

خاستگاه و جایگاه تکتونیکی سازند کشف‌رود در برش ناویا (باختر بجنورد) بر مبنای بررسی‌های پتروگرافی و ژئوشیمی ماسه‌سنگ‌ها

ندا سرباز^۱، اسداله محبوبی^{۱*}، سیدرضا موسوی حرمی^۱، محمد خانه‌باد^۱ و اعظم ماهانی‌پور^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان

نویسنده مسئول: mahboubi@um.ac.ir

دریافت: ۹۵/۱۲/۱۶ پذیرش: ۹۶/۲/۱۲

چکیده

سازند کشف‌رود در برش ناویا (۵۹ کیلومتری باختر بجنورد) با سبترای ۷۴۹ متر از رسوبات سیلیسی آواری ساخته شده است. در این بررسی، بر پایه گونه‌های نانوفسیلی *Cyclagelosphaera margerelii* و *britannica Watznaueria* موجود در ۳۵۰ و ۷۱۰ متری بالای قاعده، سن این سازند می‌تواند بازوسین-؟ باتونین باشد. بررسی‌های میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که کوارتز فراوان‌ترین نوع دانه و سپس خرده‌سنگ و فلدسپات از مهم‌ترین دانه‌های سازنده بوده و شامل سه پتروفاسیس ساب چرت‌آرنایت، چرت‌آرنایت، فیلازرنایت و فلدسپاتیک چرت‌آرنایت هستند. رسم یافته‌های دانه شماری ماسه‌سنگ‌ها در نمودارهای QtFL و QmFLt نشان می‌دهد که رسوبات سازند کشف‌رود در محدوده کوهزایی با چرخه دوباره قرار می‌گیرند. افزون بر این، بررسی نمودارهای ژئوشیمیایی برای شناخت ماهیت سنگ منشا، نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌ها از یک سنگ منشا احتمالی آذرین حد واسط و رسوبی گرفته شده‌اند. میانگین اندیس هوازگی شیمیایی (CIA)، میانگین درجه دگرسانی پلاژیوکلازها (PIA)، اندیس ICV (برای شنسای نوع سنگ منشأهای رسیده و نارسیده) و نیز Si_2O در برابر $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$ نشانگر آب و هوای گرم و نیمه مرطوب است. به کارگیری نمودارهای تابعی و سه-تایی $(SiO_2/20)$ ، $(TiO_2 + MgO + Fe_2O_3)$ ، $(Na_2O + K_2O)$ ، رسوب‌گذاری ماسه‌سنگ‌های این سازند را در محیط‌های حاشیه‌ای قاره ای غیرفعال تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: پتروگرافی، ژئوشیمی، سازند کشف رود، بازوسین-؟ باتونین، باختر بجنورد و کپه داغ

۱- مقدمه

سنگ‌شناسی نیستند ولی در برآورد نوع برخاستگاه به کار گرفته می‌شوند [۲۸]. حوضه رسوبی کپه‌داغ به دلیل قرارگیری در مرز مشترک دو آب‌قاره اوراسیا و گندوانا و هم‌چنین وجود مخازن مهم گازی مزدوران و شورریجه مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان است. سازند کشف رود کهن‌ترین سازند این حوضه و به طور عمده از شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا ساخته شده است [۱، ۲۷ و ۳۴]. بررسی‌های گسترده‌ای در مورد سنگ‌شناسی و محیط رسوبی این سازند در ناحیه خاور کپه‌داغ انجام شده است که ساخت این سازند را در شرایط عمدتاً توربیدیتی تفسیر نموده‌اند. افزون بر آن [۳۵] چینه‌شناسی، رخساره‌ها و خاستگاه سازند کشف‌رود در بخش جنوب-خاور کپه‌داغ را بررسی نموده‌اند. اهمیت این سازند به دلیل وجود مواد آلی فراوان در رسوبات دانهریز است که می‌تواند پتانسیل بالایی در تولید هیدروکربن داشته باشد [۲۷]. خاستگاه و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های سیلیسی

همبستگی میان ترکیب رسوبات آواری، جایگاه زمین-ساختی و خاستگاه اخیراً در ایران به وسیله پژوهشگران بسیاری بررسی شده است [برای مثال ۲۲، ۱۸، ۲۵، ۳۸، ۱۵ و ۳۰]. برای شناسایی خاستگاه رخساره‌های دانه متوسط (ماسه‌سنگ‌ها)، تکیه اصلی بر شناسایی درصد اجزای خشکی‌زاد موسوم به ترکیب مدال^۱ است. نوع دانه‌های سازنده همواره متأثر از کونه سنگ منشأ، هوازگی ناحیه خاستگاه، ترابری و فرایندهای دیاژنزی است. با وجود تأثیر این عوامل، واکاوی مدال ماسه‌سنگ‌ها می‌تواند اطلاعات سودمندی در مورد جایگاه خاستگاه ارائه دهد [۲۳ و ۴۰]. برای تکمیل داده‌های پتروگرافی از واکاوی ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی سنگ‌های سیلیسی آواری بهره‌گیری می‌شود [۱۸ و ۳۸]. روش‌های ژئوشیمیایی نیز، هر چند به کارایی روش‌های

¹ Modal composition

به واکاوی EDX مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی نانوفسیل‌های آهکی ۱۱ نمونه‌ی شیلی در آزمایشگاه دیرینه‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان به روش اسمیر اسلاید آماده‌سازی شد. اسلایدهای نانوفسیلی موجود با میکروسکوپ نوری المپیوس (Olympus BH2) و بزرگنمایی ۱۵۰۰ مورد بررسی قرار گرفت.

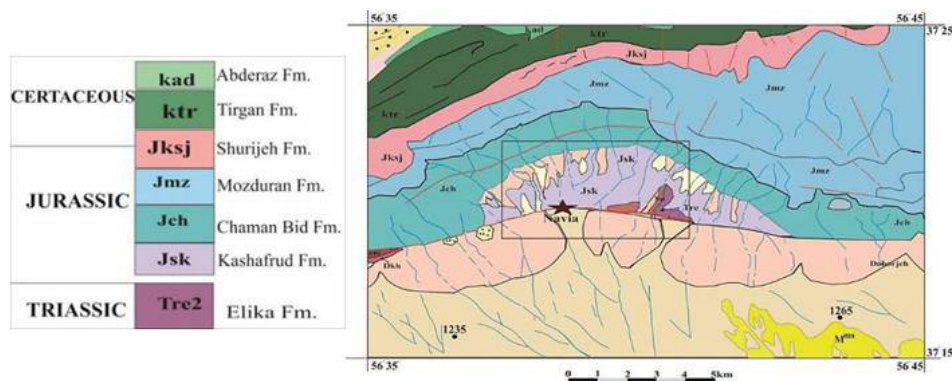
۳- زمین‌شناسی

ناحیه مورد بررسی در باختر حوضه‌ی رسوبی کپه داغ و بُرش ناویا در ۵۹ کیلومتری باختر بجنورد و در شمال خاور روستای ناویا قرار گرفته است (شکل ۱). مرز زیرین در این برش به صورت دگرشیب با سنگ‌آهک‌های تریاس و مرز بالایی به صورت تدریجی به مارن‌های خاکستری رنگ سازند چمن‌بید تبدیل می‌شود. این برش با ستبرای ۷۴۹ متر از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و شیل ساخته شده است (شکل ۲). این رسوبات در یک محیط رودخانه‌ای و دلتای زیر نفوذ امواج و توفان بر جای گذاشته شده است [۳]. بر مبنای بررسی فرامینیرها و آمونیت‌های سازند کشف‌رود در بخش خاور کپه‌داغ، سن باژوسین-باتونین شناسایی شده است [۲۱]. در برش ناویا بررسی نانوفسیل‌های آهکی منجر به شناسایی ۱۱ گونه از ۵ جنس از نانوپلانکتون‌های آهکی شد (شکل ۳). نمونه‌ها دارای حفظ‌شدگی متوسط تا کم هستند. حضور گونه *Watznaueria britannica* (نمونه ۶۸) در فاصله ۳۵۰ متری از قاعده سازند کشف‌رود، سن باژوسین زیرین و گونه *Cyclagelosphaera margerelli* (نمونه ۱۳۱) در فاصله ۷۱۰ متری، سن باژوسین بالایی تا باتونین بالایی را نشان می‌دهد. بنابراین سن بخش بالایی رسوبات مورد بررسی می‌تواند باژوسین-باتونین باشد.

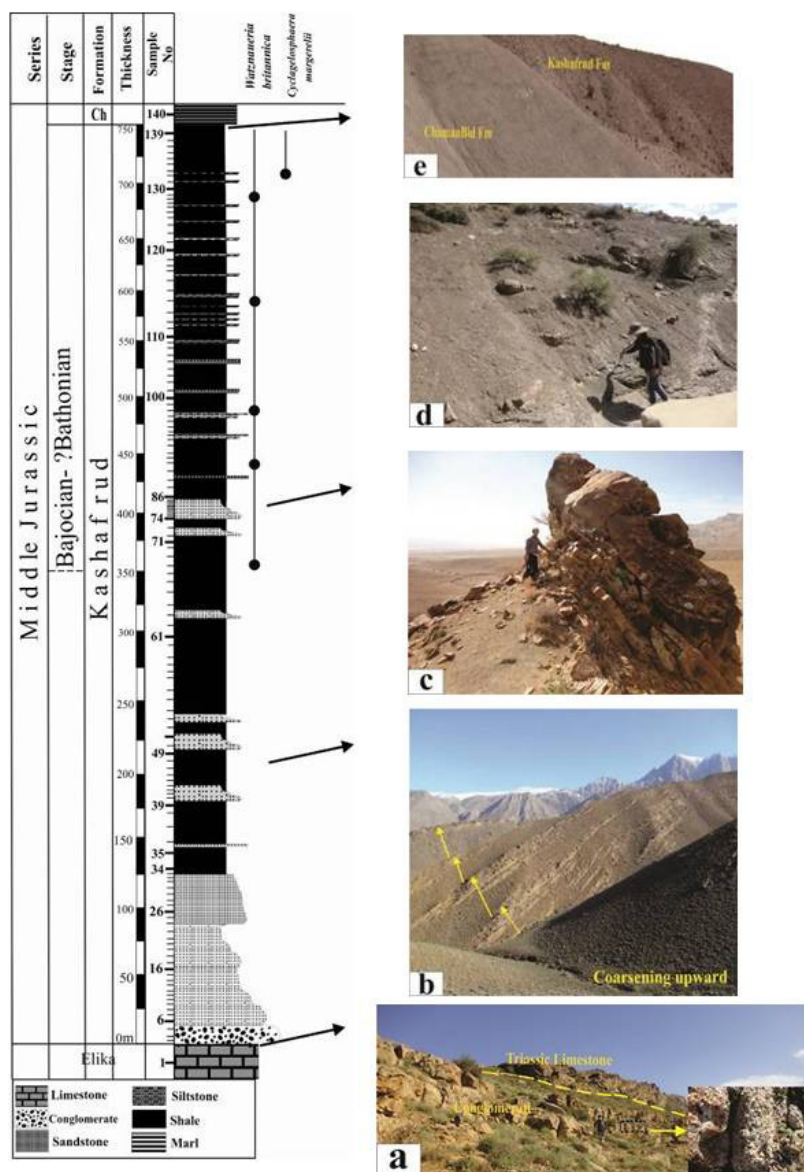
آواری این سازند، به ویژه در باختر کپه‌داغ، تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این بررسی نیز بهره‌گیری از داده‌هایی است که بتواند به تفسیری مستند در این راستا کمک نماید. بُرش نمونه این سازند توسط مدنی [۲۱] در خاور روستای بغبغو (در مسیر جاده مشهد به معدن زغال‌سنگ آق‌دریبد) با ستبرای ۱۸۰۰ متر اندازه‌گیری و شناسانده شد. این سازند بیش‌تر در بخش‌های جنوب‌خاور حوضه رخنمون داشته و در بخش باختر محدود می‌شود. افزون بر این، در میان پژوهشگران اختلاف دیدگاه‌هایی درباره نام‌گذاری این سازند در برش مورد بررسی وجود دارد [۲]. در این بررسی از داده‌های نانوفسیل نیز بهره گرفته شده است.

۲- روش بررسی

از برش ناویا ۵۹ نمونه ماسه‌سنگ و ۷۰ نمونه شیل برداشت شد که بررسی‌های نقطه‌شمار شماره ۴۳ نمونه ماسه‌سنگ به روش گزی و دیکینسون [۱۱ و ۱۴] انجام و نزدیک ۳۰۰ نقطه در هر نمونه از دید ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین ویژگی‌های بافتی و نام‌گذاری ماسه‌سنگ‌ها به روش فولک [۱۳] انجام شد. ۸ نمونه ماسه‌سنگ با کمترین میزان کربنات کلسیم انتخاب و پس از پودرشدن، توسط دستگاه فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) فیلیپس مدل Philips PW 1480 برای شناسایی اکسیدهای اصلی و برخی عناصر فرعی در آزمایشگاه تجزیه‌کنندگان کانسارهای بلورین آمیتیس خاور مورد واکاوی قرار گرفتند. در بررسی‌های میکروسکوپی الکترونی (SEM) ۱ نمونه ماسه‌سنگ در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد در آغاز در اندازه کوچک شکسته و با روکش طلا پوشیده شد و سپس توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1450Vp مجهز



شکل ۱. بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سنخواست که در آن سازند کشف‌رود نشان داده شده است [۵].



شکل ۲. ستون چینه‌سنگی سازند کشف‌رود در برش ناویا (سن نیمه بالایی سازند، بر مبنای نانوفسیل‌ها شناخته شده است). (a) مرز زیرین سازند کشف‌رود و سنگ‌آهک‌های سازند الیکا. (b) تناوب شیل و ماسه‌سنگ‌های واحد دوم (سیکل‌های درشت‌شو). (c) سیکل درشت‌شو از ماسه‌سنگ‌های ستر لایه. (d) شیل‌های خاکستری تیره رنگ واحد سوم. (e) مرز بالایی سازند کشف‌رود با مارن‌های چمن‌بید.

نوع چرتی و دگرگونی است که چرت‌های گرد شده با میانگین ۹/۴۶ فراوان‌ترین نوع آن‌هاست (شکل ۴b). فلدسپات‌ها شامل ارتوکلاز و پلاژیوکلاز با میانگین ۷/۴۴ درصد که ارتوکلاز فراوان‌ترین بوده و بیش‌تر آن‌ها نیز دگرسان شده‌اند. کانی‌های فرعی میکا (مسکویت و بیوتیت) که در برخی بخش‌ها به صورت خمیده نیز هستند. کانی‌های سنگین در نمونه‌های مورد بررسی نادر بوده اما آنچه مورد شناسایی قرار گرفته شامل زیرکن و تورمالین با فراوانی کمتر از ۲ درصد است

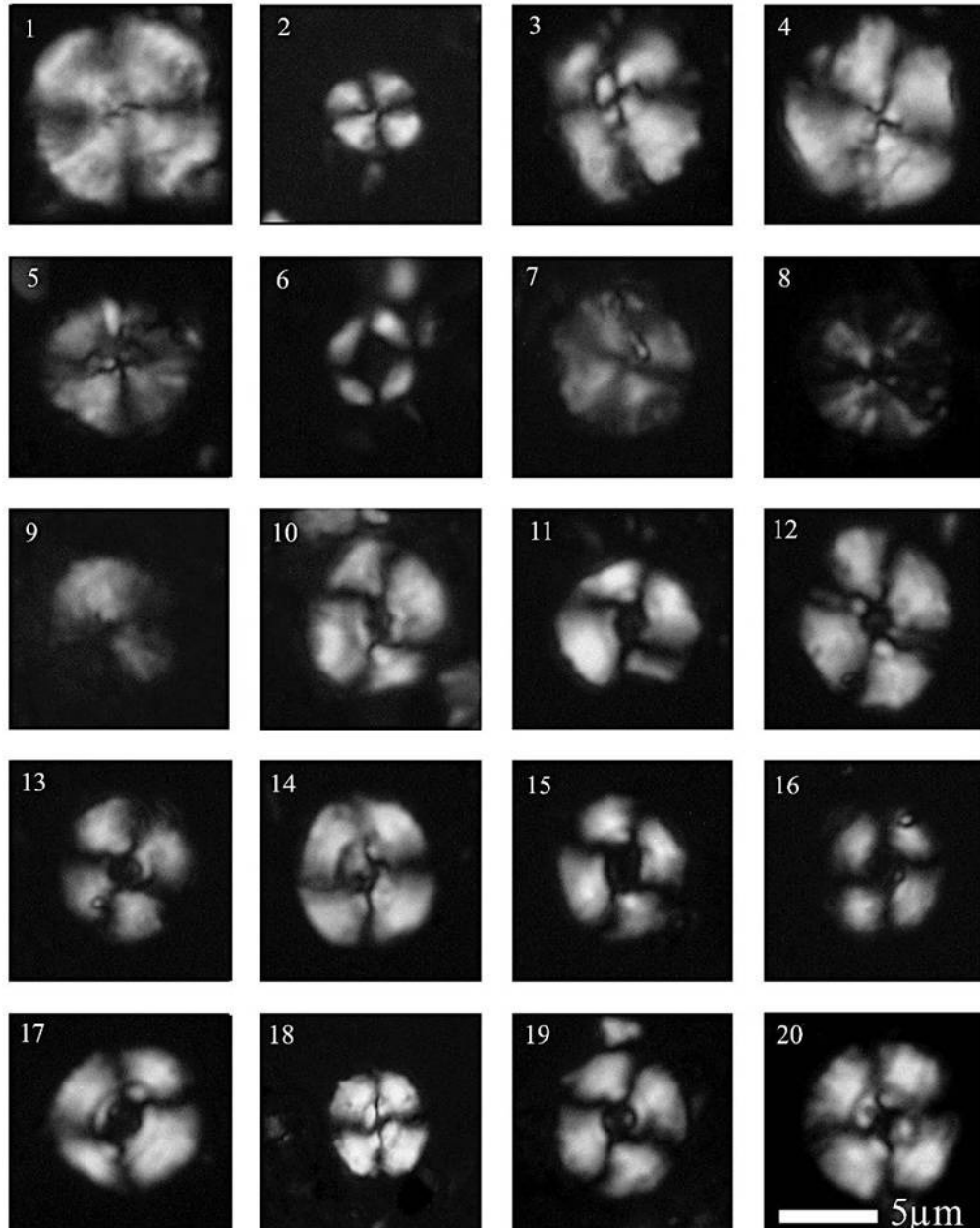
۴- نتایج

۴-۱- پتروگرافی

بر پایه بررسی‌های میکروسکوپی اندازه دانه‌های ماسه سنگ از بسیار ریز تا درشت (۰/۰۶ تا ۱/۵ میلی‌متر) در تغییر و عمدتاً متوسط دانه هستند. از دید ترکیبی دانه‌های سازنده به ترتیب فراوانی شامل کوارتز تک بلوری با میانگین ۶۴/۲۰ درصد، کوارتز چند بلوری (دگرگونی شیتوز) با میانگین ۱۰ درصد (شکل ۴a)، و خرده‌سنگ با میانگین ۱۸/۳۶ درصد است. عمده این خرده‌سنگ‌ها از

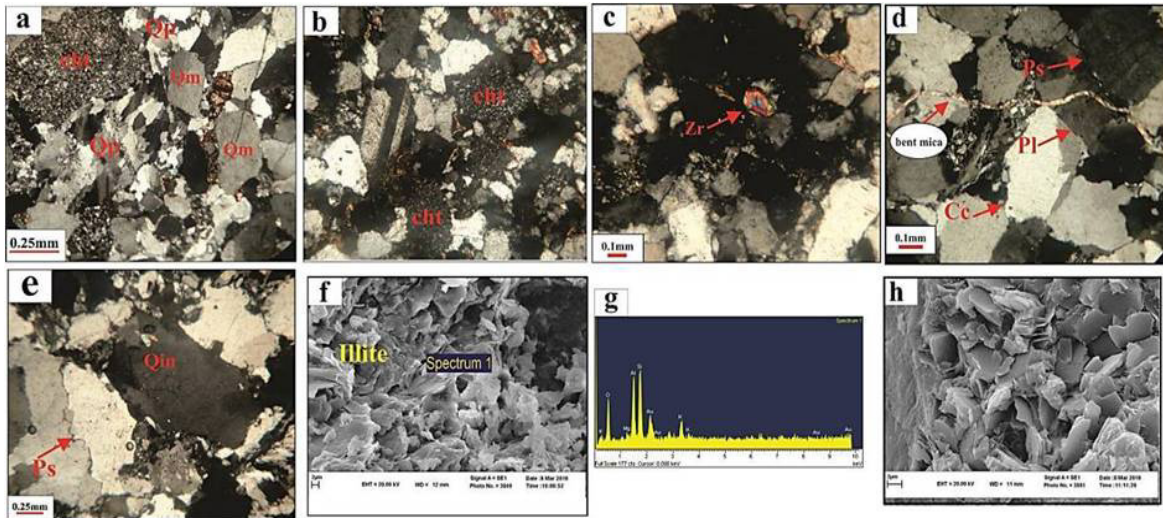
بافتی، نیمه رسیده (زمینه کمتر از ۵ درصد، چورشدگی خوب تا متوسط و نیمه زاویه‌دار) با سیمان سیلیسی و کلسیتی هستند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی مجهز به واکاوگر EDX نشانگر کانی رسی ایلیت و کائولینیت به فرم کتابی است (شکل‌های ۴f,g,h).

(شکل ۴c). تماس میان دانه‌ها با یکدیگر متنوع، اما بیش‌تر به صورت خطی و گاهی دندانه‌ای (مضرسی) است (شکل ۴d,e) ماسه‌سنگ‌ها به ترتیب فراوانی دارای ساب-چرت‌آرنایت (۴۹ درصد)، چرت‌آرنایت و فیلارنایت (۴۰ درصد) و فلدسپاتیک چرت‌آرنایت (۱۱ درصد) هستند (شکل ۵ a و b). بیش‌تر ماسه‌سنگ‌های کشف‌رود از دید

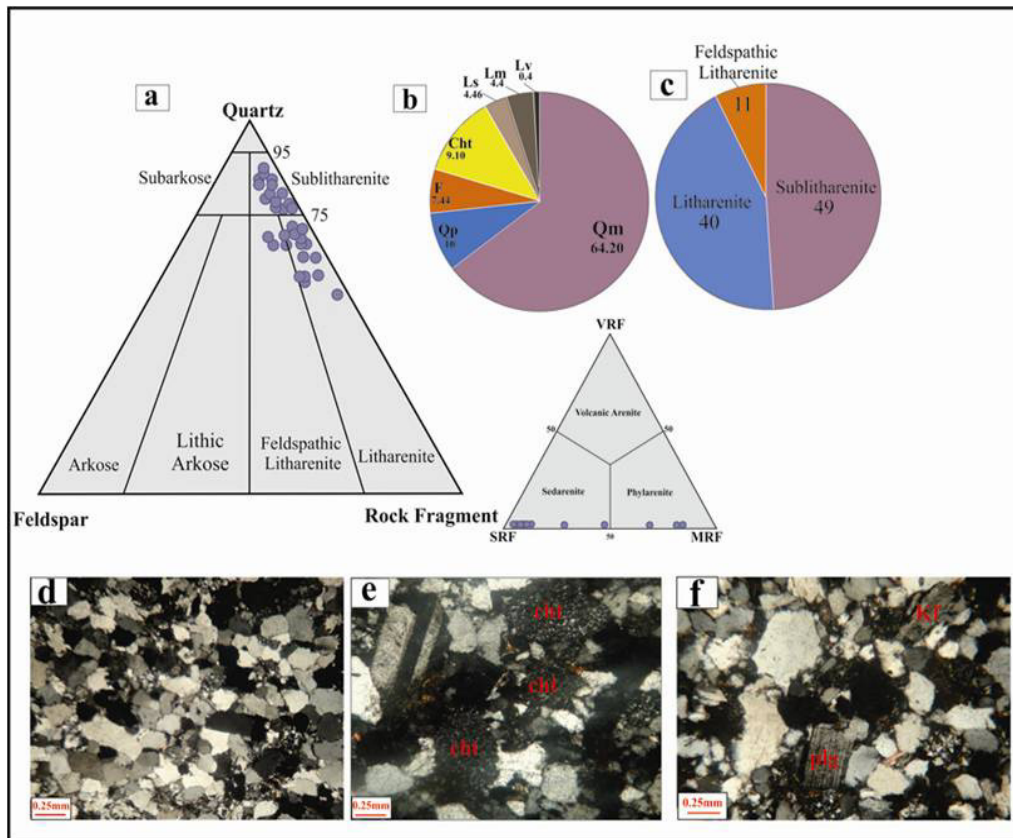


شکل ۳. تصاویر میکروسکوپ نوری نانوفسیل‌های آهکی شناسایی شده

- 1- *Cyclagelosphaera deflandrei*. 2,3,4- *Cyclagelosphaera margerelii*. 5- *Discorhabdus criotus*. 6- *Diazomatolithus lehmanii*. 7, 8, 9- *Discorhabdus striatus*. 10, 11, 12, 13- *Lotharingius contractus*. 14- *Lotharingius hauffii*. 15, 16, 17- *Lotharingius sigillatus*. 18- *Watznaueria barnesae*. 19- *Watznaueria britannica*. 20- *Watznaueria fossacincta*



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (XPL) از ماسه‌سنگ‌های سازنده کوارتز تک بلور نیمه گرد شده با خاموشی یکنواخت، (Qp) کوارتز چند بلوری، (Cht) چرت، (b) چرت (Cht)، (c) زیرکان گرد شده، (d) انواع همبری میان دانه‌ها: (Ps) همبری دندان‌های، (Pl) همبری خطی، (Cc) همبری کاو-کوژ، (e) میانبار موسکویت در درون کوارتز، (f) تصویر SEM از کانی رسی ایلیت، (g) واکاو EDX کانی رسی ایلیت در تصویر (h). f. تصاویر (h) برگه‌های کتابی شکل کانولینیت که احتمالاً به صورت زمینه است.



شکل ۵. (a) رده‌بندی ماسه‌سنگ‌ها بر پایه نمودار فولک [۱۳]. (b) انواع دانه‌های سازنده ماسه‌سنگ‌ها به طور میانگین بر حسب درصد. (c) درصد فراوانی انواع ماسه‌سنگ‌ها. (d) ساب چرت آرنایت، (e) لیتارنایت (چرت آرنایت)، (f) فلدسپاتیک چرت آرنایت

۴-۲- ژئوشیمی

یافته‌های واکاوی ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. این ماسه‌سنگ‌ها دارای میانگین ۹۱/۱۸ درصد SiO_2 ، ۴/۹۸ درصد Al_2O_3 ، ۰/۲۹ درصد Na_2O ، ۰/۱۸ درصد MgO ، ۰/۳۴ درصد K_2O ، ۰/۴۰ درصد TiO_2 ، ۰/۰۲ درصد MnO ، ۰/۲۱ درصد CaO ، ۰/۰۲ درصد P_2O_5 و ۱/۴۲ درصد Fe_2O_3 هستند. مقادیر نسبت‌های $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (میانگین ۲۰/۲۱ درصد)، $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (میانگین ۲/۳۳ درصد)، $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ (میانگین ۰/۴۴ درصد)، اندیس هوازدگی شیمیایی (میانگین ۸۸/۶۰ درصد)، و نیز اندیس دگرسانی پلاژیوکلازها (میانگین ۸۷/۲۷ درصد) در ماسه‌سنگ‌های مورد بررسی محاسبه و در جدول ۵ نشان داده شده است.

۵- بحث

در شکل ۶ عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های کشف‌رود با ترکیب شیمیایی پوسته بالایی قاره‌ای^۱ مقایسه شده است [۳۵]. در این شکل، مقدار Na_2O و CaO کمتر از میانگین پوسته بالایی است و نیز نشان‌دهنده‌ی مقدار کم فلدسپار در ترکیب نمونه‌ها است که در مراحل اولیه هوازدگی و در طی ترابری بسیار از میان رفته‌اند [۲۲] و [۳۷]. اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) به این دلیل که در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی به نسبت پایدار است به عنوان عاملی برای مقایسه با دیگر عناصر اصلی به کار می‌رود [۹] و [۶]. Fe_2O_3 ، K_2O ، Na_2O ، TiO_2 و MnO با Al_2O_3 همبستگی مثبت (شکل ۷) و Al_2O_3 و Na_2O و K_2O همبستگی منفی با SiO_2 نشان می‌دهند (شکل ۸). همبستگی مثبت Fe_2O_3 و K_2O می‌تواند به دلیل حضور این عناصر در کانی‌های رسی و میکاها باشد [۱۶] و [۱۸]. همبستگی منفی SiO_2 با Al_2O_3 ، Na_2O و K_2O نیز حاکی از فراوانی کوارتز، خرده‌های چرتی و مچوریتی ترکیبی نسبتاً بالا است.

۵-۱- سنگ منشا

باسو و همکاران [۸] از بررسی انواع خاموشی موجی و تعداد بلورهای کوارتز در تفسیر برخاستگاه ماسه‌سنگ‌ها بهره‌برداری کرده‌اند. در این نمودار چهارتایی رئوس قطر کوچک، نوع خاموشی و در رئوس قطر بزرگ، نوع کوارتز

بلوری ۲ تا ۳ و یا بیش از ۳ بلوری قرار می‌گیرند. بر این پایه سنگ منشا ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود از نوع دگرگونی درجه متوسط و پلوتونیک است (شکل ۹). از نمودار شایبر [۳۱] که از رسم Al_2O_3 در برابر TiO_2 به دست می‌آید، برای جداسازی سنگ منشاهای بازیگ از حدواسط و فلسیک بهره‌برداری می‌شود (شکل ۱۰a).

همان گونه که در این شکل دیده می‌شود نمونه‌ها در محدوده گرانودیوریتی و به ندرت بازالتی قرار می‌گیرند. شکل ۱۰b نمودار تابعی روسر و کورش [۲۹] است که نمونه‌های سازند کشف‌رود در محدوده سنگ‌های رسوبی قرار می‌گیرند. از سوی دیگر در نمودار Al_2O_3 - $(\text{FeO} + \text{MgO})$ - $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (شکل ۱۰c). قرارگیری نمونه‌ها در نزدیکی کانی‌های رسی ایلیت و اسمکتیت را نشان می‌دهند. افزون بر این همبستگی مثبت میان TiO_2 و Zr [۲۶]، در این ماسه‌سنگ‌ها (شکل ۱۰d) نشانگر کنترل عنصر زیرکانیم توسط کانی‌های سنگینی است که در یک سنگ منشا آذرین حد واسط قرار دارد. بنابراین در این نمودارها احتمال منشاهای آذرین حد واسط و رسوبی را تایید می‌کند.

۵-۲- هوازدگی ناحیه خاستگاه

با استفاده از ترکیب سنگ‌های آواری می‌توان میزان هوازدگی را برآورد کرد. افزایش درجه هوازدگی شیمیایی ممکن است طی کاهش فعالیت‌های تکتونیک و یا تغییرات آب و هوایی به شرایط گرم و مرطوب انجام گیرد [۳۲]. برای شناسایی درجه شیمیایی در سنگ‌های ناحیه خاستگاه از اندیس هوازدگی شیمیایی (CIA) نربیت و یانگ [۲۴]. استفاده شده است که عبارتند از:

$$\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$$

برپایه جدول ۵، CIA محاسبه شده پراکندگی زیادی را نشان نمی‌دهد، دارای میانگین ۸۸/۶۰ است که نشان دهنده‌ی هوازدگی شیمیایی بالا در ناحیه خاستگاه است. مقادیر CIA در نمودار مثلثی A-CN-K [۲۶] که نشان‌دهنده تغییر در ترکیب نمونه‌ها همراه با تغییر هوازدگی شیمیایی و یا ترکیب ناحیه خاستگاه است، نیز رسم شدند (شکل ۱۱a) در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی با یک روند تقریباً خطی به سمت ضلع A-K قرار گرفته‌اند. اندیس PIA برای تعیین درجه دگرسانی پلاژیوکلازها با استفاده از فرمول [۱۲]:

$$\text{PIA} = [(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})]$$

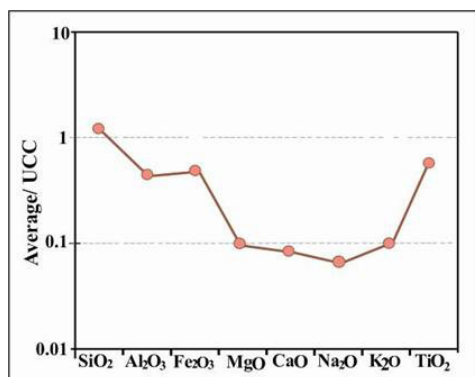
^۱Upper Continental Crust: UCC

ICV، سنگ‌های رسی رسیده و دارای کانی‌های رسی را نشان می‌دهد. افزون بر این رسم نمودار ICV در مقابل CIA [۲۰] نیز نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های کشف رود با این درجه از هوازدگی از سنگ‌های آذرین حدواسط منشا گرفته‌اند (شکل ۱۱c). با استفاده از نمودار ساتنر و دوتا [۳۳] می‌توان به شرایط آب و هوای دیرینه در ناحیه خاستگاه پی برد (شکل ۱۱d). این نمودار نشان می‌دهد که آب و هوای دیرینه ناحیه خاستگاه گرم و نیمه مرطوب بوده است. از آنجائی‌که در زمان ژوراسیک میانی، ایران در عرض جغرافیایی بین ۲۵ تا ۳۰ درجه شمالی بوده است [۳۶] بنابراین یافته‌های بررسی‌های ژئوشیمیایی یعنی بالا بودن اندیس هوازدگی شیمیایی (CIA) و کمتر از یک بودن اندیس تنوع ترکیبی (ICV) نیز با این جایگاه همبستگی خوبی نشان می‌دهد.

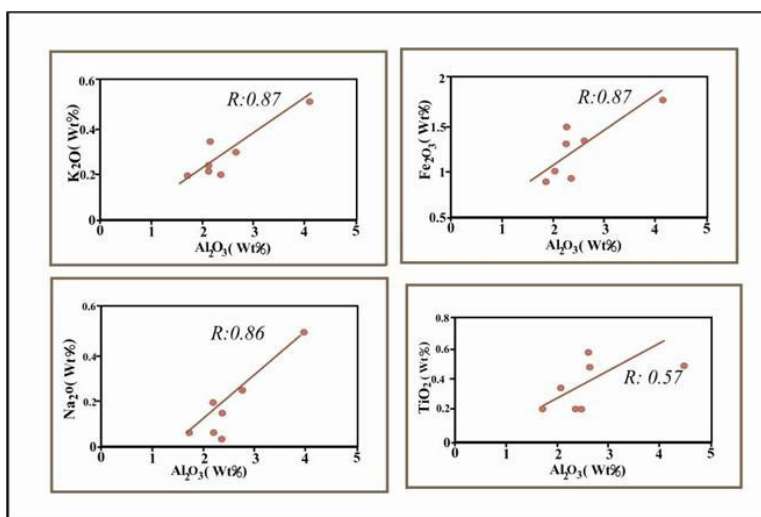
محاسبه و دارای میانگین ۸۷/۲۷ است. مقدار بالای آن در ارتباط با حذف پلاژیوکلازهای سنگ منشا در طی فرایند هوازدگی و انتقال است [۷]. همانطور که در شکل ۱۱b دیده می‌شود محل قرارگیری نمونه‌ها در محدوده سمت چپ است و نشان می‌دهد که پلاژیوکلازهای با ترکیب آندزین و الیگوکلاز در نتیجه هوازدگی به کانی رسی تبدیل شده‌اند. اندیس ICV با استفاده از فرمول

$$ICV = \frac{[(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) - Al_2O_3]}{Al_2O_3}$$

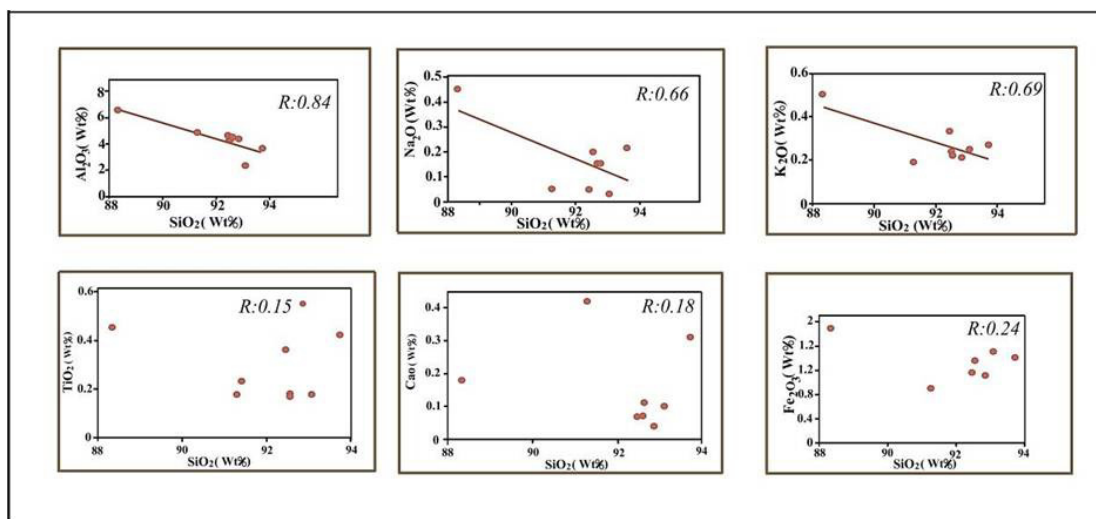
محاسبه می‌شود. افزایش مقدار این اندیس با افزایش میزان هوازدگی کاهش می‌یابد و مقدار بالای آن شامل سنگ منشاها نارس سرشار از کانی‌های سیلیکاته بدون رس و مقادیر پایین آن نشان‌دهنده سنگ منشاها رسیده است. مقدار ICV برای نمونه‌های ماسه‌سنگی به طور میانگین ۰/۶۳ است. که با توجه به مقدار پایین



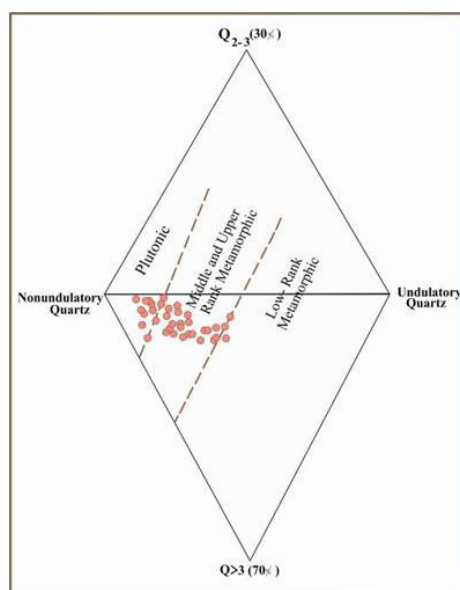
شکل ۶. بهنجارسازی اکسیدهای اصلی نسبت به ترکیب پوسته بالایی قاره‌ای [۳۵]



شکل ۷. نمودارهای پراکنندگی تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به Al_2O_3 در ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود



شکل ۸. نمودارهای پراکندگی تغییرات اکسیدهای اصلی نسبت به SiO_2 در ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود



شکل ۹. نوع سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود بر پایه نمودار باسو و همکاران [۸]

۵-۳- جایگاه تکتونیکی

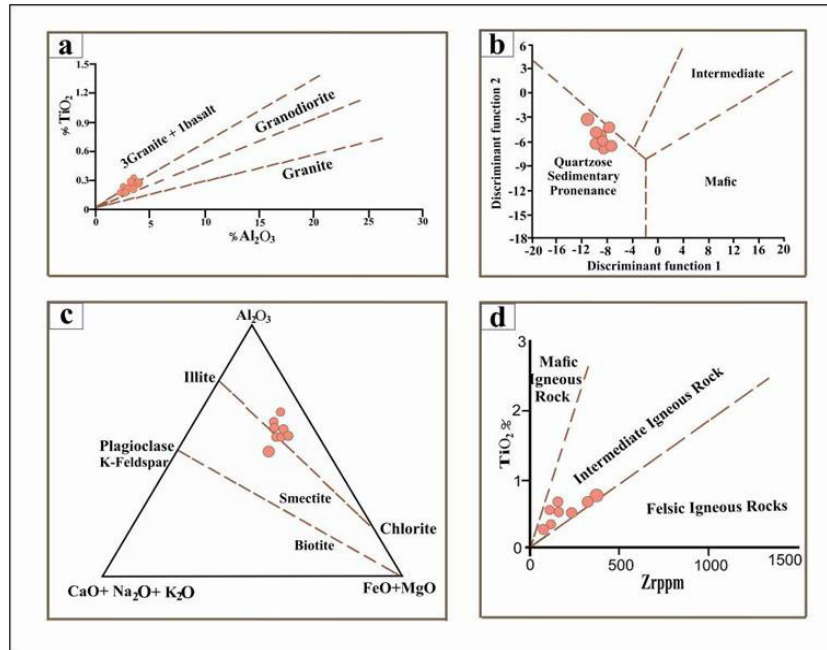
شرایط و جایگاه تکتونیکی تاثیر مستقیم بر ترکیب ماسه‌سنگ‌ها دارد، لذا بهره‌گیری از داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمی نشان می‌دهد که هر جایگاه تکتونیکی، دارای ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی متفاوتی است [۳۹]. واکاوی مدال ماسه‌سنگ‌ها در مثلث‌های QmFLt و QtFL ترسیم و با استفاده از نمودارهای دیکینسون و سوچک [۱۱]. خاستگاه آن‌ها مورد واکاوی قرار گرفت (شکل‌های ۱۲a,b). بر پایه پلات نمونه‌ها بر روی این دو نمودار و با توجه به وجود سیمان رو رشدی احتمالاً به دلیل فراوان بودن دانه‌های کوارتز، رسوبات از چرخه

دوباره ساخته شده باشند. در نمودار باتیا [۱۰]. از اکسیدهای اصلی برای تعیین جایگاه تکتونیکی بهره‌گیری می‌شود (شکل ۱۲c). همان‌گونه که در شکل ۱۲d دیده می‌شود بر پایه تغییر مقادیر عناصر اصلی می‌توان سنگ‌های آواری جزایر کمانی اقیانوسی، جزایر کمانی قاره‌ای، حاشیه پویای قاره و حاشیه ناپویا را از یکدیگر جدا کرد. بنابراین با توجه به شکل‌های ۱۲c,d ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود در محدوده حاشیه قاره‌ای ناپویا^۱ قرار دارند. سرباز و همکاران (زیر چاپ) در بررسی شیل‌های سازند کشف‌رود در برش ناویا، نشان

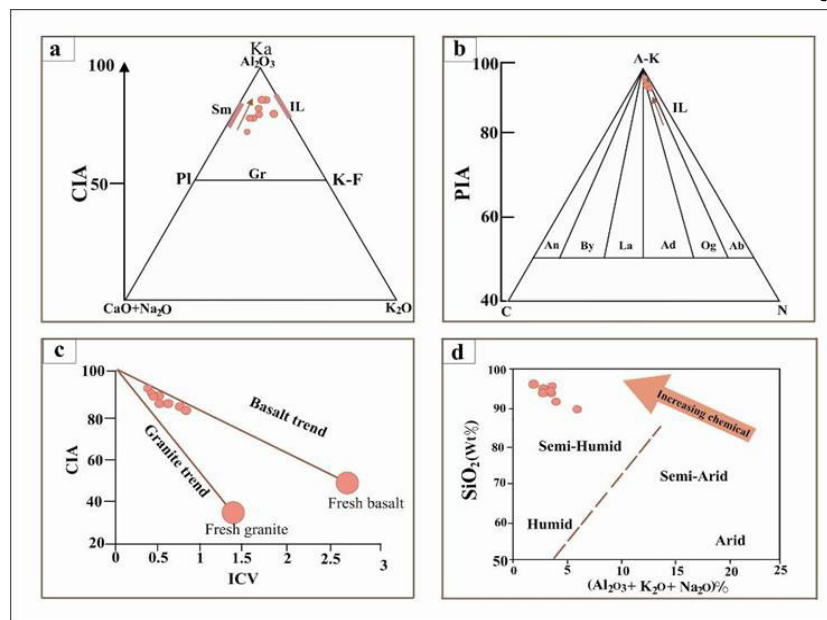
¹ Passive continental margin

[۲۹]. این نسبت در جدول ۳ دارای میانگین ۱۹/۳۳، که نشان دهنده‌ی فراوانی کوارتز و خرده‌های چرتی است که در طی هوازدگی، ترابری عناصر ناپایدار از میان رفته‌اند.

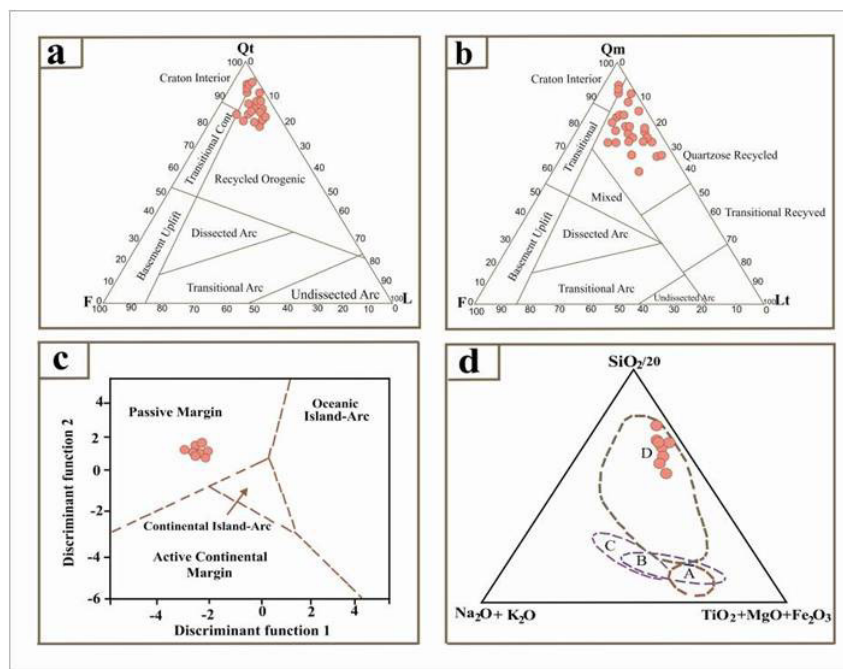
دادند که این شیل‌ها بیش‌تر دارای آثار چرخه رسوبی دوباره هستند و سنگ‌های منشا از نوع آذرین حد واسط و رسوبی است. نسبت SiO_2/Al_2O_3 بیش‌تر از ۵ تا ۶ در سنگ‌های رسوبی، نشان‌دهنده رسیدگی رسوبی بالاست.



شکل ۱۰. شناسایی سنگ منشا ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود. (a) نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2 [۳۱]. (b) نمودار تابعی نشانگر برخاستگاه با استفاده از اکسیدهای عناصر [۲۹]. (c) نمودار سه‌تایی $(CaO + Na_2O + K_2O)$, $(FeO + MgO)Al_2O_3$ [۱۷]. (d) نمودار TiO_2 در برابر Zr [۲۶]



شکل ۱۱. شناسایی هوازدگی ناحیه خاستگاه ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود. (a) نمودار سه‌تایی A-K: Kaolinite, Sm: Smectite, IL: Illite, Pl: Plagioclase, K-F: K-Feldspar, Gr: Granite). (b) نمودار سه‌تایی A-K- C- NA-K = $Al_2O_3-K_2O$; C = Smectite, Ii: Illite, Pl: Plagioclase, K-F: K-Feldspar, Gr: Granite). (c) نمودار ICV در برابر CIA (C. [۱۲]. Andesine; Og= Oligoclase; Ab= Albite. [۲۰]. SiO_2 در برابر $(Al_2O_3 + K_2O + Na_2O)$ [۲۳]



شکل ۱۲. جایگاه تکتونیکی ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود [۱۱]. (c) نمودار تابعی با استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی [۱۰]. (d). نمودار سه‌تایی $(\text{SiO}_2/20)$, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ $(\text{TiO}_2 + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ [۱۹]

جدول ۱. تقسیم‌بندی انواع دانه‌های نقطه شماری و علامت آن‌ها در ماسه‌سنگ‌های کشف‌رود

Qm non	Non-undulose monocrystalline quartz
Qm un	Undulose monocrystalline quartz
Qpq 2-3	Qpq 2-3 crystal units per grain
Qpq > 3	Qpq > 3 crystal units per grain
Cht	Chert
Qp	polycrystalline quartzose (or chalcedonic) lithic fragments (Qpq + Cht)
Qt	Total quartzose grains (Qm + Qp)
Q	Total (Qm non + Qm un) and Qpq used for folk (1974) classification (Qm + Qpq)
P	Plagioclase feldspar
K	Potassium feldspar
F	Total feldspar grains (P + K)
Lv	Volcanic-metavolcanic rock fragments
Ls	Sedimentary rock fragments
Lm	Metasedimentary rock fragments
L	Unstable (siliciclastic) lithic fragments (Lv + Ls + Lsm)
Lt	Total siliciclastic lithic fragments (L + Qp)
RF	Total unstable rock fragments and chert used for folk (1974) classification

نتیجه‌گیری

سازند سیلیسی آواری کشف‌رود در برش مورد بررسی دارای ستبرای ۷۴۹ متر (کنگلومر، ماسه‌سنگ و شیل) است که در یک محیط رودخانه‌ای و دلتای زیر نفوذ امواج و توفان بر جای گذاشته شده است. با توجه به گونه‌های نانوفسسیلی *Britannica Watznaueria* و *Cyclagelosphaera margerelii* در نیمه بالایی سازند سن باژوسین؟- باتونین دارد. اجزای سازنده ماسه‌سنگ‌ها به ترتیب فراوانی شامل کوارتز، خرده‌سنگ (چرت و

دگرگونی) و به میزان کمتری فلدسپار است و ترکیب ساب‌لیتارنایتی، لیتارنایتی و فلدسپاتیک لیتارنایت دارند. بررسی‌های ژئوشیمیایی نیز نشان می‌دهد که ترکیب سنگ خاستگاه از نوع آذرین حدواسط و رسوبی است. همین یافته‌ها نشان می‌دهد که جایگاه زمین‌ساختی این نهشته‌ها در ارتباط با حاشیه ناپویای قاره‌ای است. اندیس هوازگی شیمیایی و درجه دگرسانی پلاژیوکلازها بالا بوده، بنابراین شرایط آب و هوای دیرینه گرم و نیمه مرطوب بوده است.

جدول ۲. یافته‌های واکاوی آنالیز مودال ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود

mple no	Qun	Qno n	Qp ₂₋₃	Qp>3	Cht	K	P	Ls	Lm	Lv	Sum	HM	Mica
1	28	44	—	16	4	2	3	2	1	—	100	1	3
2	24	38	—	13	10	4	5	—	6	—	100	1	2
3	29	52	—	6	6	3	3	5	5	—	100	1	3
4	22	22	—	19	19	5	6	8	2	—	100	0.5	5
5	16	47	—	10	11	3	4	5	4	—	100	2	4
6	31	44	—	12	8	3	2	5	4	—	100	1	1
7	10	24	—	20	20	7	6	6	7	—	100	1	2
8	26	42	—	9	7	4	3	4	5	—	100	1	2
9	32	41	—	7	4	4	3	4	5	—	100	2	5
10	26	28	—	10	7	7	5	7	10	—	100	-	2
11	20	52	—	6	5	3	1	6	7	—	100	1	2
12	20	26	—	16	12	3	—	3	18	—	100	2	1
13	28	43	—	4	8	4	2	5	6	—	100	-	2
14	30	40	—	10	6	3	2	4	5	—	100	-	2
15	29	53	—	2	4	2	2	5	3	—	100	1	-
16	27	38	—	11	6	8	—	5	5	—	100	1	2
17	33	51	—	5	3	3	2	3	—	—	100	0.5	1
18	19	62	—	4	6	4	3	—	2	—	100	1	1
19	34	38	—	8	5	5	1	3	6	—	100	0	1
20	27	62	—	3	2	1	1	1	2	—	100	-	1
21	35	50	—	2	3	3	1	2	5	—	100	-	2
22	39	52	—	4	2	—	1	1	1	—	100	1	2
23	30	50	—	4	2	—	1	1	1	—	100	1	2
24	30	50	—	8	5	4	2	4	4	—	100	1	1
25	10	45	—	7	16	11	—	6	5	—	100	-	1
26	40	48	—	2	3	2	2	0	3	—	100	1	1
27	30	43	—	2	8	3	2	3	3	—	100	2	2
28	24	31	—	18	21	4	—	2	1	—	100	0.5	—
29	19	31	—	11	12	4	—	2	21	—	100	1	1
30	21	40	—	6	11	7	2	6	5	2	100	—	1
31	33	48	—	7	3	5	—	2	2	—	100	2	1
32	20	40	—	8	10	6	3	8	5	—	100	1	—
33	20	47	—	—	14	7	—	—	12	—	100	—	1
34	19	29	—	12	25	4	5	5	1	—	100	1	3
35	13	40	—	9	15	5	4	7	7	—	100	2	2
36	15	32	—	8	15	9	5	8	8	—	100	2	4
37	17	30	—	22	10	4	3	6	8	—	100	2	2
38	20	31	—	11	11	9	8	10	—	—	100	1	2
39	10	41	—	10	12	7	6	14	—	—	100	—	1
40	26	30	—	10	6	6	8	5	7	2	100	1	2
41	28	30	—	16	7	6	5	2	5	1	100	2	2
42	10	28	—	16	18	2	—	3	22	—	100	—	—
43	14	37	—	13	14	6	6	8	2	—	100	2	3

جدول ۳. درصد فراوانی (% wt) اکسیدهای اصلی در ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	SO ₃	LOI
92.85	4.40	0.05	0.21	0.33	0.36	0.02	0.07	0.02	1.16	0.00	0.58
93.72	3.67	0.05	0.16	0.19	0.18	0.02	0.42	0.02	0.90	0.00	0.59
92.55	4.37	0.03	0.05	0.25	0.18	0.02	0.10	0.03	1.50	0.00	0.87
93.09	2.33	0.20	0.03	0.22	0.18	0.02	0.07	0.03	1.35	0.00	0.42
91.28	4.89	0.22	0.25	0.27	0.42	0.02	0.31	0.03	1.40	0.00	0.79
92.46	4.62	0.16	0.04	0.21	0.55	0.02	0.04	0.03	1.11	0.01	0.63
88.33	6.53	0.45	0.20	0.50	0.46	0.03	0.18	0.04	1.89	0.00	1.29
87.5	7.6	0.80	0.70	0.50	0.20	0.02	0.31	0.03	1.70	0.00	1.01

جدول ۴. مقدار عناصر فرعی (ppm) در ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود

Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	U	Th	Ce	Cl	Pb	Rb	Sr	V	Y	Zr	Zn	Mo
67	2	961	11	N	18	5	N	N	21	102	24	48	34	12	200	46	32
49	1	404	2	0	3	3	N	N	75	97	20	38	23	11	52	29	31
68	4	169	N	N	16	2	3	9	51	98	24	63	24	10	42	15	31
70	2	151	18	0	13	3	N	45	57	100	24	45	23	12	55	46	31
95	4	475	6	4	13	3	N	N	49	98	26	48	33	16	146	75	31
38	3	343	8	6	8	3	N	15	28	96	20	54	36	18	343	41	33
133	4	370	8	6	12	4	N	5	N	105	31	76	118	19	141	48	32
135	5	390	6	5	11	3	2	N	N	100	36	80	110	16	150	43	31

N= not detected

جدول ۵. تمرکز اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی در ماسه‌سنگ‌های سازند کشف‌رود

CIA	PIA	ICV	/Al ₂ O ₃ SiO ₂	K ₂ O/ Na ₂ O	K ₂ O+ Na ₂ O
90	92	0.5	22.10	6.6	0.38
84.5	83	0.52	24.53	3.8	0.24
92.1	88.65	0.48	21.17	1.12	0.28
82.62	94.22	0.88	21.49	1.1	0.42
85.9	75	0.80	18.66	1.22	0.49
91.3	92.05	0.9	20.01	1.31	0.37
93	86	0.47	13.52	1.11	0.95
89.4	87	0.50	13.21	1.30	0.44
88.60	87.27	0.63	19.33	2.33	0.44

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر نارام بایت‌گل برای کمک‌های فراوانشان در شناساندن سازند کشف‌رود و از گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد برای فراهم آوردن امکانات مناسب در انجام این بررسی (طرح مصوب شماره ۳ کد ۳/۳۸۳۹۴ دانشگاه) صمیمانه سپاسگزاری می‌شود. هم‌چنین از داوران محترم این مقاله که با نظرات سازنده خویش به بالا بردن سطح علمی این مقاله کمک کرده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

منابع

[۱] پورسلطانی، م. ر. موسوی حرمی، ر.، لاسمی، ی (۱۳۸۶) تفسیر محیط رسوبی سازند کشف‌رود (نازوسین بالایی - باتونین زیرین)، بر مبنای ایکنوفسیل‌ها در شمال خاور

ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۵، صفحات ۱۷۰-۱۸۵.

[۲] رئوفیان (۱۳۹۳) بررسی ردیف‌های رسوبی ژوراسیک میانی تا بالائی در حوضه‌ی ساختاری- رسوبی بینالود بر مبنای بررسی‌های چینه‌شناسی، فسیل‌شناسی (زیای آمونیتی) و محیط رسوبی، پایان‌نامه دکتری دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۱۹ صفحه.

[۳] سرباز، ن.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، خانه باد، م (۱۳۹۵) محیط رسوبی و چینه‌نگاری سکاسی نهشته‌های ژوراسیک میانی: بررسی موردی از برش ناویا در غرب بجنورد، غرب کپه‌داغ، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۶۵، صفحات ۲۹-۴۶.

[۴] سرباز، ن.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، خانه باد، م.، زیر چاپ، برخاستگاه شیل‌های سازند کشف‌رود در برش ناویا

- for the tectonic evolution of the Caucasus, *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 2425-2463.
- [17] Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S. & Yu, J (2006) Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering, *Geomorphology*, 80: 147-163.
- [18] 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.
- [19] Kroonenberg, S.B (1994) Effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments. *Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part A*: 69-81.
- [20] Lee, Y.L (2002) Provenance Derived from the Geochemistry of Late Paleozoic-Early Mesozoic Mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea, *Sedimentary Geology*, 149: 219-235.
- [21] Madani, M (1977) A study of the sedimentology, stratigraphy and regional geology of the Jurassic rocks of eastern Kopet Dagh (NE Iran). Unpublished Ph.D. thesis, Royal School of Mines, Imperial College, London, 246 p.
- [22] Moosavirad, A. M., Janardhana, M. R., Sethumadhav, M.S., Moghadam, M. R., 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- Geochemistry*, 71: 279-288.
- [23] Morton, A.C., Hallsworth, C (2007) Stability of detrital heavy minerals during burial diagenesis. *Developments in Sedimentology*, 58: 215-245.
- [24] Nesbitt, H. W., & Young, G. M (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299: 715-717.
- [25] Nowrouzi, N., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Mahmudy Gharaie, M. H., Ghaemi, F (2013) Petrography and geochemistry of Silurian Niur sandstones, Derenjal Mountains, East Central Iran: implications for tectonic setting, provenance and weathering, *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 2793-2813.
- [26] Paikaray, S., Banerjee, S., Mukherji, S (2008) Geochemistry of shales from the (غرب بجنورد) بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی، فصل‌نامه علوم زمین.
- [5] سهیلی، م.، سهندی، م (۱۳۷۵) نقشه‌ی زمین‌شناسی سنخواست به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [6] Adel, I.M., Akarish, B., Amr M. El-Gohary, N (2008) Petrography and geochemistry of Lower Paleozoic sandstones, East Sinai, Egypt: Implications for provenance and tectonic setting, *Journal of African Earth Sciences*, 52: 43-54.
- [7] Alvarez, N. M., Roser, B.P (2007) Geochemistry of black shales from the Lower Cretaceous Paja Formation, Eastern Cordillera, Colombia: Source weathering, provenance, and tectonic setting, *Journal of South American Earth Sciences*, 23: 271-289.
- [8] Basu, A., Young, S., Suttner, L., James, W., Mack, G.H (1975) Re-evaluation of the use of undulatory extinction and crystallinity in detrital quartz for provenance interpretation, *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 873-882.
- [9] Batumike, I.L., Cailteux, H., Kumpunzu, A.B (2006) Lithostratigraphy, basin development, base metal deposits and regional conelathions of the Neoproterozoic Ngoba and Kondelvngu rock Successions, Central Atican. *Gondwana Research*, 11:432-447.
- [10] Bhatia, M.R (1983) Plate tectonics and geochemical composition of sandstones, *Geology* 91: 611-626.
- [11] Dickinson, W.R., Suczek, D.R (1979) Plate tectonics and sandstone compositions. *The American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 63: 2164-2182.
- [12] Fedo, C.M., Young, G.M., Nest, H.W., Hanchar, J.M (1997) Potassic and sodic metasomatism in the Southern Province of the Canadian Shield: evidence from the Paleoproterozoic Serpent Formation, Huronian Supergroup Canada, *Precambrian Research*, 84: 17-36.
- [13] Folk, E (1980) *Petrography of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company, 182p.
- [14] Gazzì, P (1966) Le arenarie del flysh sopracretaceo dell Appennino modenese; Correlazioni con il flysh di Monghidoro, *Mineralogica Petrografica Acta* 12: 69-97.
- [15] Hayeshi, K., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H (1997) Geochemistry of 1.9 sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 4115-4137.
- [16] Jafarzadeh, M., Moussavi-Harami, R., Amini, A., Mahboubi, A., Farzaneh, F (2014) Geochemical constraints on the provenance of Oligocene- Miocene siliciclast deposits (Zivah Formation) of NW Iran: implications

- [37] Wang, F., 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.
- [38] Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Bavi, H (2013) Comparison of tidalites in siliciclastic, carbonate, and mixed siliciclastic-carbonate System: examples from Cambrian and Devonian deposits of East-Central Iran, *ISRN Geology*: 1-21.
- [39] Zaid, S.M., Gahtani, F.A (2015) Provenance, diagenesis, tectonic setting, and geochemistry of Hawkesbury Sandstone (Middle Triassic), southern Sydney Basin, Australia, *Earth Sciences*, 24: 72-98.
- [40] Zhang, X., Pease, V., Omma, O., Benedictus, A (2015) Provenance of Late Carboniferous to Jurassic sandstones for southern Taimyr, Arctic Russia: A comparison of heavy mineral analysis by optical and QEMSCAN methods, *Sedimentary Geology*, 329: 166–176.
- Paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Supergroup: Implications on provenance, tectonics and geodynamic significance of the Upper Bajocian-Bathonian Kashafrud Formation, NE Iran. *Geological Society, London, Special Publication*, 312: 205- 218.
- [27] Poursoltani, M.R., Moussavi-Harami, R., Gibling, M.R (2007) Jurassic deep-water fans in the Neo-Tethys Ocean: The Kashafrud Formation of the Kopet-Dagh Basin, Iran, *Sedimentary Geology*, 198: 53–74.
- [28] Potter, P. E., Maynard, J. B. Depetris, P. J (2005) *Mud and Mudstones*, Springer-Verlag Berlin, 297 p.
- [29] Roser, B.P., Korsch, R.J (1988) Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data, *Chemical Geology*, 67: 119–139.
- [30] Salehi, M. A., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Wilmsen, M., Heubeck, Ch (2014) Tectonic and palaeogeographic implications of compositional variations within the siliciclastic Ab-Haji Formation (Lower Jurassic, east central Iran), *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*, 271: 21-48.
- [31] Schieber, J (1992) A combined petrographical-geochemical provenance study of the Newland formation, Mid-Proterozoic of Montana, *Geological Magazine*, 129: 223–237.
- [32] Schneider, S., Hornung, J., Hiderer, M., Garzanti, E (2016) Petrography and geochemistry of modern river sediments in an equatorial environment (Rwenzori Mountains and Albertine rift, Uganda) Implications for weathering and provenance, *Sedimentary Geology*, 336: 106-119.
- [33] Suttner, L.J., Dutta, P.K (1986) Alluvial sandstone composition and Palaeoclimate: framework mineralogy, *Journal of Sedimentary Petrology*, 56: 329-345.
- [34] Taheri, J., Fursich, F.T., Wilmsen, M (2009) Stratigraphy, depositional environments and environments and geodynamic significance of the Upper Bajocian-Bathonian Kashafrud Formation, NE Iran. *Geological Society, London, Special Publication* 312, 205-218.
- [35] Taylor, S.R., McLennan, S.M (1985) *The Continental Crust: its Composition and Evolution*, Blackwell, Oxford 312p.
- [36] Thierry, J (2000) Middle Callovian (157–155 Ma). In: Dercourt J, Gaetani M, Vrielynck B, Barrier Biju-Duval B, Brunet MF, Cadet JP, Crasquin S, Sandulescu M (eds) *Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical Maps*. CCGM/CGMW, Paris, 1–97.