

برخاستگاه سازند سیلیسی-آواری پسته‌لیق (پالئوسن زیرین) در برش چهچه شمال خاور ایران

امین سعیدی^۱، اسداله محبوبی*^۲، سیدرضا موسوی حرمی^۳ و محمدحسین محمودی قرائی^۴

۱، ۲، ۳ و ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد

نویسنده مسئول: *mahboubi@um.ac.ir

دریافت: ۹۶/۷/۱۹ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۳

چکیده

سازند پسته‌لیق (پالئوسن زیرین) در برش چهچه از ۹۴/۵ متر ماسه‌سنگ، شیل و واحدهای تبخیری ساخته شده است. شیل‌های این سازند برای تفسیر برخاستگاه مورد بررسی قرار گرفت. این شیل‌ها نسبت به پوسته‌ی قاره‌ای بالایی (UCC) از دید اکسیدهای اصلی SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , P_2O_5 و عناصر فرعی Sr, Ba, Nb, Ce تهی‌شدگی و از دید U و CaO سرشاری را نشان می‌دهند. با رسم نمودار دوتایی TiO_2 در مقابل Al_2O_3 و نمودار دوتایی Zr در برابر Al_2O_3 سنگ خاستگاه، آذرین حد واسط برای شیل‌های پسته‌لیق پیشنهاد می‌شود. برای شناسایی جایگاه زمینساختی از نمودارهای $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 و همچنین نمودارهای سه‌تایی $\text{Th}/\text{Sc}/\text{Zr}$, $\text{La}/\text{Th}/\text{Sc}$, $\text{Th}/\text{Co}/\text{Zr}$ بهره‌گیری شد که نشان‌دهنده‌ی جایگاه زمینساختی جزایر کمان قاره‌ای است. اندیس CIA محاسبه شده برای این شیل‌ها نشانگر شدت هوازدگی کم تا متوسط و شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه‌خشک بوده است. شاخص‌های Ni/Co , U/Th نیز حاکم بودن شرایط اکسیدی در محیط رسوب‌گذاری را نشان می‌دهند. آغاز پالئوسن در بسیاری از نقاط جهان، همچنین کپه‌داغ با آغاز جنبش‌های زمینساختی و پسروی دریا همراه بوده که در حوضه‌ی کپه‌داغ منجر به تنشینی نهشته‌های سیلیسی آواری پسته‌لیق شده است به گونه‌ای که سبترای این سازند با پسروی دریا از سمت جنوب‌خاور به شمال‌باختر کاهش پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سازند پسته‌لیق، ژئوشیمی، سنگ خاستگاه، جایگاه زمینساختی، هوازدگی

پیشگفتار

(سمنپانیا و همکاران، ۲۰۱۴؛ تائو و همکاران، ۲۰۱۶؛ سرباز و همکاران، ۱۳۹۶). از رفتار ژئوشیمیایی عناصر فرعی حساس به اکسایش-احیا نیز برای پی بردن به شرایط محیطی حاکم بر حوضه بهره‌گیری می‌شود (آلژنیو و مینارد، ۲۰۰۴). شیل‌ها از واحدهای سنگی هستند که نزدیک‌ترین ارتباط را با ناحیه خاستگاه نشان می‌دهند و پژوهش‌های ژئوشیمی آن‌ها به دلیل هموژن بودن و ناتراوا بودن، نسبت به ماسه‌سنگ‌ها نتایج بهتری دارد (خانه‌باد همکاران، ۲۰۱۱؛ زند مقدم، ۲۰۱۳). هدف این پژوهش به کارگیری عناصر اصلی و فرعی شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه برای تفسیر سنگ خاستگاه، جایگاه زمینساختی، هوازدگی و شرایط اکسایش دیرینه است که می‌تواند به بازسازی جغرافیای دیرینه پالئوسن زیرین در ناحیه شمال خاور ایران و منطقه مورد بررسی کمک نماید.

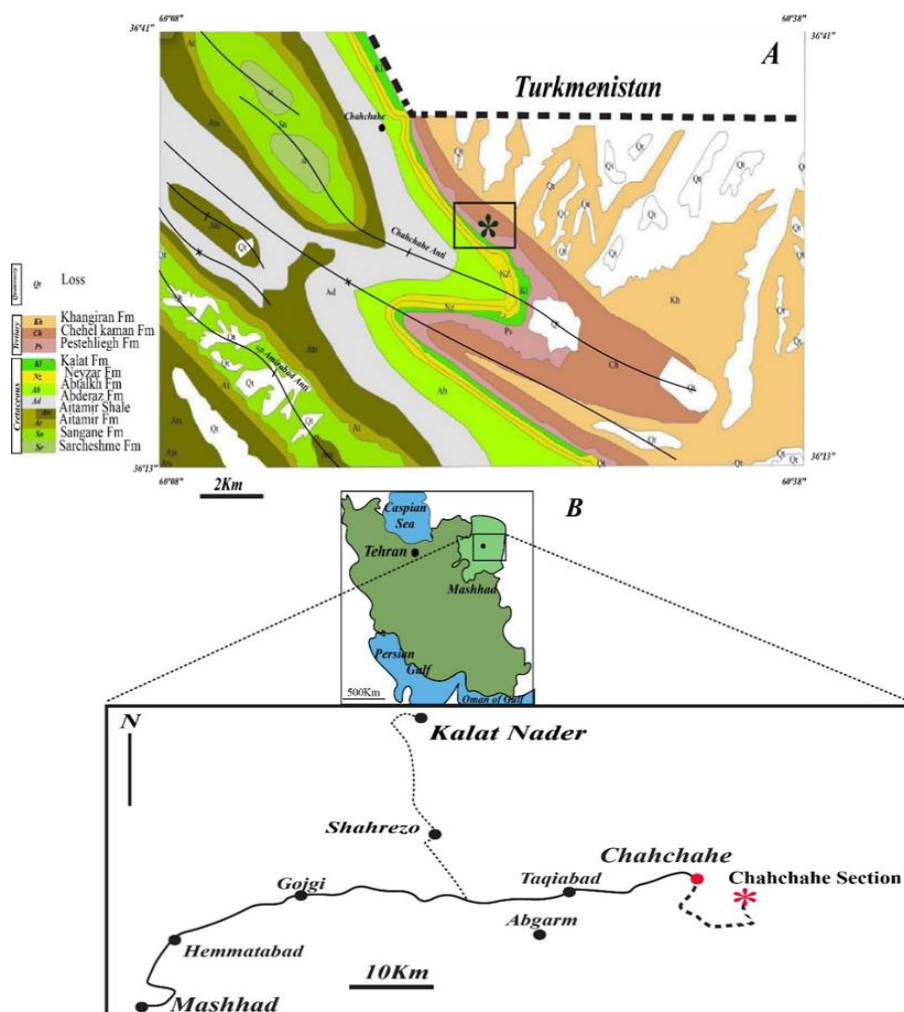
زمین‌شناسی

از لحاظ زمین‌ساختی، کمربند چین‌خورده کپه‌داغ مشخص‌کننده‌ی بخش شمال کوهزایی آلپ-همالیا و

هدف از بررسی‌های برخاستگاه، بازسازی و تفسیر تاریخچه‌ی رسوبات از فرسایش ابتدایی سنگ خاستگاه تا تدفین نهایی آواری‌ها می‌باشد. پژوهش‌های گوناگونی در این راستا انجام گرفته است. مرتضوی و همکاران (۲۰۱۳) برخاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند شورچه و خانه‌باد و همکاران (۲۰۱۱) شیل‌های سازند سردر را مورد بررسی قرار دادند. افزون بر آن، تائو و همکاران (۲۰۱۶) و وثوقی مرادی (۲۰۱۶) به ترتیب برخاستگاه شیل‌های نفتی شیجانکو (جنوب چین) و سازند هانسلی (مرکز ترکیه) را بررسی نمودند. ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های رسوبی آواری نشانگر ترکیب سنگ و جایگاه زمینساختی ناحیه خاستگاه و پارامترهای محیطی شامل نوع و مدت زمان هوازدگی، سازوکار ترابری، محیط رسوبی و هم-چنین فرآیندهای پس از رسوب‌گذاری است (ژو و همکاران، ۲۰۱۵؛ مینگ و همکاران، ۲۰۱۶). پارامترهای ژئوشیمی مانند عناصر اصلی و فرعی و نسبت‌های آن‌ها به طور وسیع برای تفسیر برخاستگاه و جایگاه زمینساختی سنگ‌های سیلیسی آواری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند

برخوردی نوزیستی در کرانه جنوبی آسیا، این توالی‌ها دچار بالآمدگی شده‌اند. در آغاز ترشیری جنبش زمین‌ساختی هم‌ارز لارامین در این حوضه سبب پسروی دریا از جنوب به شمال شد، به گونه‌ای که توالی‌های آغازین ترشیری از نوع قاره‌ای بوده (پسته‌لیق) و در یک محیط رودخانه‌ای نهشته شدند (موسوی‌حرمی، ۱۹۹۳). برش مورد بررسی در ۱۰ کیلومتری روستای چهچه و در ۱۱۰ کیلومتری شمال‌خاور مشهد در طول‌خاوری 60° $24' 14''$ و عرض‌شمالی $36^{\circ} 35' 47''$ واقع شده که بخشی از محدوده‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سرخس (افشار حرب، ۱۹۸۲) را در بر می‌گیرد (شکل ۱).

نشان‌دهنده مرز میان ایران و ترکمنستان است (رابرت و همکاران، ۲۰۱۴). کپه‌داغ به عنوان یک حوضه‌ی درون قاره‌ای با یک روند شمال‌باختری- جنوب‌خاوری است که بین دو پلاتفرم پایدار ایران مرکزی و توران (ترکمنستان) قرار گرفته است. این حوضه پس از برخورد شمال‌خاور ایران با صفحه‌ی توران در مزوزوئیک پیشین و سپس بر اثر ریفتینگ ایجاد شده است. حرکات صفحه ایران به سمت توران نقش پایه‌ی در چین‌خوردگی سازنده‌های دوران‌های میانه‌زیستی و نوزیستی این منطقه داشته است (رمضانی و همکاران، ۲۰۰۸). حوضه کپه‌داغ دارای بیش‌تر از ۷ کیلومتر رسوب پس از تریاس در خاور حوضه است (موسوی‌حرمی و برنر، ۱۹۹۲). در طول رخداد



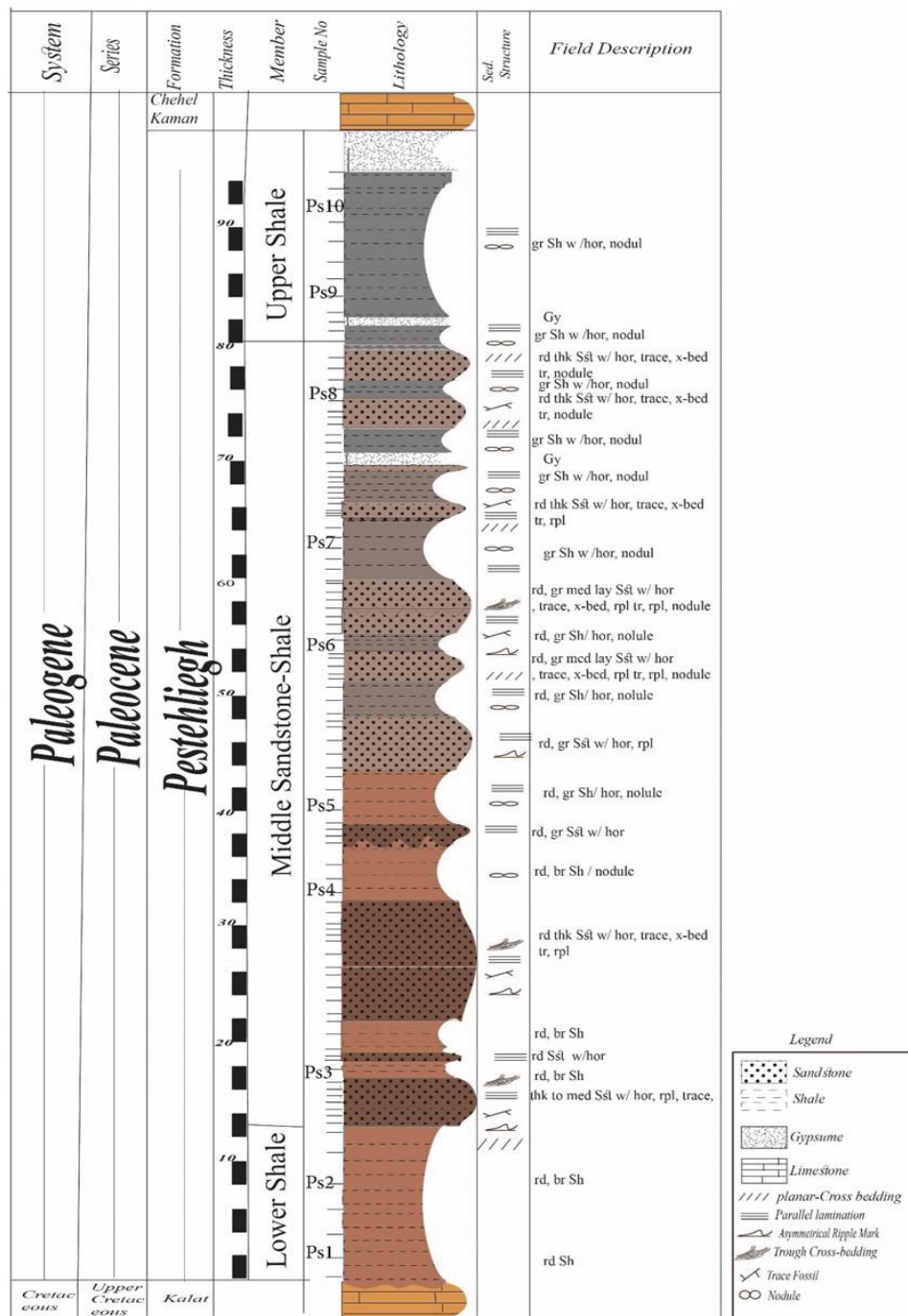
شکل ۱. (A) بخشی از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ سرخس که برش مورد بررسی (ستاره) در آن نشان داده شده است. (B) راه‌های دسترسی به منطقه

لایه‌های ماسه‌سنگی نازک لایه نیز در این بخش دیده می‌شود. بخش میانی و بالایی برش از تناوب شیل و ماسه‌سنگ دارای نودول تبخیری (ژیپس) ساخته

در برش چهچه این سازند از ۹۴/۵ متر ماسه‌سنگ، شیل و واحدهای تبخیری ساخته شده است. بخش زیرین برش بیشتر از شیل‌های سرخ رنگ ژپس‌دار ساخته شده ولی

گرفته هیچ فسیلی از این سازند گزارش نشده است (افشارحرب، ۱۳۷۳) ولی با توجه به اینکه سازند پسته‌لیق بر روی سازند کلات به سن مایستریشتین پسین و در زیر سازند چهل‌کمان به سن تانین تا ایپرزین قرار گرفته است. سن این سازند تنها بر پایه جایگاه چینه‌شناسی دانین است (محبوبی و همکاران، ۲۰۰۱).

شده است ولی در بخش بالایی واحدهای تبخیری دارای گسترش بسیاری هستند (شکل ۲). شیل‌ها در برش مورد بررسی بیشتر از نوع سیلتی و به رنگ سرخ هستند، اغلب این شیل‌ها دارای لامیناسیون‌های مسطح می‌باشند. ماسه‌سنگ‌های بخش زیرین و میانی دارای آثار فسیلی هستند (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۵). بر پایه بررسی انجام



شکل ۲. ستون چینه‌سنگی سازند پسته‌لیق در برش چهل‌چله

روش بررسی

در این پژوهش یک برش سطحی به ستبرای ۹۴/۵ متر اندازه‌گیری و بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی ۴۰ نمونه ماسه‌سنگی، ۲۴ نمونه شیلی و ۸ نمونه تخییری برداشت شد. برای شناسایی کانی‌شناسی رس‌های شیل‌ها از دستگاه XRD بهره‌گیری شد. شمار ۲ نمونه (Bulk) با توجه به کمترین میزان کربنات در آن‌ها انتخاب و پس از پودرشدن در آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، پس از آن توسط دستگاه Explorer Tcu 2000N آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی واکاوی شد. برای بررسی و واکاوی نمونه‌های شیلی، ۱۰ نمونه برای شناسایی مقدار اکسیدهای اصلی و فرعی به روش طیف‌سنجی جرمی با پلاسمای مضاعف القایی (ICP-MS) با بهره‌گیری از دستگاه ELAN 9000 در آزمایشگاه مواد معدنی ACME کانادا واکاوی شدند. شناسایی میزان عناصر اصلی با دقت نسبی ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۴ درصد عناصر فرعی (ppm) ۰/۳-۰/۰۵ انجام شد. برای شناخت سنگ خاستگاه و جایگاه زمینساختی از نسبت اکسیدهای اصلی مانند Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , SiO_2 و عناصر فرعی (Co, La, Th, Sc, Zr) و عناصر نادر خاکی (REEs) مانند La بهره‌گیری شد. در این پژوهش برای محاسبه اندیس هوازگی شیمیایی (CIA) و اندیس تنوع ترکیبی (ICV) از روش McLennan بهره‌گیری شد به نحوی که به دلیل مقادیر بالای CaO، برای اصلاح مقادیر Na_2O در فرمول جایگزین CaO^* می‌گردد.

نتایج

نتایج واکاوی شیل‌های پسته‌لیق در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. این شیل‌ها به طور میانگین دارای ۴۲/۲ درصد SiO_2 ، ۹/۷ درصد Al_2O_3 ، ۰/۷۲ درصد Na_2O ، ۴/۳ درصد MgO ، ۲/۴۳ درصد K_2O ، ۰/۴۵ درصد TiO_2 ، ۰/۶۲۳ درصد MnO ، ۱۱/۴ درصد CaO ، ۰/۹۳۱ درصد P_2O_5 و ۳/۸ درصد Fe_2O_3 هستند و میانگین مقدار LOI نمونه‌های مورد بررسی ۱۶/۹۱ است. مقادیر نسبت‌های SiO_2/Al_2O_3 (۳ تا ۶ و بطور میانگین ۴/۳ درصد)، K_2O/Al_2O_3 (۰/۲۲ تا ۰/۲۷ میانگین ۰/۲۴ درصد)، K_2O/Na_2O (۲/۱ تا ۶/۷ با میانگین ۳/۳ درصد)، Al_2O_3/TiO_2 (۲۰ تا ۲۳، با میانگین ۲۲ درصد)، اندیس

هوازگی شیمیایی^۱ (CIA) (معادله ۱) مقدار اندیس هوازگی شیمیایی از ۶۷ تا ۷۵ با میانگین ۷۰ است. اندیس تنوع ترکیبی^۲ (ICV) (معادله ۲) در شیل‌های مورد بررسی ۱/۸ تا ۳/۵ با میانگین ۲/۱ بوده در جدول ۳ نشان داده شده است.

$$(CIA=Al_2O_3/(Al_2O_3+Na_2O+CaO+K_2O)*100) \quad (1)$$

$$(ICV=Fe_2O_3(Ti)+K_2O+Na_2O+CaO+MgO+MnO+TiO_2/Al_2O_3) \quad (2)$$

بحث

ترکیب اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی^۳ (UCC) بهنجار شده‌اند (تیلور و مک لنون، ۱۹۸۵) (شکل ۳). بر پایه این نمودار، شیل‌های سازند پسته‌لیق نسبت به UCC، از عناصر Na_2O , P_2O_5 , Ba, Nb, Th و در عناصر Co , Ni , K_2O و CaO غنی‌شدگی نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۳ تهی‌شدگی عناصر Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 ناشی از هوازگی کم و هم‌چنین ترابری دوباره کم رسوبات است (داس و همکاران، ۲۰۰۶) تهی‌شدگی SiO_2 نشان دهنده‌ی رسیدگی کم شیل‌های پسته‌لیق است. تهی‌شدگی بالا Na_2O به دلیل پایداری کم در فرایندهای ترابری بوده که سبب از بین رفتن آن‌ها شده است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۴). میانگین CaO نمونه‌ها (۱۱/۴) تقریباً ۳ برابر مقدار CaO پوسته قاره‌ای بالایی (۴/۱۹) است که نشان از سیمان کربناته در نمونه‌هاست به نحوی که باعث کاهش مقادیر SiO_2 و Al_2O_3 در نمونه‌ها شده است. پایداری Al_2O_3 در طول هوازگی و دیازنز بالا است، بنابراین می‌توان از آن به عنوان عاملی برای مقایسه با دیگر عناصر اصلی بهره‌گیری کرد. در شکل ۴ همبستگی میان Al_2O_3 با دیگر اکسیدهای اصلی نشان داده شده است. Al_2O_3 با K_2O , Fe_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , SiO_2 همبستگی مثبت و با MnO همبستگی منفی دارد. ارتباط مستقیم Al_2O_3 با K_2O ($R^2=0.90$) و دیگر اکسیدهای اصلی به دلیل تمرکز زیاد کانی‌های رسی بوده و نشان دهنده فاز سرشار از آلومینیوم مانند کانی رسی ایلیت باشد (شکل ۵) (لی، ۲۰۰۰؛ خانه‌باد و کاران، ۲۰۱۲؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۵). باید توجه داشت به دلیل بالا

¹ Chemical index of Alteration: CIA

² Index of chemical variability: ICV

³ Upper Continental Crust: UCC

نمونه‌ها را می‌توان به حضور کانی‌های رسی یا واپاشی کانی‌های مافیک سنگ‌های آذرین حدواسط نسبت داد (خانه‌باد و همکاران، ۲۰۱۲). همبستگی مثبت میان TiO_2 و Al_2O_3 نشان از همراهی TiO_2 با فیلسیلیکات‌هایی مانند ایلیت دارد (دابارد، ۱۹۹۰) (شکل ۵). ارتباط مثبت بسیار قوی میان Al_2O_3 و Rb ($R^2=0.93$) نشان از همبستگی Rb با کانی‌های رسی و فلدسپار پتاسیم است (لیو و همکاران، ۲۰۱۳) (شکل ۴).

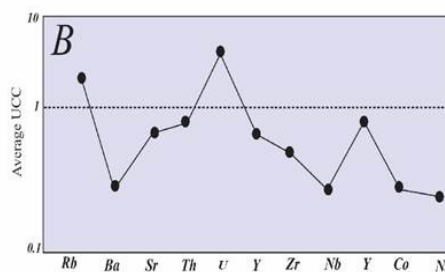
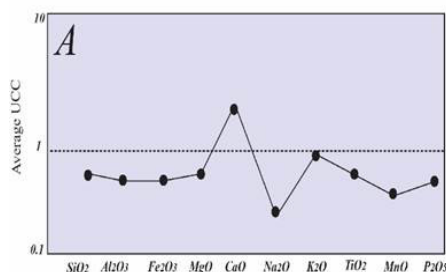
بودن مقدار فلدسپات پتاسیم در نمونه‌های مورد بررسی، می‌تواند خاستگاه کانی‌های رسی را نیز فلدسپات پتاسیم دانست. میانگین نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ در نمونه‌ها (۰/۲۵) نشان از غلظت زیادتر کانی‌های رسی نسبت به فلدسپات‌ها است (کاکس و همکاران، ۱۹۹۵؛ موسوی‌راد، ۲۰۱۱). (جدول ۳). با توجه به همبستگی مستقیم TiO_2 با Al_2O_3 ($R^2=0.93$) و همبستگی منفی آن با MnO ($R^2=0.34$) (شکل ۴، A,C)، خاستگاه تیتانیوم موجود در

جدول ۱. اکسیدهای اصلی (% w) شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه

Sample/No	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
Ps1	43.3	14.2	5.7	2.7	13	0.53	3.6	0.6	0.13	0.1	0.013
Ps2	42.3	13.9	5.62	3	13	0.52	3.5	0.6	0.12	0.1	0.013
Ps3	46.4	11.6	4.5	2.3	15	0.91	2.6	0.6	0.1	0.1	0.011
Ps4	50.7	10.1	4.5	3.1	13	0.9	2.5	0.5	0.09	0.1	0.009
Ps5	51.4	11.2	4.33	2.9	11	0.89	2.8	0.5	0.1	0.1	0.01
Ps6	49.1	11	4.16	4.5	11	0.87	2.7	0.5	0.1	0.1	0.01
Ps7	51.1	9.64	3.39	3.6	13	1.09	2.3	0.5	0.09	0.1	0.008
Ps8	40.5	6.68	2.32	10	14	0.63	2	0.3	0.08	0.1	0.007
Ps9	43.1	8.02	3.34	11	11	0.82	1.9	0.4	0.11	0.1	0.007
Ps10	46.7	11.6	4.37	5.2	12	0.76	3.2	0.5	0.11	0	0.011
Mean	42.3	9.74	3.83	4.4	11	0.72	2.4	0.4	0.093	0.1	0.009

جدول ۲. عنصرهای فرعی (ppm) در شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه

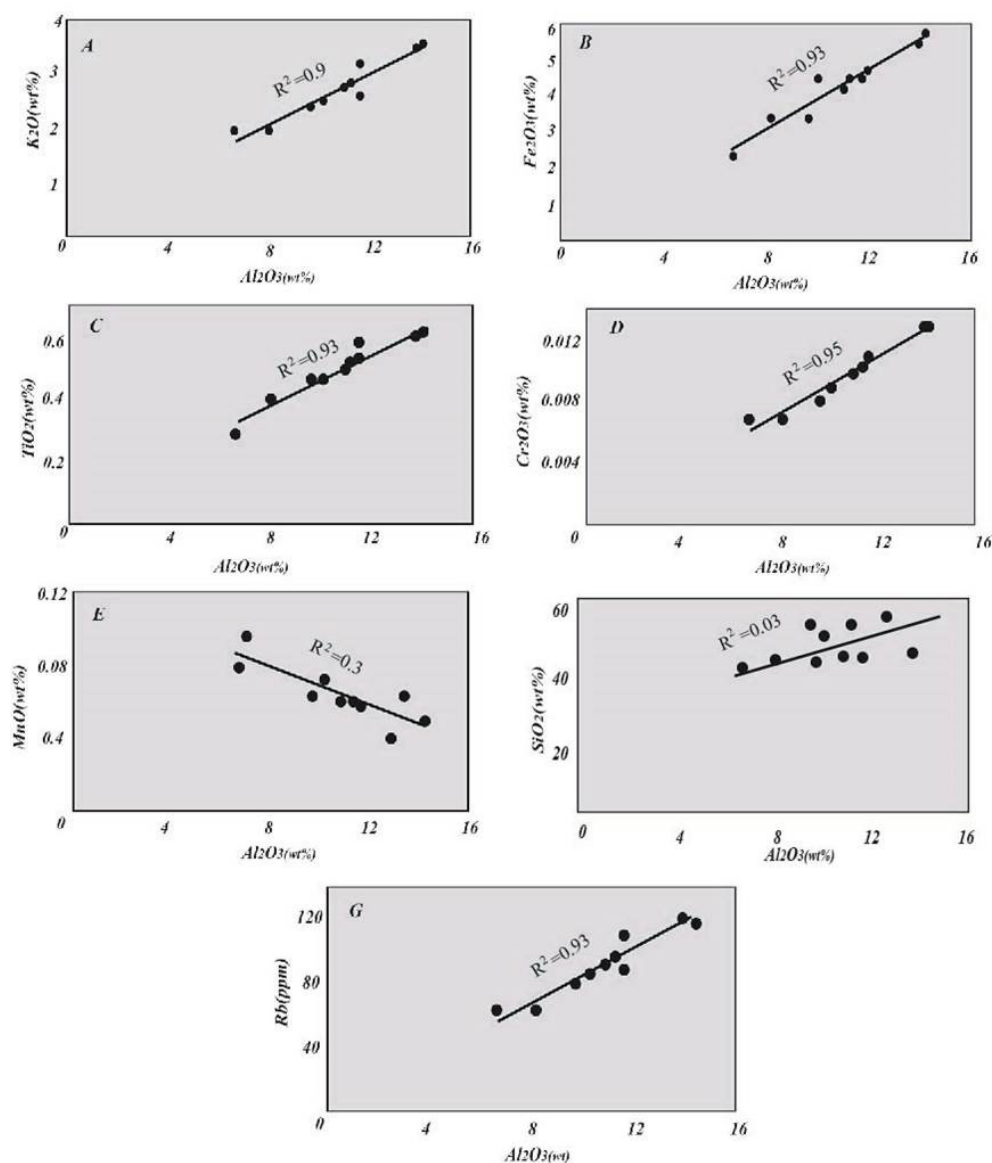
Sample/No	Ba	Ni	Sc	Co	Nb	Rb	Sr	Th	Zr	La	V	Ce	Ga	Dy
1	233	32	14	13	9.2	120	302	9.8	118	25	120	49	15	3.6
Ps2	267	38	14	14	9.6	124	296	9.5	121	25	125	50	15	3.8
Ps3	253	34	11	12	9.9	92	323	7.9	122	22	100	43	12	3.5
Ps4	273	20	9	9.3	7.2	84.3	251	7	163	19	80	39	10	3.1
Ps5	283	24	10	11	7.8	94.1	238	7.7	163	21	89	39	12	3.3
Ps6	270	26	10	10	7.7	91.6	218	7.4	136	20	89	40	12	3.2
Ps7	245	18	8	9	7.7	78.3	259	7.2	193	20	72	38	9	3.2
Ps8	194	18	5	5.3	5	62.3	299	4.6	92.5	14	50	29	6	2.4
Ps9	190	18	7	7.8	6.8	65.2	298	5.8	103	18	59	35	6	2.9
Ps10	220	28	11	10	9.1	110	304	8.1	139	22	97	46	12	3.7
Mean	243	26	9.9	10	8	92.2	279	7.5	135	21	88	41	11	3.3



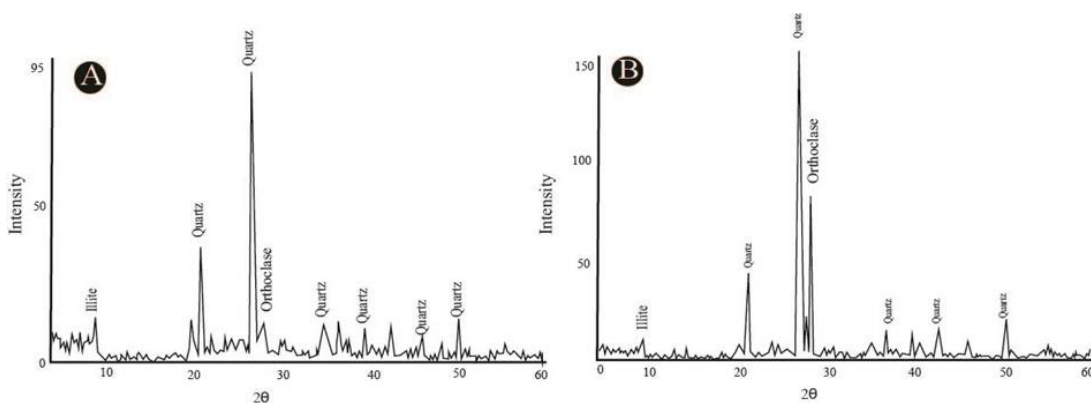
شکل ۳. مقایسه میانگین A-اکسیدهای اصلی B-عناصر فرعی در نمونه‌های شیلی پسته‌لیق در برش چهچه نسبت به پوسته قاره‌ای (تیلور و مک لنون، ۱۹۸۵)

جدول ۳. نسبت عناصر اصلی شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه

Sample/No	K ₂ O/Al ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O/Na ₂ O	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	CIA	ICV
ps1	0.25	3	6.7	23	75	1.8
ps2	0.25	3	6.7	23.2	75	1.9
ps3	0.22	4	2.8	20	72	2.1
ps4	0.24	5	2.7	21	70	2.4
ps5	0.25	4.5	3.1	22	70	2
ps6	0.25	4.4	3.1	22	70	2.1
ps7	0.24	5.3	2.1	20	68	2.4
ps8	0.29	6	3.1	23	67	4.3
ps9	0.23	5.3	2.3	20	69	3.5
ps10	0.27	4	4.1	22	71	2.2
Mean	0.24	4.3	3.3	22	70	2.4



شکل ۴. نمودار همبستگی دوتایی عناصرها با یکدیگر و تغییرات عنصر Rb نسبت به Al₂O₃ در شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه



شکل ۵. نتایج واکاوی XRD شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چپ‌چپه Ps34/3:B Ps2/1:A

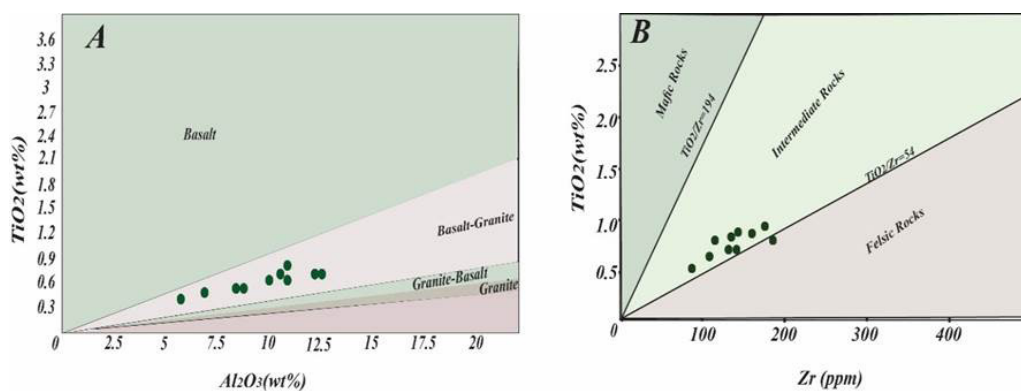
سنگ خاستگاه

ترکیب کلی رسوبات توسط اختصاصات سنگ‌شناسی ناحیه خاستگاه کنترل می‌شود (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ قبادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۳) در طول هوازدگی سنگ خاستگاه عناصری مانند Na, Ca, K و تا حد زیادی Mg شسته می‌شوند ولی Al, Ti, Zr به دلیل جنبش کم آن‌ها در محلول‌های آبی دمای پایین به عنوان عناصری ایستا شناخته می‌شوند (ایرس و واتسون، ۱۹۹۳) از همین رو نسبت‌های Al/Ti/Zr در رسوبات تا حد زیادی با نسبت‌های موجود در ناحیه خاستگاه همانند هستند (ژو و همکاران، ۲۰۱۵). برای شناسایی سنگ خاستگاه آغازین سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط و فلسیک از نسبت Al_2O_3/TiO_2 بهره‌گیری می‌شود، این نسبت در سنگ‌های آذرین دارای مقادیر متفاوتی است به گونه‌ای که دامنه‌ی تغییرات این نسبت در سنگ‌های آذرین مافیک ۳ تا ۸، در سنگ‌های حدواسط ۸ تا ۲۱ و در سنگ‌های فلسیک ۲۱ تا ۷۰ است (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۸) این نسبت در نمونه‌های مورد بررسی از ۲۰ تا ۲۳ در تغییر بوده که نشانگر سنگ خاستگاه آذرین حدواسط تا فلسیک است (شکل A-۶). هم‌چنین از نسبت TiO_2/Zr نیز می‌توان برای شناسایی سنگ خاستگاه در سنگ‌های سیلیسی آواری بهره‌گیری کرد. (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۸). مقدار TiO_2 در نمونه‌ها از ۰/۴ تا ۰/۶ در تغییر بوده در حالی که میزان Zr بیش‌تر از ۱۰۰ پی‌پی‌ام است که با توجه به شکل (B-۶) تمامی نمونه‌ها در محدوده‌ی سنگ آذرین حدواسط قرار می‌گیرند. همبستگی مثبت میان TiO_2 و Zr در این شیل‌ها نشانگر سنگ خاستگاه حدواسط برای این شیل‌ها است. بررسی ۲ نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2

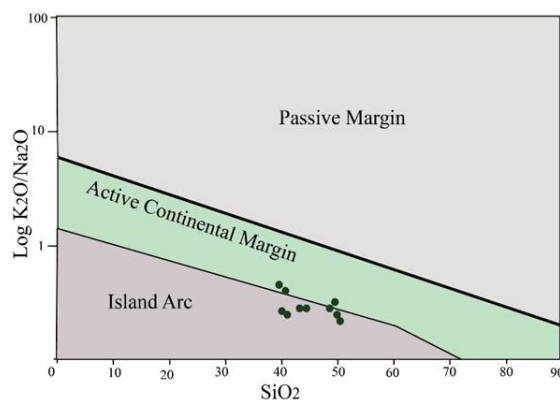
هم‌چنین TiO_2 در مقابل Zr و از سوی دیگر نسبت این عناصر، نشان‌دهنده‌ی سنگ خاستگاه آذرین حدواسط برای شیل‌های پسته‌لیق است (شکل ۶).

جایگاه زمین‌ساختی

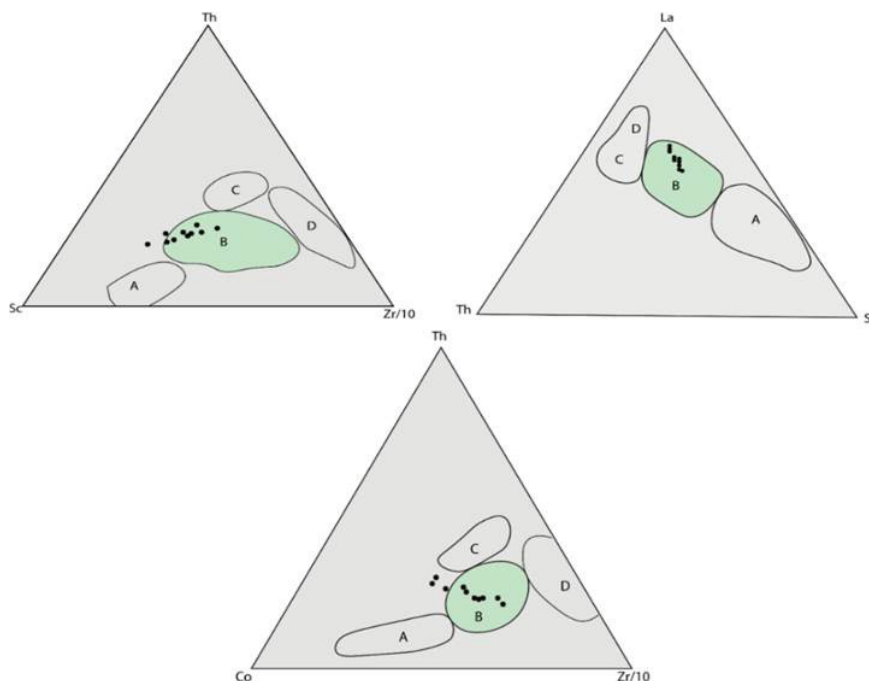
به طور کلی جایگاه زمین‌ساختی رسوبات ناحیه خاستگاه عامل کلیدی برای کنترل ترکیب شیمیایی و ویژگی‌های ژئوشیمی سنگ‌های رسوبی است (باتیا و کروک، ۱۹۸۶؛ بی و همکاران، ۲۰۱۵؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۵). روزر و کورش (۱۹۸۸) تقسیم‌بندی بر پایه مقدار SiO_2 در برابر $Log K_2O/Na_2O$ را ارائه داد که یکی از شاخص‌ترین نمودارها برای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی است که نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی ناپویا، پویای قاره‌ای و جزایر اقیانوسی است. بر پایه این تقسیم‌بندی نمونه‌ها در بخش پویا و حاشیه قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۷). برخی از عناصر فرعی (Zr و Co, Th, Sc) و عناصر نادر خاکی (REEs) مانند La عناصری بدون جنبش بوده و در طول فرآیند ترابری و ته‌نشینی زیر کنش بسیار کمی قرار می‌گیرند و می‌توان از دقت بالای این عناصر برای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی بهره‌گیری کرد (باتیا و کروک، ۱۹۸۶؛ وثوقی مرادی و همکاران، ۲۰۱۵). دیاگرام‌های سه‌تایی $Th/Sc/Zr/10$ و $La/Th/Sc$ و $Th/Co/Zr/10$ جایگاه زمین‌ساختی جزایر کمان قاره‌ای را برای نمونه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۸). به طور کلی از بررسی نمودارهایی که برای مطالعه جایگاه زمین‌ساختی شیل‌های پسته‌لیق بهره‌گیری شده است می‌توان به پویا بودن جایگاه زمین‌ساختی پی برد که نمونه‌ها در محدوده‌ی جزایر کمان قاره‌ای و کرانه پویای قاره‌ای قرار می‌گیرند.



شکل ۶. نمودارهای شناسایی سنگ خاستگاه شیل‌های سازند پسته‌لیق A- نمودار دوتایی Al_2O_3 در برابر TiO_2 B- نمودار دوتایی Zr در مقابل TiO_2 (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۷)



شکل ۷. نمودار شناسایی جایگاه زمینساختی شیل‌های سازند پسته‌لیق با بهره‌گیری از دیاگرام‌های $Log K_2O/Na_2O$ در مقابل SiO_2 (روزر و کورش، ۱۹۸۸)

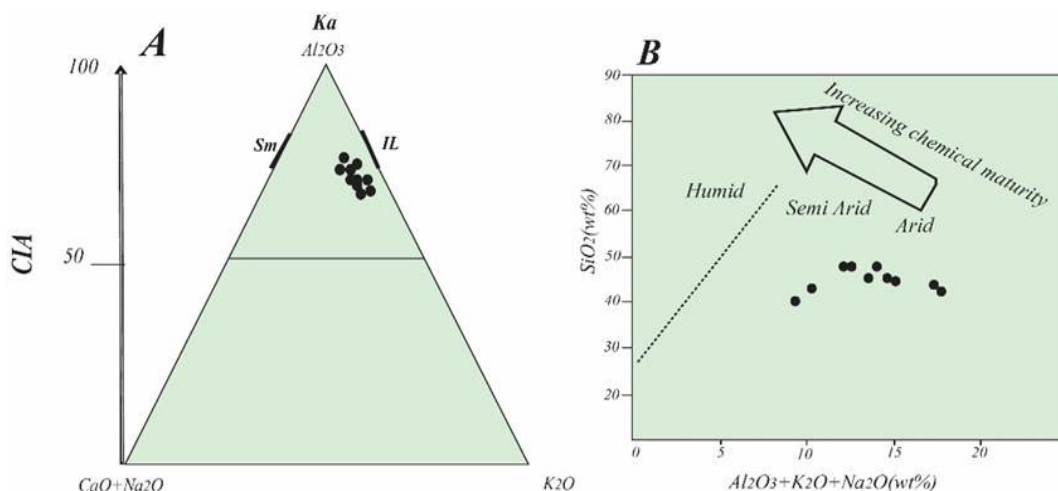


شکل ۸. نمودار شناسایی جایگاه زمینساختی شیل‌های سازند پسته‌لیق با بهره‌گیری از دیاگرام‌های سه گوش Co, Th, Sc, Zr و La A=جزایر کماتی اقیانوسی B=جزایر کمان C=حاشیه فعال قاره‌ای D=حاشیه غیر فعال قاره‌ای (باتیا و کروک، ۱۹۸۶)

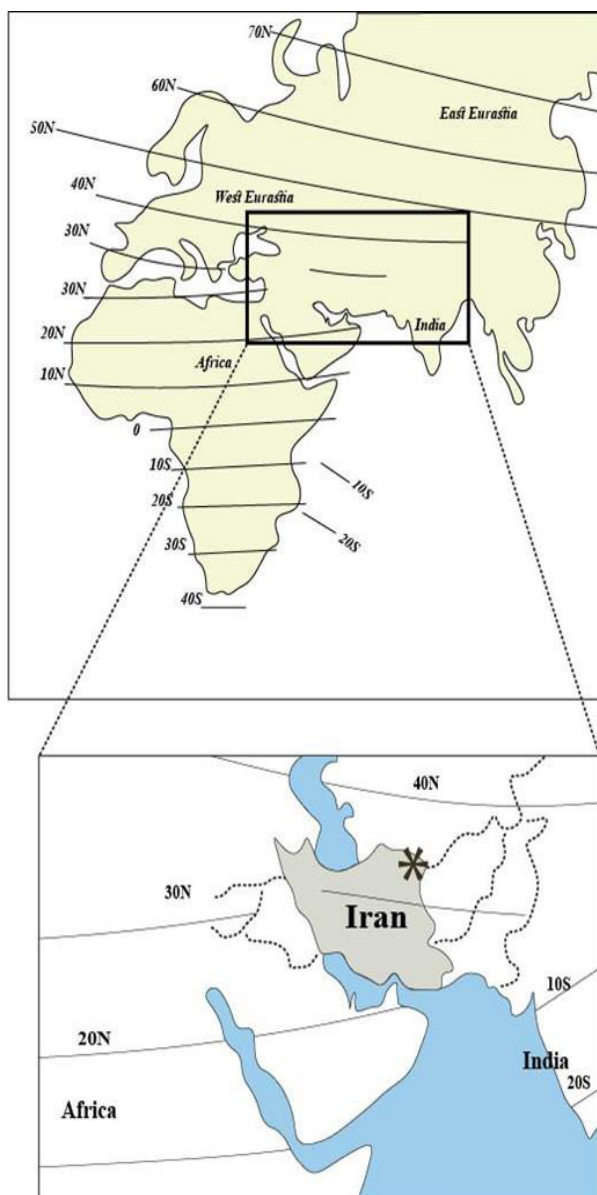
هوازدگی سنگ خاستگاه

محاسبه می‌شود، بر پایه معادله بالا اگر میزان CaO نمونه‌ها بیش‌تر از Na₂O باشد مقدار CaO برابر با مقدار Na₂O است، هر چه اندیس CIA از ۵۰ بیش‌تر و به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده‌ی شدت هوازدگی بالا در ناحیه خاستگاه است. اندیس CIA محاسبه شده برای نمونه‌های مورد بررسی پراکندگی بسیاری را نشان نمی‌دهند و دارای میانگین ۷۰٪ است که نشان دهنده‌ی شدت هوازدگی ضعیف تا متوسط در ناحیه خاستگاه است (شکل A-۹). اندیس تنوع ترکیبی ICV برای شناسایی درجه برسیدگی دانه‌های ترابری شده به حوضه رسوبی بهره‌گیری می‌شود (ICV). مقدار بالای ICV نشان از خاستگاه نارس است در حالی که مقدار پایین ICV نشان‌دهنده‌ی بلوغ بالای سنگ خاستگاه است. در طی فرایند هوازدگی کانی‌های فلدسپاته واپاشیده و به کانی‌های رسی تبدیل شده و باعث کاهش این اندیس می‌شود. مقدار ICV برای نمونه‌های شیلی به طور میانگین ۲/۲ بوده که نشان دهنده‌ی رسیدگی پایین سنگ خاستگاه است. افزون بر این با بهره‌گیری از دیاگرام SiO₂ در برابر Al₂O₃+K₂O+Na₂O برای پی بردن شرایط آب و هوایی دیرینه در ناحیه خاستگاه بهره‌گیری شد که نشان‌دهنده‌ی شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه‌خشک در ناحیه خاستگاه است (شکل B-۹). بر پایه نقشه‌های جغرافیای دیرینه، ایران در زمان پالئوسن تقریباً در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی قرار داشته که تاییدکننده نتایج بالا است (شکل ۱۰).

درجه هوازدگی سنگ مادر نقش بسیار مهمی در شناسایی ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری دارد (وئوقی مرادی، ۲۰۱۶). فاکتورهای گوناگونی مانند شرایط آب و هوایی و فعالیت‌های زمینساختی (بالازدگی منطقه خاستگاه) در کنترل شدت هوازدگی در ناحیه خاستگاه تاثیرگذار است (ورونکوویچ و کوندی، ۱۹۸۹). در طی هوازدگی شیمیایی کاتیون‌های جنبا مانند Na و Ca ناپایدار بوده و به آسانی حذف می‌شوند در صورتی که کاتیون‌هایی مانند Zr و Al و Ti دارای پایداری بیش‌تری هستند. افزایش درجه هوازدگی شیمیایی می‌تواند نشانه‌ای از کاهش فعالیت زمینساختی یا تغییر شرایط آب و هوا باشد (فدو و نسبیت، ۱۹۹۵؛ جیکوبسن، ۲۰۰۳). شاخص‌های مختلفی برای هوازدگی ارائه شده است برای نمونه شاخص هوازدگی شیمیایی (CIW) یا شاخص هوازدگی دگرسانی شیمیایی (CIA) هستند که بیش‌تر به عنوان شاخص‌های هوازدگی درجه بالا مورد بهره‌گیری قرار می‌گیرند (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). در محاسبه اندیس هوازدگی CIA، تنها از مقدار CaO موجود در کانی‌های سیلیکاته بهره‌گیری می‌شود. برای محاسبه‌ی CaO* نمونه‌هایی مانند نمونه‌های مورد بررسی که دارای سیمان کرناته‌ی زیادی هستند از روش McLennan بهره‌گیری شد که بر پایه فرمول Mol CaO_(corrected) = mol CaO - (10/3 mol P₂O₅)



شکل ۹. A- نمودار سه تایی A-CN-K برای شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچهه Ka; Kaolinite, Sm; Smectite, IL; Illite (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). B: شناسایی شرایط آب و هوایی ناحیه خاستگاه شیل‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچهه (دوتا و سوتنر، ۱۹۸۶)



شکل ۱۰. نقشه خطوط عرض جغرافیای دیرینه ایران در زمان پالئوسن-اتوسن که برش مورد بررسی (ستاره) بر روی آن نشان داده شده است (هیبش، ۱۹۷۹).

اکسیداسیون-احیای محیط

شرایط اکسیداسیون-احیا دیرینه در زمان رسوب‌گذاری سنگ‌های سیلیسی آواری را می‌توان از راه واکوی شیمیایی ارزیابی نمود (موسوی‌راد و همکاران، ۲۰۱۱). به همین منظور از نسبت عنصرهایی مانند U/Th و Ni/Co برای پی بردن به وضعیت آب‌های حوضه می‌توان بهره‌گیری کرد (ویگنال و مایرز، ۱۹۸۸؛ لی، ۲۰۰۹). نسبت U/Th برای محیط‌های احیایی بیش‌تر از ۱/۲۵ و برای محیط‌های اکسیدی این نسبت به کمتر از ۰/۷۵ می‌رسد. میانگین نسبت U/Th برای نمونه‌های مورد

بررسی ۰/۲۷ بوده که به اکسیدی بودن محیط اشاره دارد. نسبت Ni/Co برای محیط‌های احیایی بیش‌تر از ۵ و برای محیط‌های اکسیدی کمتر از ۵ است، میانگین این نسبت برای نمونه‌های مورد بررسی ۲/۵ بوده که دوباره تایید کننده‌ی شرایط اکسیدی محیط است. عناصر Ba و Sr رفتار ژئوشیمی متفاوتی از خود نشان می‌دهند و می‌توانند از آن‌ها برای پی بردن به تغییرات شوری دیرینه بهره‌گیری نمود (کاو و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش درجه شوری آب، نسبت Sr/Ba در رسوبات افزایش می‌یابد. این نسبت در نمونه‌های مورد بررسی دارای میانگین ۱/۱

فرسایشی، گسترش جانبی اندک رخساره‌های سنگی، بودن آثار فسیلی وابسته به خشکی و ساختمان‌های رسوبی یک سویه همچون ریپل‌مارک، لایه‌بندی مورب و نبود فسیل نشان‌دهنده ته‌نشست رسوبات سیلیسی آواری سازند پسته‌لیق در سامنه رودخانه‌ای است (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۵). در بخش‌های جنوب‌خاوری، لایه‌های کنگلومرا در سازند نمایان می‌شوند و از جنوب حوضه به سوی شمال از درشتی دانه‌های آواری کاسته می‌شود به گونه‌ای که منطقه‌ی مورد بررسی (شمال‌باختر دشت سرخس) بدون لایه‌های کنگلومرا است (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۵). بیش‌تر پیل‌های کنگلومرا را خرده‌سنگ‌های آهکی ساخته‌اند که برگرفته از فرسایش سازندهای آهکی کهن‌تر است. تغییر ستبرای سازند پسته‌لیق در بخش‌های مختلف کپه‌داغ به دلیل پسروری دریا به سوی شمال باختر در اواخر کرتاسه-پالئوسن بوده به گونه‌ای که ستبرای این سازند در بخش جنوب‌خاور حوضه در برش پادها-پدعلی ۴۲۴ متر و به سوی شمال باختر در برش تنگ چهل کمان ستبرای آن به ۲۲۵ متر کاهش می‌یابد (موسوی‌حرمی، ۱۹۹۳).

در برش چهچهه در شمال‌باختری دشت سرخس ستبرای این سازند به ۹۴/۵ متر کاهش می‌یابد و لایه‌های تبخیری در سازند پدیدار می‌گردد. (سعیدی و همکاران، ۱۳۹۵). این واحدهای تبخیری دارای بافت لامینه‌ای و کانی‌های موجود در آن عمدتاً ژئپس و مقادیر اندکی نیز انیدریت است که نشان‌دهنده‌ی خاستگاه غیر دریایی و احتمالاً مربوط به محیط پلایا می‌باشد (رضانی و همکاران، ۱۳۸۷). البته در بخش باختر کپه‌داغ روند کلی این تغییر ستبرای توسط گسل‌های پویا در هنگام رسوب‌گذاری تغییر یافته است (افشارحرب، ۱۳۷۳). در زمان‌های کوتاهی در اوایل پالئوسن، مناطق پستی در ناحیه مورد بررسی (شمال باختری دشت سرخس) شکل گرفته و منجر به ساخت واحدهای تبخیری شده است (موسوی‌حرمی، ۱۹۹۳). با توجه به واحدهای تبخیری و اندیس هوازدهگی شیمیایی (CIA) کم نمونه‌های مورد بررسی می‌توان به حاکم بودن شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در ناحیه خاستگاه اشاره کرد که با توجه به جایگاه ایران در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی می‌تواند نشانگر شرایط آب و هوایی یادشده باشد (هبیش، ۱۹۷۹) (شکل ۱۰).

است و شیل‌های بالایی بیش‌ترین نسبت را دارا هستند (۱/۶). با توجه به نسبت Sr/Ba شیل‌های بخش زیرین و میانی سازند پسته‌لیق در محیطی با تغییرات شوری تقریباً یکنواخت ساخته شده‌اند ولی شیل‌های بخش بالایی زیر تاثیر تغییرات شوری بیش‌تری قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که سازند پسته‌لیق در یک محیطی اکسیدان مانند شرایط قاره‌ای و نیز در یک شرایط آب و هوای گرم و خشک ساخته شده است که تاییدی بر مطالعات پیشین انجام شده، مانند موسوی‌حرمی (۱۹۹۳)، می‌باشد.

جغرافیای دیرینه

بازسازی دقیق‌تر جغرافیای دیرینه در طی پالئوسن زیرین در منطقه‌ی مورد بررسی نیازمند اطلاعاتی از الگوی رسوب‌گذاری، سنگ خاستگاه، جایگاه زمینساختی و شدت هوازدهگی در ناحیه خاستگاه است (معلمی و همکاران، ۱۳۹۵). آغاز پالئوسن در بسیاری از مناطق جهان مانند کپه‌داغ همراه با آغاز جنبش‌های زمینساختی و ته‌نشست رسوبات قاره‌ای بوده است (لوزون، ۲۰۰۵). بر اثر رخداد زمین‌ساختی لارامین، بلندی‌هایی در بخش جنوب‌خاوری حوضه (آق‌دربند) ساخته شده که سازندهای کهن‌تر مانند تیرگان، مزدوران را در برابر فرسایش قرار داده، که احتمالاً به دلیل بالآمدگی جنوب منطقه مورد بررسی در محدوده مشهد و حتی در منطقه آق‌دربند است (موسوی‌حرمی و محبوبی، ۱۳۷۸). بر پایه بررسی‌های انجام شده، رسوبات سازند پسته‌لیق از بلندی‌ها شکل گرفته در جنوب‌خاوری فرسایش یافته‌اند که از جنوب خاور به سمت شمال‌باختر از درشتی دانه‌ها کاسته می‌شود (موسوی‌حرمی، ۱۹۹۳).

اندیس هوازدهگی شیمیایی (CIA) که نشانگر هوازدهگی کم تا متوسط رسوبات در ناحیه خاستگاه است، گویای جایگاه زمینساختی پویا در ناحیه خاستگاه و افزون بر آن نشان دهنده‌ی چرخه‌ی دوباره رسوبی ناچیز باشد. همانگونه که در بخش هوازدهگی سنگ خاستگاه اشاره شد مقادیر بالای اندیس تنوع ترکیبی (ICV) که اشاره به بلوغ پایین رسوبات مورد بررسی دارد، می‌توان پیشنهاد کرد که رسوب‌گذاری این سازند در محیط پویا و بالآمدگی سریع ناحیه خاستگاه بوده است. وجود شواهدی مانند چرخه‌های ریزشونده به سمت بالا همراه با قاعده

نتیجه‌گیری

در این پژوهش شیل‌های سازند پسته‌لیق (پالئوسن زیرین) در برش چهچه، شمال‌خاور مشهد، برای شناخت برخاستگاه مورد واکاوی ژئوشیمیایی عناصر اصلی و فرعی قرار گرفتند. شیل‌های سازند پسته‌لیق نسبت به UCC، تهی‌شدگی در میزان Na_2O ، P_2O_5 ، Ce ، Ba ، Nb ، Th ، CaO ، Co ، Ni ، K_2O را نشان می‌دهند. این پژوهش نشان‌دهنده‌ی سنگ خاستگاه آذرین حدواسط برای سازند پسته‌لیق است. بررسی جایگاه زمینساختی نشان از جایگاه کمان قاره‌ای دارد. شرایط آب و هوایی در ناحیه برخاستگاه نشان از هوازدگی نسبتاً کم تا متوسط ($\text{CIA} = 70\%$) و وابسته به شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک در ناحیه خاستگاه دارد که جایگاه ایران در عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی تأیید کننده‌ی نتایج یادشده است. خاستگاه رسوبات سازند پسته‌لیق از سنگ‌های کهن‌تر در بخش جنوب‌خاوری حوضه پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه فردوسی مشهد برای در اختیار گذاشتن امکانات بازدید میدانی و آزمایشگاهی (طرح پژوهشی با کد ۳/۴۲۱۹۷) سپاسگزاری می‌شود. هم‌چنین از داوران گرامی این مقاله برای طرح دیدگاه‌های ارزنده‌شان، که به بهتر شدن سطح علمی این مقاله کمک نموده‌اند، قدردانی می‌گردد.

منابع

- Algeo, T. J., Maynard, J. B (2004) Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. *Chemical Geology*. 206, 289-318.
- Ayers, J. C., Watson, E. B (1993) Rutile solubility and mobility in supercritical aqueous fluids. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 114: 321-330.
- Bai, Y., Liu, Z., Sun, P., Liu, R., Hu, X., Zhao, H., Xu, Y (2015) Rare earth and major element geochemistry of Eocene fine-grained sediments in oil shale- and coal-bearing layers of the Meihe Basin, northeast China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 97 (A): 89-101.
- Bhatia, M. R., Crook, K. A (1986) Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92: 181-193.
- سازند داهو (کامبرین پیشین) به روش پتروگرافی و ژئوشیمی عناصر اصلی در برش ایبانه غرب نطنز، رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۶، ۲۶-۴۲.
- رضانی، ش.، ذاکریان مقدم، م.، موسوی‌حرمی، ر.، محمودی‌قرائی، م.، محبوبی، الف (۱۳۸۷) مکانیزم تشکیل تبخیری‌های سازند پسته‌لیق در برش چهچه کمان، شرق حوضه کپه‌داغ، شانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- سرباز، ن.، محبوبی، الف.، موسوی‌حرمی، خانه‌باد، م.، ماهانی‌پور، الف (۱۳۹۶) خاستگاه و جایگاه تکنیکی سازند کشف‌رود در برش ناویا (باختر جنورد) بر مبنای بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها، رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۸، ۸۹-۱۰۲.
- سعیدی، الف.، محبوبی، الف.، موسوی‌حرمی، ر.، محمودی‌قرائی، م. ح (۱۳۹۵) چینه‌سنگی و رخساره‌های سنگی سازند پسته‌لیق در برش چهچه شمال‌شرقی مشهد یازدهمین همایش انجمن دیرینه‌شناسی ایران، طبس.
- قبادی، م.، رفیعی، ب.، حیدری، م.، موسوی، س.، اسفندیاری (۱۳۹۳) ژئوشیمی و خاستگاه ماسه‌سنگ‌های آجاجاری در استان خوزستان، رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۳، ۴۸-۶۱.
- معلمی، ع.، صالحی، م.، زهدی، الف (۱۳۹۵) ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند رازک، جنوب خاور حوضه رسوبی زاگرس: کاربرد در تعیین جایگاه زمین‌ساختی، سنگ مادر و هوازدگی دیرینه، علوم‌زمین ۱۰۳، ۲۸۶-۲۶۵.
- موسوی‌حرمی، ر.، محبوبی، الف (۱۳۷۸) تفسیر تاریخچه و جغرافیایی دیرینه پالئوسن در شمال شرق ایران، هجدهمین گردهمایی علوم‌زمین ۹۸-۱۰۵.
- افشارحرب، ع (۱۳۷۳) زمین‌شناسی کپه‌داغ، طرح تدوین کتب زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۲۷۵ص.
- افشارحرب، ع (۱۳۶۲) نقشه زمین‌شناسی سرخس با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات کشور.
- آقائباتی، ع (۱۳۸۵) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ص.
- رضایی، خ.، فروغی شاه‌آباد، ش.، اسدی، الف (۱۳۹۵) پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌های سازند سرخ بالای در برش منطقه حسن‌آباد (جنوب‌غرب تهران)، رسوب‌شناسی کاربردی، شماره ۶، ۴۳-۵۶.
- رضایی، ن.، رضایی، خ.، فیاضی، ف (۱۳۹۵) تعیین برخاستگاه زمین‌ساختی و هوازدگی سنگ منشا ماسه‌سنگ‌های

- Lee, Y (2009) Geochemistry of shales of the Upper Cretaceous Hayang Group, SE Korea: Implications for provenance and source weathering at an active continental margin: *Sedimentary Geology*, 215: 1–12.
- Liu, B., Wang, W., Su, X., Zheng, H (2013) Elemental geochemistry of northern slope sediments from the South China Sea: Implications for provenance and source area weathering since Early Miocene. *Chemie der Erde*, 73: 61-74.
- Louzon, A (2005) Oligocene-Miocene alluvial sedimentation northern Ebro basin, NE Spain, Tectonic control and paleogeographic evolution. *Sedimentary Geology*, 177: 19-39.
- Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Lasemi, R., ernner, L (2001) Sequence stratigraphy and sea level history of the upper Paleocene strata in the Kopet-Dagh basin, northeastern Iran. *AAPG Bulletin*, 85: 839-860.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K., Hanson, G. N (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M. J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*, Geological Society of America Special Papers, 285: 21-40.
- Ming, M., Li, Ch., Chengfu, L., Chen, G., Yang, F., Zhang, G (2016) Geochemistry and provenance of a multiple-stage fan in the Upper Miocene to the Pliocene in the Yinggehai and Qiongdongnan basins, offshore South China Sea, *Marine and Petroleum Geology*, 79: 64-79.
- Moosavirad, S., Janardhana, M., Sethumadhav, M., Moghadam, M., Shankara, M (2011) Geochemistry of lower Jurassic shales of the Shemshak Formation, Kerman Province, Central Iran: Provenance, source weathering and tectonic setting. *Chemie der Erde*, 71: 279–288.
- Mortazavi, M., Mussavi-Harami, R., Mahboubi, A (2013) Detrital Mode and Geochemistry of the Shurijeh Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous) in the Central and Western Parts of the Intracontinental Kopet-Dagh Basin, NE Iran: Implications for Provenance, Tectonic Setting and Weathering Processes. *Acta Geologica Sinica*, 87: 1058-1080.
- Moussavi-Harami, R (1993) Depositional history and paleogeography of lower Paleocene red bed in eastern Kopet-Dagh basin northeast Iran. *Journal of Science Islamic Republic of Iran*, 4 (2): 126-143.
- Moussavi-Harami, R. Brenner, R. L (1992) Geohistory analysis and petroleum reservoir characteristics of Lower Cretaceous (Neocomian) Sandstones, Eastern Kopet-Dagh Basin, Northeastern Iran, *AAPG Bulletin*, 76: 1200-1208.
- Cao, H., Guo, W., Shan, X., Ma, L., Sun, P (2015) Paleolimnological environments and organic accumulation of the Nenjiang Formation in the southeastern Songliao Basin. *China, Oil Shale*, 32 (1): 5–24.
- Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R. L (1995) The influence of sediment recycling and basement composition of evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59: 2919–2940.
- Dabard, M. P (1990) Lower Brioverian Formations (Upper Proterozoic) of the Armorican Massif (France): Geodynamic evolution of source areas revealed by sandstone petrography and geochemistry. *Sedimentary Geology*, 69: 45-58.
- Das, B. K., AL-Mikhlaifi, A. S., Kaur, P (2006) Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Science*, 26: 649-668.
- Dutta, P. K., Suttner, L. J (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M (1995) Unrevealing the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23: 921- 924.
- Jacobson, A. D., Blum, J. D., Chamberlain, C. P., Craw, D., Koons, P. O (2003) Climatic and tectonic controls on chemical weathering in the New Zealand Southern Alps. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37: 29–46.
- Jafarzadeh, M., Moussavi-Harami, R. M., Friis, H., Amini, A., Mahboubi, A. and Lenaz, D (2014) Provenance of the Oligocene–Miocene Zivah Formation, NW Iran, assessed using heavy mineral assemblage and detrital clinopyroxene and detrital apatite analyses. *Journal of African Earth Sciences*, 89: 56–71.
- Habicht, J. K. A (1979) Paleoclimate, Paleomagnetism, and Continental Drift. *American Association of Petroleum Geologists*, 9: 1-18.
- Hayashi, K. I., Fujisawa, H., Holland, H. D., Ohmoto, H (1997) Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 4115-4137.
- Khanehbad, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Nadjafi, A (2012) Geochemistry of Carboniferous Shales of the Sardar Formation, East Central Iran: Implication for Provenance, Paleoclimate and Paleo-oxygenation Conditions at a Passive Continental Margin, *Geochemistry International*, 50: 777-790.

- Wang, L., Liu, Cg., Gao, X., Zhang, H (2014) Provenance and paleogeography of the Late Cretaceous Mengyejing Formation, Simao Basin, southeastern Tibetan Plateau: Whole-rock geochemistry, U–Pb geochronology, and Hf isotopic constraints. *Sedimentary Geology*, 304: 44-58.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, M., Mahboubi, A., Rahimi, B (2013) Petrography and Geochemistry of the Early-Middle Devonian sandstone of the padeha formation in the North of Kerman, SE Iran, Implication for provenance, *Boletin del Instituto de Fisiografia y Geologia*, 83: 1-14.
- Zhou, L., Friis, H., Poulsen, M (2015) Geochemical evaluation of the Late Paleocene and Early Eocene shales in Siri Canyon, Danish-Norwegian Basin, *Marine and Petroleum Geology*, 61: 111-122.
- Nesbitt, H. W., Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.
- Ramezani O. R., Shahriari, S., Hafezi Moghadas, N., Omidi. P., Eftekharnjad, J (2008) A model for Active tectonics in Kopet (North-East Iran). *World Applied Sciences Journal*, 3: 312-316.
- Rashid, S. A (2002) Chakrata Formation, Lesser Himalaya: implications for crustal evolution and weathering history in the Himalaya, *Journal of Asian Earth Sciences*, 21: 283-293.
- Robert, A. M. M., Letouzey, J., Kavoosi, M. A., Sherkati, S., Muller, C., Vergés, J., Aghababaei, A (2014) Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin. *Marin Petroleum Geology*, 57: 68–87.
- Roser, B. P., Korsch, R. J (1988) Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data, *Journal of Chemical Geology*, 67: 119–139.
- Saminpanya, S., Duangkrayom, J., Jintasakul, P., Hanta, R (2014) Petrography, mineralogy and geochemistry of Cretaceous sediment samples from western Khorat Plateau, Thailand, and considerations on their provenance. *Jornal Asian Earth Sciences*, 83: 13–34.
- Tao, C., Shan, Y., Tang, D., Li, S., Cui, Y (2016) Mineralogy, major and trace element geochemistry of Shichanggou oil shales, Jimusaer, Southern Junggar Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 146: 432-445.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M. (1985) *The Continental Crust: its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford 312.
- Tole, M. P (1985) The kinetics of dissolution of zircon ($ZrSiO_4$). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 453-458.
- Vosoughi Moradi, A., Sari, A. Akkaya, P (2016) Geochemistry of the Miocene oil shale (Hançili Formation) in the Çankırı-Çorum Basin, Central Turkey: Implications for Paleoclimate conditions, source–area weathering, provenance and tectonic setting. *Sedimentary Geology*, 341: 289-303.
- Wronkiewicz, D. J., Condie, K. C (1989) 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: 1537-1549.
- Wignall, P. B., Myers, K. J (1988) Interpreting the benthic oxygen levels in mudrocks, a new approach. *Geology*, 16: 452–455.