکل ۱. آ)منطقهٔ بررسی شده در مرز دو استان اصفهان و چهارمحال و بختیاری قرار دارد، ب) نمایش راههای دسترسی اصلی به منطقه بررسی شده از مراکز دو استانهای اصفهان و چهارمحال و بختیاری با خط چین نشان داده شده است، پ) گسلهای اصلی منطقه بررسی شده [۱۷]



شکل ۲ آ) نمایش شیستهای کوارتز-فلدسپاتی منطقه که بخش سنگی منطقه را تشکیل میدهند، ب) نمایش چینخوردگی در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی بررسی شده، پ)تجمع بلورهای کوارتز و تشکیل کوارتزیت در خط الراس و خط القعر چینخوردگیها، ت) نمایش چینهای شکنجی در سطح سنگ

روش انجام پژوهش

در این پژوهش تعداد ۱۰۰ نمونه شیستهای کوارتز-فلدسپاتی تازه از منطقه فراهم و پس تهیه مقطع پتروگرافی با میکروسکوپ نوری بررسی شدند. بهمنظور بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی، ده نمونه کمترین درجهٔ هوازدگی از بین نمونهها انتخاب و پس از پودر کردن در دانشگاه شهرکرد، به آزمایشگاه ACME ونکوور کانادا فرستاده شد و با دستگاه پلاسمای القایی جفتی طیف سنج نشری و جرمی (ICP-MS, ICP-ES) تجزیه شدند و درصد عناصر اصلی و فرعی و نادر در نمونهها مشخص شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. روشهای مذکور بهدلیل دقت و صحت زیاد، امروزه متداول ترین روش آنالیز ژئوشیمیایی سنگها هستند.

پتروگرافی

بررسیهای میکروسکوپی نشان داد که بافت عمومی شیستهای کوارتز-فلدسپاتی لپیدوگرانوبلاستیک است (شکل ۳ ب). کانیهای تشکیلدهندهٔ این سنگها بهترتیب فراوانی عبارتند از:

کوار تز: که غالباً بیشکل تا نیمهشکلدار است، اکثر آنها در امتداد جهت فولیاسیون کشیدگی نشان میدهند (شکل ۳ آ). گاهی تشکیل ساب گرین میدهند. بیشتر دارای خاموشی موجی هستند و گاهی خاموشی تختهشطرنجی هم نشان میدهند.

بیوتیت: دومین کانی فراوان در ترکیب شیستهای کوارتز-فلدسپاتی بررسی شده است. از نظر اندازه ریز است و تشکیل فولیاسیون در سنگ را داده (شکل ۳ ب) در برخی مقاطع در حال تشکیل و در برخی در حال تجزیه به کلریت هستند.

فلدسپاتها: به تر تیب فراوانی شامل پلاژیوکلاز با ماکل تکراری و فلدسپار پتاسیم است که آثار تجزیه آنها به سریسیت کاملاً مشهود است. پلاژیوکلازها نیمه شکل دار است (شکل ۳ پ) اما ماکل کارلسباد و آلبیت را هم نشان می دهند. از کانی های فرعی در شیست های کوار تز-فلدسپاتی می توان زیرکن (شکل ۳ ت). کلریت، آلانیت، موسکویت، آپاتیت، تورمالین و کانی کدر را نام برد. گاهی کلسیت به صورت کانی ثانویه در سنگ حضور دارد.



شکل ۳. الف) نمایش بلورهای کوارتز با خاموشی موجی که در امتداد فولیاسیون کشیده شدهاند، XPL، 10X، ب) نمایش کانی بیوتیت و تشکیل فولیاسیون فضادار، 4X، XPL، پ) نمایش بلور پلاژیوکلاز با ماکل تکراری، 10x، XPL، ت) نمایش کانی زیرکن، XPL، XPL

بررسی های ژئوشیمیایی

دادههای عناصر اصلی حکایت از زیاد بودن میزان SiO₂ (بهطور میانگین ۶۵/۱۱ ⁹درصد وزنی)، میزان متوسط Al₂O₃ (بهطور میانگین ۱۵/۷۰ درصد وزنی) در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردی دوشا دارند که تقریباً برابر با Al₂O₃ و SiO₂ (مقادیر .[۴۸] (مقادیر .]۴۸ Wt., SiO₂=64.8 (مقادیر .]۴۸ است.

	V-2-1	Va-1-2	Va-12-1	Va-15-1	Va-16-1	Va-16-2	Va-2-1	Va-4-1	Va-5-2	Va-6-1
SiO ₂	۶۹/۶ ۸	۵٩/۵٣	٧٠/٨٣	۶۳/۳۷	४•/٩٩	۵۹/۸۹	۵۹/۳۱	88/58	۶١/٩	88/24
Al_2O_3	۱۳/۸۲	۱۸/۶	13/86	14/•9	۱۳/۳۵	۱۸/۴۳	۱۴/۵۸	18/44	۱۷/۵۵	۱۵/۶۵
Fe ₂ O ₃	۵/۲۴	٧/٣٩	۴/۷۲	4/94	4/44	٧/٢١	٩/۶١	٣/٧٢	۶/۲۷	۵/۰۹
MgO	۲/۰۱	٣/١٨	7/41	1/94	۱/۶۰	۳/۱۶	۲/۶۹	۱/۶۹	۲/۸۳	۲/۱۶
CaO	٠/٩٨	•/٣۶	• 99	١/٢٠	١/٣٣	٠/٩٧	۲/۶۰	١/•٨	• /٣٧	۰/۶۵
Na ₂ O	٣/٧٢	۲/۳۶	۴/۳۵	٣/•٧	٣/٣۵	۱/۹۵	۵/۴۲	۲/۱۲	۲/۶۳	٣/۴٣
K ₂ O	۱/۹۸	۳/۵۸	•/٨۵	۲/۳۷	۲/۱۱	۴/۵۱	•/17	4/18	٣/٧١	٣/۴۶
TiO ₂	٠/۵٩	• /YA	۰/۵۴	•/۶٣	۰/۶۸	۰/۸۳	١/١٩	۰/۲۶	٠/٧٩	٠/٧۴
P_2O_5	۰/۱۵	۰/۱۶	٠/١۵	۰/۱۶	•/٢•	۰/۱۶	۰/۵۳	٠/١٩	•/17	٠/١٩
MnO	•/•Y	•/•۶	۰/۰۵	•/•Y	•/•Y	•/•K	•/1۴	•/•۶	•/•۶	•/•۶
LOI	۱/۶	٣/٨	١/٩	۲/۰	١/٧	۲/۶	٣/۶	۳/۱	٣/٢	۲/۱
Sum	۹۹/۸۸	१९/८۶	१९/ ۸۶	۹۹/۸۸	۹۹/۸۵	۹۹/۸۴	१९/८•	१९/१•	१९/८४	१९/८१
Ba(ppm	n) 890	۵۲۷	١٨۴	499	۴۸.	۷۵۵	۳۱	۳۸۷	۵۹۲	۵۰۶
Ni	۳۸	۴۷	٣۴	۳۷	٢٢	۴۵	<7.	٢٠	47	۳۷
Sc	٩	۱۷	٩	١٠	١٠	۱۸	14	۱۳	18	11
Cr	119	119/77	۱۰۵/۹۷	१८४१/• ७	107/84	119/77	۱۹/۸۷	۱۰۵/۹۷	۱۰۵/۹۷	117/80
Co	۱۳/۱	۱۳/۸	17/1	۱۱/۳	٧/٢	۱۷/۰	۲۲/۸	۱۱/۶	٩/٩	11/1
Cs	۳/۶	٣/۴	۰/۵	۲/٩	۲/۲	٧/۶	<•/١	A/Y	٧/٢	٨/٩
Ga	14/4	۲۲/۸	۱۲/۶	۱۴/۸	۱۳/۳	24/0	۲۳/۳	١٩/١	۲۱/۷	۱۸/۲
Hf	۵/۴	۴/۵	۵/۳	۶/۳	۱۱/۵	۴/۶	۱۱/۹	۵/۹	۴/۸	818
Nb	۱۰/۲	۱۱/۹	٨/٣	۱۰/۱	۱۰/۶	١٢/٨	44	17/7	۱۲/۰	۱۰/۸
Rb	۷۹/۳	118/1	۲٩/١	٨٧/١	۶۵/۷	181	۲/۳	183/3	۱۳۳/۳	143/2
Sn	٢	٣	١	٢	٢	٣	<1	٣	٣	٣
Sr	۲۱۰/۶	۸۲/۴	۱۱۵/۷	۲۱۹/۳	۲۴۳	۱۷۷/λ	۱۹۰/۶	۷۳/۲	۱۰۵/۳	۱۳۲/۶
Та	• / A	١/•	۰/۵	٠/٩	• /Y	١/٢	۲/۹	•/٨	۱/•	• /Y
Th	٨/١	17/1	Y/Y	۱۰/٨	14/1	17/7	۱۰/۶	۱۱/Y	۱۰/۸	۱۰/۱
U	۲/۱	۲/۵	۲/۰	١/٩	۲/۸	٣	٣/۶	٣/٢	٣/٢	۲/۷
V	۶٩	۱۳۵	۶۳	۷۴	۷۳	۱۳۷	۶.	۱۰۳	177	٩۴
W	• /Y	۲/۴	۰/۵	٠/٩	1/1	۲/۱	٠/٩	۱/۶	۲/۴	۱/۴

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ شیمیایی عناصر اصلی بهروش ICP-ES و ICP-MS از شیستهای کوارتز -فلدسپاتی درهٔ سوردی دوشا

	V-2-1	Va-1-2	Va-12-1	Va-15-1	Va-16-1	Va-16-2	2Va-2-1	Va-4-1	Va-5-2	Va-6-1
Zr	۱۹۸/۶	104/5	۲۰۳	۲۳۷/۵	422/9	۱۵۷/۲	۴۶۵/۸	۲۰۸/۷	188/0	248/8
Y	۱۸/۶	78/8	۲۵/۷	۲۳/۶	78/8	٣٠	۴۵/۶	۲۶/۹	۲۴/۳	١٩/٧
La	24	۳۳/۸	۲۶/۳	۳٣/٨	۳٩/٢	۳۸/۴	$\Delta V/V$	٣٣/۴	۳۴/۱	۳۱/۳
Ce	٧٠/٧	۶٩/۴	۶١/۵	۷۵	٨۴/٢	۸۱/۵	180/1	٧٠	٧٠/٩	۶۵/۵
Pr	۲/Y۶	٨	۶/۶۳	٧/٧٣	٨/٩٧	٩/•٧	۱۵/۲۹	V/A	٨/•٢	Y/۱۱
Nd	۲٩/۵	۳۱/۴	۲۴/۷	۲٩/۶	۳۲/۷	3147	۵٩/٣	४९/९	४९/९	۲۷
Sm	۵/۳۵	۵/۸۶	۴/۸۶	۵/۵۴	۶/٣	۶/۷۵	17/47	۵/۵۲	۵/۸۳	۴/۹۱
Eu	٠/٩٧	1/18	٠/٩٧	۱/•۶	1/14	۱/۳۸	٣/١۶	1/17	١/٢١	۳/۱
Gd	۴/۶	۵/۰۳	۴/۷۶	۴/۷۴	۵/۴۹	۶/۰۳	۱۱/۶۳	۵/۲۲	۵/۰۳	۴/۲۶
Tb	•/87	٠/٧۴	• /Y۵	٠/٧۴	۰/۸۳	٠/٩٧	١/٧٩	•/٨۶	٠/٨۴	•/Y
Dy	٣/۶٧	۴/۷۷	4/41	۴/۱۹	۴/۸۵	۵/۵۲	٩/۵٣	۴/۹۵	۴/۵۷	۳/۸۴
Но	•/۶٧	٠/٩	٠/٩	۰/۷۶	•/٨٨	۱/۰۳	١/۶٢	۰/۹۵	• /AA	• /Y)
Er	۱/۹۸	۲/۸۵	۲/۴۶	۲/۴	۲/۶۳	٣/٠٩	۴/۴۹	۲/۹۷	۲/۵۵	۲/۰۵
Tm	۰/۲۹	•/۴۲	•/٣۴	٠/٣۵	٠/۴	•/۴۴	•/8٣	۰/۴۳	٠/۴	۰ /۳ ۱
Yb	۱/۹۵	۲/۷۲	۲/۲۴	۲/۲۷	٢/٧٧	۲/۹۹	۴/•۶	۲/۸۵	۲/۶۳	۲/۱۵
Lu	٠/٣	•/۴۲	•/٣۴	۰/۳۸	•/۴١	•/۴۴	۰/۶۱	•/۴۲	۰/۳۸	• /٣٣

L.O.I: Loss on Ignition Fe₂O₃*: Fe₂O₃ as a total Iron reported as total iron

توزیع عناصر اصلی در رسوبات دگرگون شده، نشان دهندهٔ مناسب ترین کانی شناسی و مقدار نسبی هر یک از فازهای تشكيل دهنده سنگ است. ميزان نسبتاً كم آلومين بيان گر نبود كاني هاي آلومينيوسيليكاته (آندالوزيت، سيليمانيت و دیستن) طی دگرگونی (در صورت فراهم بودن شرایط دگرگونی) است. میزان زیاد Na₂O نسبت به PAAS (Post Archean Australian Shale) مى تواند مربوط به حضور آلبيت در سنگ باشد [۴۳]. ميانگين CaO در اين سنگها (۰/۸۴ درصد وزنی) کمتر از میانگین CaO در پوستهٔ بالایی است که میتواند نشان از نبودن سیمان کربناتی در این سنگها باشد. مقادیر Al₂O₃/SiO₂ (۳۱) بیانگر غنی شدگی از کوارتز است [۳۲]. مقدار بیش تر درصد اکسیدهای MgO و Fe₂O₃ نسبت به پوسته قارهای بالایی به علت وجود کانی های مافیک در سنگ های بررسی شده است که در تطابق با حضور کانی بیوتیت فراوان در این سنگها است. رسوبات با نسبت K2O/Al2O3 بیش تر از ۵/۰ حکایت از میزان چشمگیر کانی آلکالیفلدسپار در مقایسه با دیگر کانیها در سنگ منشأ دارد، در حالیکه مقادیر کمتر از ۰/۴ دال بر وجود حداقل کانی آلکالیفلدسپار در سنگ منشأ است [۱۳]. میانگین این نسبت در سنگهای بررسی شده۱۱۶۶ است که بیان گر میزان بسیار کم کانی آلکالیفلدسپار نسبت به پلاژیوکلاز در این سنگها است.

همبستگی مثبت زیاد بین Al₂O₃ و K₂O نشان میدهد که آلکالیفلدسیار بهعنوان یکی از اجزاء اصلی سازندگان شیستهای کوارتز- فلدسپاتی بررسی شده است و این موضوع با رابطهٔ مثبت بالای Rb و K₂O تأیید میشود [۲۹]. (شكل ۴ الف و ب). فلدسپاتها ميزبان اصلى Ba و Rb هستند. انطباق خوب Ba و K₂O نشان مىدهد كه Ba در کانی K فلدسیاردر رسوبات حضور دارد [۴۹۰] (شکل ۴ پ).

ب). 180.0 800 5.00 4.50 160.0 700 4.00 140.0 600 3.50 120.0 500 3.00 **8**^{100.0} 80.0 K,0 8 400 2.50 2.00 300 60.0 1.50 200 40.0 1.00 100 20.0 0.50 0.0 0.00 ^{2.00} 3.00 **K₂O** 4.00 5.00 18 19 0.00 1.00 12 13 15 16 Al,O, 17 14 **K**₂**O**³

هم بستگی خوب و مثبت CaO با Sr نشان میدهد که Sr در کانی مانند آپاتیت حضور دارد [۴۹] (شکل ۵ آ). همچنین ترسیم پراکندگی CaO در برابر SiO₂ نشاندهندهٔ حضور کربناتهای ثانویه در سنگ است [۱۹] (شکل ۵

 $m K_2O$ شکل۴ الف) نمودار تغییرات $m K_2O$ در برابر $m Al_2O_3$ ب و پ) نمودار تغییرات روبیدیم و باریم در برابر



شکل ۵. دیاگرام تغییرات CaO در برابر Sr و SiO2

تعيين ماهيت رسوبات

بهمنظور تشخیص ماهیت رسوبات، نتایج حاصل از آنالیز ژئوشیمی عناصر اصلی در نمودار دو متغیره الار برابر (Na₂O/K₂O) [۲۸] اور (SiO₂/A1₂O₃) ترسیم شدند که نمونهها ترکیبی مشابه گریوک و شیل را نشان دادند (شکل ۶).



شکل ۶. طبقهبندی ژئوشیمیایی سنگ مادرشیستهای کوارتز فلدسپاتی [۴۰]، نمونهها ترکیب گریوک و شیل را نشان میدهند.

سنگ منشأ

ترکیب سنگ منشأ، ترکیب رسوبات منتج شده از آنها را کنترل میکند [۳۱]. هرچند فرآیندهای بعدی مثل هوازدگی، حمل و نقل و دیاژنز روی ترکیب شیمیایی رسوبات تأثیر میگذارد [۱۵]، [۵۲].

برخی محققان نشان دادند که نمودارهای تشخیص سنگ منشأ بر اساس عناصر اصلی بهدلیل تحرک آنها در طی هوازدگی و آلتراسیون نمیتوانند قابل اعتماد باشند [۷]، [۴۷]. بنابراین یکی از مطمئن ترین راهها، در نظر گرفتن عناصری است که در شرایط مختلف زمین شناسی تحرک کمی دارند، مانند عناصر نادر خاکی، توریم و اسکاندیم [۴۸]. عناصر REEs و Th در سنگهای فلسیک و محصولات هوازدگی آنها تجمع مییابد در صورتی که Ni, Ni, Co, Sc, V ایش تر مییابند، هم چنین این عناصر در طی هوازدگی و Ti بیش تر در سنگهای بازیک و محصولات هوازدگی آنها تمرکز مییابند، هم چنین این عناصر در طی هوازدگی غیرمتحرکند [۳]، [۹]، [۳۹].

بنابراین مقادیر Al₂O₃/TiO₂ ,Th/Sc, Th/Co, Th/Cr ,Cr/Th و La/Sc در سنگهای اسیدی و مافیک متفاوت است و میتواند برای تعیین سنگ منشأ رسوبات منتج شده از سنگهای آذرین به کار رود [۵۱]، [۵۲]، [۱۴]. این مقادیر در جدول۲ آورده شده است.

مقدار Gd_n/Yb_n در سنگهای رسوبی آرکئن، بیشتر از ۲ و نشاندهندهٔ سنگ منشأ تهیشده از عناصر سنگین است. برای سنگهای رسوبی پس از آرکئن^۱ این نسبت (Ga_n/Yb_n) بین ۱ تا ۲ است و دال بر تهیشدگی کم^تر سنگ منشأ، از عناصر سنگین است [۴۸]. میانگین این نسبت در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی بررسی شده ۱/۶۹ است. معمولاً مقدار *Eu/Eu رسوبات، مستقیماً تابع مقدار آن در سنگ منشأ است و معمولاً رسوبات پس از آرکئن دارای آنومالی منفی *Eu/Eu هستند [۳۴]. در نمودار *Eu/Eu در برابر Ga_n/Yb به استثنا یک مورد تمامی نمونهها در منطقه مربوط به رسوبات پس از آرکئن واقع شدند (شکل).

در نمودار سهتایی V, Ni و Th*10 نمونههای بررسی شده در نزدیک محدودهٔ سنگهای اسیدی قرار می گیرند [۸]، شکل ۸).

جدول ۲. میانگین نسبتهای عناصر کمیاب محاسبه شده در شیستهای کوار تز-فلدسپاتی درهٔ سوردیدوشا در مقایسه همان مقادیر با سنگهای آذرین فلسیتی، سنگهای آذرین مافیک، پوسته فوقانی قاره و شیل پس از آرکئن استرالیا (استاندارد شناخته شده جهانی برای سنگهای رسوبی)

Element	*Felsic	*Mafic	**CCU (upper		
ratio	rocks	rocks	Continental rock)	**PAAS (post- Archean Australian)	**ΠΑΑΣ (ποστ-Αρχηεαν Αυστραλιαν)
Th/Sc	۰/۸۸	۲۰/۵- ۰/۸۴	•/77 - •/• ۵	٠/٧٩	•/٩
Th/Co	۱/۰۳	۱۹/۴ - ۰/۶۷	1/4 - •/•4	۰ <i>\۶</i> ۳	• /8٣
Th/Cr	•/1۴	۲/۷ – ۰/۱۳	•/•¥Y - •/•1X	•/١٣	• / ۱۳
Cr/Th	۱۰/۳۷	۱۵/۰-۴/۰	۲۵-۵۰۰	٧/٧۶	۲/۵۳
La/Sc	۲/۹۶	۱۶/۳-۲/۵	•/እ۶-•/۴۳	۲/۲۱	۲/۴
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	r1/8f	٧٠-٢١	λ–٣	۳٠/٣۴	

[14]*, [48]**

ترکیبات فلسیتی قوسهای آتشفشانی که سنگ منشأ سنگهای رسوبی را تشکیل میدهد، حاوی نسبتهای La/Th کم و یکنواخت (کمتر از ۵ppm) و دارای Hf (حدود ۳ppm) هستند[۹] و در نمودار La/Th در برابر Hf (۲۰] لمونههای شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردیدوشا در محدودهٔ منابع فلسیک جزایر قوسی قرار گرفتند Hf

^{1.} Post-Archaean

در نمودار Th/Sc در برابر Zr/Sc [۴۷]، (شکل۱۰ آ) نمونههای شیست کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردیدوشا در محدودهٔ منابع فلسیک قرار گرفتند. همچنین در نمودار *Eu/Eu در برابر Th/Sc [۴۷]، شکل ۱۰ ب) نمونههای شیست کوارتز-فلدسپاتی در محدوده منابع سنگهای فلسیک تحولیافته قرار گرفتهاند.

درجه هوازدگی سنگ منشأ

بهطورکلی شدت هوازدگی سنگ منشأ بستگی به ترکیب سنگ منشأ، مدت زمان هوازدگی، شرایط آب و هوایی و میزان بالاآمدگی زمینساختی منطقه دارد [۵۲]. هوازدگی شیمیایی باعث تخلیه عناصر خاکی و قلیایی شده و به نسبت باعث افزایش Al₂O₃ میشود [۲۲]. مقدار این عناصر در محصولات هوازدگی مشتق شده از سنگ، بهعنوان اندیس تعیین درجه هوازدگی بهکار میرود. اندیسی که برای سنجش درجهٔ هوازدگی بیشترین کاربرد را دارد، اندیس شیمیایی دگرسانی دگرسانی ^۱ میشود [۲۲]. مقدار این عناصر در محصولات هوازدگی مشتق شده از سنگ، بهعنوان اندیس تعیین درجه هوازدگی بهکار میرود. اندیسی که برای سنجش درجهٔ هوازدگی بیشترین کاربرد را دارد، اندیس شیمیایی دگرسانی ^۱ CIA است که نسبیت پیشنهادکرد [۳۸]. این اندیس با این فرمول بهدست میآید و اکسیدها در آن بهصورت نسبت مولی بیان میشوند:

 $CIA = \{Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)\}*100$

مقادیر CIA بالا، حکایت از حذف کاتیونهای ناپایدار ⁺² Na⁺، Ca²⁺ و ⁺K و ⁺K و تمرکز کاتیونهایی نظیر ⁺³AI طی فرآیند هوازدگی دارد [۲۲]. محاسبات نشان داد که مقادیر CIA در نمونههای بررسی شده در بازهای از ۶۴/۱٪ تا ۷۴/۶٪ متغیر است (میانگین ۶۹/۰۳ درصد). بنابراین میتوان شدت هوازدگی متوسط را برای تکوین ماسهسنگها در نظر گرفت. جهت ارزیابی بیشتر شدت هوازدگی سنگ منشأ، دادههای مربوط به شیستهای کوارتز-فلدسپاتی در نمودار دوبعدی Al/Na در برابر CIA [۴۹] قرارگرفتند (شکل۱۱). بر اساس این نمودار درجهٔ هوازدگی شیمیایی سنگمنشأ متوسط تعیین شد.



شکل ۷. رسم نمودار *Eu/Eu در برابر Gdn/Ybn [۴۴] برای شیستهای کوارتز-فلدسپاتی منطقهٔ بررسی شده. تقریباً تمام نمونهها در محدوده سنگهای پس از آرکئن قرار گرفتند.

تنها مشکل استفاده اندیس CIA، متحرک بودن پتاسیم طی دیاژنز و دگرگونی است و برای سنگهایی که تحت تأثیر دیاژنز، غنی یا فقیر از پتاسیم شدهاند، مقدار دقیقی نیست [۱۸] از این رو کندی و همکاران [۱۲] اندیس

^{1.} Chemical of Alteration index

جلد ۴، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷

علوم زمین خوارزمی (نشریه علوم دانشگاه خوارزمی)

شیمیایی هوازدگی را که هارنویس [۲۶] ارائه کرد را بهعنوان بهترین اندیس اندازه گیری شدت هوازدگی پیشنهاد میکند که از این فرمول بهدست میآید و در آن از K₂O استفاده نشده است:

 $CIW = [Al_2O_3/Al_2O_3+(CaO+Na_2O)]x100$

این اندیس برای دامنه وسیعی از سنگها (فلسیک تا بازیک) کاربرد دارد و با افزایش درجه هوازدگی افزایش مییابد. مقادیر CIW شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردی دوشا بین ۶۴/۵ تا ۸۷/۲ (میانگین ۷۸/۴) است که بیان گر درجه هوازدگی متوسط در این سنگها است.



شکل ۸. نمودار سه تایی V, Ni و Th*10 [۸] نمونه های بررسی شده در نزدیک محدودهٔ سنگ های اسیدی قرار



شکل ۹. نمودار La/Th در مقابل Hf (اقتباس از [۲۰]) نمونههای شیست کوارتز -فلدسپاتی در محدوده اشتقاق از منابع فلسیک جزایر قوسی قرار گرفتهاند.



شکل ۱۰. آ) Th/Sc در برابر Zr/Sc و ب) *Eu/Eu در برابر Th/Sc نمونههای شیست کوارتز –فلدسپاتی به تر تیب در محدوده منابع سنگهای فلسیک و سنگهای فلسیک تحولیافته قرار گرفتهاند [۴۶].



شکل۱۱. نمودار Al/Na در برابر CIA درجهٔ هوازدگی متوسط را برای شیستهای کوار تز -فلدسپاتی بررسی شده مشخص می*ک*ند [۴۴].

شرايط اكسيدان محيط رسوب گذاري

تعیین شرایط اکسیداسیون برای تعیین این که آیا رسوبات در محیط دریایی تەنشین شدەاند یا محیط غیردریایی، مهم است. علاوه براین، تجمع برخی عناصر کمیاب در رسوبات مستقیم یا غیرمستقیم بهوسیلهٔ شرایط اکسیداسیون دریا کنترل میشود. در این بین*Mn یک اندیس شیمیایی قدیمی برای تشخیص شرایط اکسیدان محیط رسوبگذاری قدیمی به کار میرود [۳۲]، [۱۴]، [۵]. در شرایط اکسیدان منگنز تمایل به تهنشینی دارد[۵] برای محاسبه *Mn از این فرمول استفاده می شود:

Mn*=log[(Mn_{sample}/ Mn_{shales})/(Fe_{sample}/Fe_{shales})]

مقدار Mn_{shales} و Fe_{shales} بهترتیب ⁶-10×600 و 46150×10⁻⁶ است[۵۰]. بنابراین مقدار مثبت *Mn نشاندهندهٔ محیط اکسیدان است. در نمونههای بررسی شده مقدار *Mn بین ۱/۶۱ تا ۲/۲۱ (میانگین ۱/۹۲) محاسبه شد که دال بر تهنشینی رسوبات در شرایط اکسیدان است.

یکی دیگر از اندیسهای تعیین شرایط اکسیداسیون محیط رسوبگذاری قدیمی استفاده از نسبت U/Th است [۴۵]، [۳۰]. زیرا که این دو عنصر (اورانیم و توریم) طی هوازدگی رفتار متفاوتی دارند. در شرایط غیراکسیدان ^۴ U به^{۴+} U تبدیل میشود که در این حالت تحرک بیشتری پیدا کرده، همچنین قابلیت انحلال کمتری دارد و بهراحتی میتواند از آب دریا جدا شده و در سطح ذرات رسوب کند [۳۶]، [۳۷]، [۴] و این منتج به افزایش نسبت U/Th در رسوبات میشود. در اصل میزان اندک اورانیم در رسوبات تهنشین شده در شرایط اکسیدی محیط دریایی یافت میشود. نسبت U/Th کمتر از ۷/۱۵ نشاندهندهٔ تهنشینی رسوبات در محیط اکسیدان و نسبت U/Th بیشتر از میشود. نسبت U/Th کمتر از ۷/۱۵ نشاندهندهٔ تهنشینی رسوبات در محیط اکسیدان و نسبت U/Th بیشتر از محدودهٔ ۱/۲۵ نشاندهندهٔ تهنشینی در شرایط احیا است [۳۰]. این نسبت در شیستهای کوارتز-فلدسپاتی بررسی شده بین

درجه رسیدگی' رسوبات

برای تعیین درجه رسیدگی رسوبات از نسبت SiO2/Al2O3 استفاده می شود [۴۱] . این نسبت طی حمل و نقل و فرآیند هوازدگی و چرخه مجدد، در نتیجهٔ افزایش کوارتز نسبت به کانیهای نامقاوم مثل فلدسپاتها افزایش مییابد.

1. Maturity

جلد ۴، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷

بهطوری که مقادیر بیش تر از ۵-۶ از این نسبت، نشان دهندهٔ رسیدگی رسوبی زیاد و مقادیر کم تر از آن رسیدگی کم رسوبات را نشان می دهد [۴۲]. میانگین این نسبت در شیستهای کوار تز-فلدسپاتی بررسی شده ۴/۲۹ است که نشان دهندهٔ بلوغ کم آنها است. هم چنین به منظور اندازه گیری بلوغ رسوبات و درجهٔ جورشدگی از دیاگرام سهتایی (شان دهندهٔ بلوغ کم آنها است. هم چنین به منظور اندازه گیری بلوغ رسوبات و درجهٔ جورشدگی از دیاگرام سهتایی (x300) مان دهندهٔ بلوغ کم آنها است. هم چنین به منظور اندازه گیری بلوغ رسوبات و درجهٔ جورشدگی از دیاگرام سهتایی (شان دهندهٔ بلوغ کم آنها است. هم چنین به منظور اندازه گیری بلوغ رسوبات و درجهٔ جورشدگی از دیاگرام سهتایی (x300) مان دهندهٔ بلوغ کم آنها است. هم چنین به منظور اندازه گیری بلوغ رسوبات و درجهٔ جورشدگی از دیاگرام سهتایی (م300) مان در مونه های ترسیم شده در طول فلش گسترش بیشتری داشته باشند، نشان از رسیدگی بیش تر و بنابراین جورشدگی بیش تر آنها است [۲۱]. استوا ها می طول فلش گسترش بیش تری داشته باشند، نشان از رسیدگی بیش تر و بنابراین جورشدگی بیش تر آنها است [۲۱]. امونه های بررسی شده در طول فلش گسترش پیدا نکرده و بیش تر در یک منطقه قرار گرفته اند که بیان گر درجه رسیدگی کم رسوبات است (شکل ۱۲). درجهٔ رسیدگی اندک رسوبات، نشان از مسافت کم حمل و نزدیک بودن حوضه رسوب گذاری به منطقه منشا رسوبات است.

شرایط آب و هوایی گذشته

برای تعیین آب و هوا در طی رسوب گذاری از نمودار دوتایی SiO₂ در برابر (Al₂O₃+K₂O+Na₂O) [۴۷] استفاده می شود و این نمودار آب و هوا را در زمان تهنشینی رسوبات شیستهای کوارتز-فلدسپاتی خشک نشان می دهد (شکل۱۳).

تعيين محيط تكتونيكى

ترکیب شیمیایی سنگ مادر متأثر از محیط تکتونیکی است. بنابراین ژئوشیمی رسوبات و سنگهای رسوبی دگرگون شده مستقیماً با فرآیند تکتونیک ورقهای مرتبط است و از گذشته تا امروز محققان مختلف برای تعیین محیط تکتونیکی استفاده میکنند [۴۰]. عناصر نادر به خصوص آنهایی که نسبتاً غیرمتحرک هستند و زمان اقامت کوتاهی در آب دریا دارند مانند Nb, Th, Zr, La, Hf و Ti با اطمینان زیادی برای تشخیص محیط تکتونیکی به کار میروند [۳۵]، [۲۴]، [۲۵]. در نمودار سهتایی Nb, Th, Zr, La, Hf و Th–Co–Zr/10 مرونه اکثر نمونهها در محدودهٔ B یعنی کمان قارهای قرار می گیرند (شکل ۱۴).



شکل ۱۲. نمودار سه تایی(x300) Zr- Al₂O₃ (x15) – TiO₂ (x300). نمودار سه تایی(۲۰۵۰) میست های کوار تز –فلدسپاتی بررسی شده.



شکل ۱۳. نمودار دوتایی SiO_{2.}در برابر (Al₂O₃+K₂O+Na₂O). [۴۷] آب و هوای گذشته زمین در زمان رسوبگذاری شیستهای کوارتز-فلدسپاتی خشک بوده است.



شکل ۱۴. نمودارهای سه تایی Th–Co– Zr/10 , Th–Sc–Zr/10 و [۶ La–Th–Sc] برای تعیین جای گاه زمینساختی تشکیل سنگ مادر نمونههای بررسی شده A) جزایر اقیانوسی، B) کمان قاره، C) حاشیه فعال قارهای، D) حاشیه غیرفعال

A= oceanic island arc; B= continental island arc; C= active continental margin; D=passive margin.

نتيجهگيرى

در بررسیهای پتروگرافی و ژئوشیمیایی شیستهای کوارتز-فلدسپاتی درهٔ سوردیدوشا واقع در قسمت مرکزی پهنه سنندج– سیرجان، برای تشخیص ماهیت رسوبات، سنگ منشأ، درجهٔ هوازدگی، درجه رسیدگی رسوبات، شرایط اکسیدان حوضهٔ رسوبگذاری، آب و هوای دیرینه و جایگاه زمینساختی نتایج زیر حاصل شده است:

- کانیهای تشکیلدهندهٔ شیستهای کوارتز-فلدسپاتی شامل کوارتز، فلدسپارو بیوتیت است. این سنگها دارای بافت لپیدو گرانوبلاستیک هستند.
 - شیستهای کوارتز-فلدسپاتی بررسی شده حاصل دگرگون شدن ماسهسنگ گریواکی تا شیل هستند.
- بر اساس شواهد ژئوشیمیایی این ماسهسنگها حاصل فرسایش و رسوب گذاری سنگهای دارای سیلیس نسبتاً زیاد است و منشأ سنگی آذرین و فلسیتی تحول یافتهای در یک محیط کمان قاره را نشان میدهند. محیط رسوب گذاری این سنگها، یک محیط اکسیدان بوده است.

جلد ۴، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷

- با توجه به اندیس شیمیایی آلتراسیون و هوازدگی، درجهٔ هوازدگی در این منطقه متوسط است. همچنین درجهٔ رسیدگی رسوبات اندک و آب و هوای دیرینه در زمان رسوبگذاری خشک بوده است

سپاسگزاری

از حمایت دانشکدهٔ منابع طبیعی و علومزمین دانشگاه شهر کرد در به ثمر رساندن این پژوهش قدردانی می کنیم.

منابع

۱. داودیان دهکردی علیرضا، پترولوژی سنگهای دگرگونی شمال شهرکرد، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان، ایران، (۱۳۷۲).

- Akontoh F. A., "Petrography and Geochemistry of the Anyaboni Formation of Kwahu Group, Voltaian Supergroup, Ghana: Implications for Provenance and Uranium Exploration" (Doctoral dissertation, University Of Ghana) (2015) 86.
- Armstrong-Altrin J. S., Lee Y. I., Verma S. P., Ramasamy S., "Geochemistry of sandstones from the upper Miocene Kudankulam Formation, southern India: Implications for provenance, weathering, and tectonic setting", Journal of sedimentary Research, 74 (2004) 285-297.
- Barnes C. E., Cochran J. K., "Uranium removal in oceanic sediments and the oceanic U balance", Earth and Planetary Science Letters, 97 (1990) 94-101.
- Bellanca A., Claps M., Erba E., Masetti D., Neri R., Silva I. P., Venezia F., "Orbitally induced limestone/marlstone rhythms in the Albian—Cenomanian Cismon section (Venetian region, northern Italy): Sedimentology, calcareous and siliceous plankton distribution, elemental and isotope geochemistry", Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 126 (1996) 227-260.
- Bhatia M. R., Crook K. A., "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins, Contributions to Mineralogy and Petrology", 92 (1986) 181-193.
- Bhatia M. R., "Plate tectonics and geochemical composition of sandstones", The Journal of Geology, 91 (1983) 611-627.
- Bracciali L., Marroni M., Luca P., Sergio R., "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 Papers, 420 (2007) 73-93.

Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2024-05-10

- Cai G., Guo F., Liu X., Sui,S., "Elemental and Sr-Nd isotopic compositions of Cenozoic sedimentary rocks from the Dongying Sag of Jiyang depression, North China: Implications for provenance evolution", Geochemical Journal, 45 (2011) 33-55.
- Condie K. C., Dengate J., Cullers R. L., "Behavior of rare earth elements in paleoweathering profile on granodiorite in the front range, Colorado, USA", Geochimica et Cosmochim Acta, 59 (1995) 279-294
- Condie K. C., Martell C., "Early Proterozoic metasediments from north-central Colorado: Metamorphism, provenance, and tectonic setting", Geological Society of America Bulletin, 94 (1983) 1215-1224.
- Condie K. C., Noll P.D., Conway C. M., "Geochemical and detrital mode evidence for two sources of Early Proterozoic sedimentary rocks from the Tonto Basin Supergroup, central Arizona", Sedimentary Geology, 77 (1992) 51-76.
- Cox R., Lowe D. R., Cullers R. L., "The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States", Geochimica et Cosmochimica Acta, 59 (1995) 2919-2940.
- Cullers R. L., "Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA". Chemical Geology, 191(2002) 305-327.
- Cullers R. L., Barrett T., Carlson R., Robinson B., "Rare-earth element and mineralogic changes in Holocene soil and stream sediment: a case study in the Wet Mountains, Colorado, USA", Chemical Geology, 63 (1987) 275-297.
- 16. Cullers R. L., Basu A., Suttner L. J., "Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA", Chemical Geology, 70 (1988) 335-348.
- 17. Davoudian A. R., Genser, J., Neubauer F., Shabanian N., "⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral ages of eclogites from North Shahrekord in the Sanandaj–Sirjan Zone, Iran: Implications for the tectonic evolution of Zagros orogen", Gondwana Research 37 (2016) 216-240.
- Fedo C. M., Nesbitt H. W., Young G. M., "Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance", Geology, 23 (1995) 921-924.

- Feng R., Kerrich R., "Geochemistry of fine-grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada: implications for provenance and tectonic setting", Geochimica et Cosmochimica Acta, 54 (1990) 1061-1081.
- 20. Floyd P. A., Leveridge B. E., "Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones", Journal of the Geological Society, 144 (1987) 531-542.
- 21. Garcia D., Fonteilles M., Moutte J., "Sedimentary fractionations between Al, Ti, and Zr and the genesis of strongly peraluminous granites", The Journal of Geology, 102(1994) 411-422.
- 22. Garcia D., Ravenne C., Maréchal B., Moutte J., "Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis", Sedimentary Geology, 171 (2004) 113-128.
- 23.Gonzalez Lopez J. M. G., Bauluz B., Ferandez Nieto C., Oliete A., "Factors controlling the trace- element distribution in fine-grained rocks: the Albian Kaolinite-rich deposits of tee Oliete Basin (NE Spain) ", Chemical Geology, 1-2 (2005) 1-19.
- 24. Gu X. X., "Geochemical characteristics of sediments and tectonic setting analysis of sedimentary basins", Developments in Geosciences and Technology (1995) 205-212.
- 25. Gu X. X., "Geochemical characteristics of the Triassic Tethys sediments in NW-Sichuan and its implications to the weathering conditions in source regions: Mineralogy", Petrology and Geochemistry Bulletin, 15(1996) 23-27.
- Harnois L., "The CIW index: a new chemical index of weathering." Sedimentary Geology 55, 3-4 (1988) 319-322.
- 27. Hayashi K. I., Fujisawa H., Holland H. D., Ohmoto H., "Geochemistry of~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada", Geochimica et Cosmochimica Acta, 61(1997) 4115-4137.
- Herron M. M., "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data." Journal of Sedimentary Research 58, No. 5 (1988).
- 29. Hossain I., Roy K. K., Biswas P. K., Alam M., Moniruzzaman M., Deeba F., "Geochemical characteristics of Holocene sediments from Chuadanga district, Bangladesh: implications for weathering, climate, redox conditions, provenance and tectonic setting", Acta Geochimica, 33 (2014) 336.
- 30. Jones B., Manning D. A., "Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones", Chemical Geology, 111 (1994) 111-129.

- 31. Kalsbeek F., Frei R., "Geochemistry of Precambrian sedimentary rocks used to solve stratigraphical problems: An example from the Neoproterozoic Volta basin, Ghana", Precambrian Research, 176 (2010) 65-76.
- 32. Linnemann U. and Rome, R. L., "The Cadomian Orogeny in Saxo-Thuringia, Germany: geochemical and Nd–Sr–Pb isotopic characterization of marginal basins with constraints to geotectonic setting and provenance", Tectonophysics, 352 (2002) 33-64.
- 33. Machhour L., Philip J., Oudin J. L., "Formation of laminite deposits in anaerobic dysaerobic marine environments", Marine Geology, 117 (1994) 287-302.
- McLennan S. M., Hemming S., McDaniel D. K., Hanson G. N. "Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics", Geological Society of America Special Papers, 284 (1993) 21-40.
- 35. McLennan S. M., Taylor S. R. McCulloch M. T., Maynard J. B., "Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations", Geochimica et Cosmochimica Acta, 54 (1990) 2015-2050.
- 36. Nagarajan R., Armstrong-Altrin J. S., Nagendra R., Madhavaraju J., Moutte J., "Petrography and geochemistry of terrigenous sedimentary rocks in the Neoproterozoic Rabanpalli Formation, Bhima Basin, Southern India: implications for paleoweathering conditions, provenance and source rock composition", Journal -Geological Society of India, 70 (2007) 297.
- 37. Nath B. N., Bau M., Rao B. R., Rao C. M., "Trace and rare earth elemental variation in Arabian Sea sediments through a transect across the oxygen minimum zone", Geochimica et Cosmochimica Acta, 61 (1997) 2375-2388.
- 38. Nesbitt H., Young G. M. "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites", Nature, 299 (1982) 715-717.
- Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever, R., "Sand and Sandstone", New York, Springer-Verlag (1987) 553.
- 40. Piñán-Llamas A., Escamilla-Casas J. C., "Provenance and tectonic setting of Neoproterozoic to Early Cambrian metasedimentary rocks from the Cordillera Oriental and Eastern Sierras Pampeanas, NW Argentina", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65 (2013).
- 41. Potter P. E. "Petrology and chemistry of modern big river sands", The Journal of Geology, 86 (1978) 423-449.

- 42. Roser B. P., Cooper R. A., Nathan S., Tulloch A. J., "Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand", New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 39 (1996) 1-16.
- 43. Sahraeyan M., Bahrami M., "Geochemistry of sandstones from the Aghajari Formation, Folded Zagros Zone, southwestern Iran: implication for paleoweathering condition, provenance, and tectonic setting", International Journal of Basic and Applied Sciences, 1(2012) 390-407.
- 44. Selvaraj K., Chen C. T. A. "Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks", The Journal of Geology, 114 (2006) 101-116.
- 45. Shaltami O. R. O. "Mineral composition and environmental geochemistry of the beach sediments along the mediterranean coast from Benghazi to Bin Jawwad, Northeast Libya" (2012) 139.
- 46. Slack J. F., Dumoulin J. A., Schmidt J. M., Young L. E., Rombac C. S., "Paleozoic sedimentary rocks in the red dog Zn-Pb-Ag district and vicinity, Western Brooks Range, Alaska: provenance, deposition, and metallogenic significance", Economic Geology, 99 (2004) 1385-1414.
- 47. Suttner L. J., Dutta P. K., "Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy", Journal of Sedimentary Research, 56 (1986) 329-345.
- Taylor S. R., McLennan S. M., "The continental crust: its composition and evolution". Blackwell Scientific (1985) 1-328.
- 49. Veizer J., "Secular variations in the composition of sedimentary carbonate rocks, II. Fe, Mn, Ca, Mg, Si and minor constituents", Precambrian Research, 6 (1978) 381-413.
- 50. Wedepohl H. K., "Abundance in common sediments and sedimentary rocks", Wedepohl HK(ed) Handbook of Geochemistry (1978).
- 51. Wronkiewicz D. J., Condie K. C. "Geochemistry and provenance of sediments from the Pongola Supergroup, South Africa: evidence for a 3.0-Ga-old continental craton", Geochimica et Cosmochimica Acta, 53 (1989) 1537-1549.
- 52. Wronkiewicz D. J., Condie K. C., "Geochemistry of Archean shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: source-area weathering and provenance". Geochimica et Cosmochimica Acta, 51(1987) 2401-2416.